



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"ARAGON"

*"ASPECTOS GEOTECNICOS DE LOS MATERIALES
PETREOS PARA VIAS TERRESTRES"*

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA
RUBEN CANDELARIO REYES DELGADILLO

CIUDAD DE MEXICO

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

I N D I C E

INTRODUCCION	.....	1
CAPITULO I		
"HISTORIA DE LAS VIAS TERRESTRES"	.....	5
CAPITULO II		
"GEOLOGIA GENERAL DE LOS MATERIALES"	.....	19
CAPITULO III		
"CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES"	.....	60
CAPITULO IV		
"CALIDAD DE LOS MATERIALES"	.....	82
CAPITULO V		
"NORMAS DE ACEPTACION"	.....	94
CAPITULO VI		
"CONCLUSIONES"	.....	123

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

Hay un sistema que actualmente reviste una gran importancia para el desarrollo de una nación: su infraestructura de Vías Terrestres. Hoy en día juega un papel muy importante este sistema, ya que desde cualquier punto de vista, sea económico, político, cultural o social, las redes de comunicación han determinado el avance de los pueblos.

Actualmente, México es un país en transformación donde las Vías Terrestres marcan el ritmo del desarrollo. Las recientes políticas económicas han abierto esta área a la inversión privada, antes manejada únicamente por entidades oficiales. De acuerdo con los lineamientos adoptados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, que es la Dependencia encargada de otorgar las concesiones, se construyen nuevas y más modernas vías de comunicación a lo largo de la Red Federal de Carreteras. Con ese objeto las normas, especificaciones y procedimientos constructivos se han modernizado. A la fecha los requerimientos de calidad van en aumento ante la necesidad de satisfacer demandas de mayores volúmenes de tránsito, mayores cargas por vehículo, mayor comodidad y menores tiempos y distancias de recorrido.

Por esto han debido modificarse las especificaciones de diseño y materiales, las normas y los procedimientos constructivos. Por lo que cada día los controles de calidad en las obras deben ser más minuciosos e imprescindibles.

Los materiales utilizados en la construcción de estas obras deben demostrar mediante un grupo de ensayos sus características deseables para recomendar su uso.

Este trabajo, en donde se tratan los aspectos geotécnicos de los materiales pétreos para las vías terrestres, intenta hacer notar la cada vez mayor importancia de éstos en la búsqueda de los objetivos de calidad.

A través de la evolución de los caminos, los vehículos que los han recorrido, marcan con sus necesidades el avance que debían experimentar. Por lo que con la aparición de los vehículos impulsados con motores de combustión interna, se inició a grandes pasos la construcción de carreteras con mejores especificaciones, pero es de hacerse notar que en un principio no se tenían los conocimientos adecuados de los materiales pétreos a utilizar. En esos comienzos los volúmenes de tránsito y las cargas no eran lo suficientemente grandes como para crearles muchos problemas a los ingenieros.

Hoy en día estos conocimientos se han profundizado y la importancia de los materiales ha quedado de manifiesto, por lo que se ha generado en los especialistas el interés por desarrollar pruebas y métodos de estudio en que se presenten adecuadamente los procedimientos constructivos. En la búsqueda por conocer y aprovechar más las capacidades de los materiales se recurre a métodos físicos, químicos y mecánicos que los someten a pruebas cuyos resultados brindan mayores elementos para su buen uso.

De acuerdo con un orden lógico, en el capítulo I de esta tesis se habla de los antecedentes históricos de las Vías Terrestres, desde la aparición del hombre, describiendo las técnicas y materiales empleados por los romanos en la construcción de caminos para comunicar todo su imperio. Ahí también se exponen los primeros intentos de aplicar la Geología con fines ingenieriles, y la relación que guarda actualmente esta disciplina con la Ingeniería de Vías Terrestres y con la Geotecnia.

En el capítulo II se enfatiza cómo los conocimientos de Geología y de clasificación de las rocas dan al ingeniero civil una clara idea de la impor-

tancia que tiene un buen aprendizaje de esta ciencia para los trabajos que le son encomendados.

La clasificación de los materiales es un tema que se abarca en el capítulo III. El reconocimiento de los materiales que se realiza en campo y su posterior identificación en laboratorio son parte fundamental del trabajo del Ingeniero en Vías Terrestres.

La calidad de los materiales obtenida mediante un grupo de ensayos proporciona suficiente información para juzgar los materiales de acuerdo con las especificaciones y normas para su uso en la estructura de una Vía Terrestre. En los capítulos IV y V son tratados estos dos temas, los que son complementados con algunos conocimientos sobre Control de calidad.

El buen manejo de los materiales pétreos en las Vías Terrestres es determinante para obtener los resultados de durabilidad y buen comportamiento que darán al usuario seguridad, comodidad y rapidez en su tránsito por la red de carreteras.

En el capítulo VI se presentan algunos comentarios finales que incluyen algunas observaciones sobre los puntos importantes que no se deben descuidar ni pasar por alto en los estudios a realizarse sobre los materiales pétreos que han de utilizarse en la construcción de las nuevas Vías Terrestres.

Ingenierilmente hablando entendemos por "Vías Terrestres" las carreteras, ferrocarriles, aeropistas y los oleoductos, aunque no plenamente aceptados podemos considerar también a estos últimos como parte de los elementos básicos de la infraestructura de una red nacional de transportes. En esta denominación caben desde la más moderna instalación aeroportuaria hasta el camino rural más modesto, enclavado en el punto más alejado del territorio nacional.

Las vías terrestres así definidas se construyen fundamentalmente de tierra y sobre tierra. A través de los años, la técnica moderna ha reconocido la

influencia que tiene el terreno de apoyo en el comportamiento de las estructuras sobre él desplantadas, no sólo en función del tipo de suelo o roca que exista en el lugar (considerado en estado pasivo), si no de un conjunto de condiciones diversas como la constitución mineralógica, la estructuración del suelo, la cantidad y el estado del agua contenida, así como su modo de fluir; hasta toda una agrupación de factores ajenos al concepto tradicional de suelo, pero que definen en el tiempo su comportamiento, tales como los factores climáticos, los económicos, los que se refieren al "uso de la tierra" en actividades que poco o nada tienen que ver con la tecnología de las vías terrestres.

Sin embargo, ya en épocas recientes los ingenieros gracias a las investigaciones modernas, han resuelto problemas para el óptimo aprovechamiento de los materiales, siempre en cantidades y calidades muy diversas dentro de la naturaleza. Por lo que aún utilizando los mismos materiales para producir una sección dada, pueden obtenerse secciones estructuralmente muy distintas según el uso que se haga de los materiales dentro de la sección, dependiendo tanto de la posición, como de las condiciones en que se coloquen y de los tratamientos mecánicos o aún químicos que se les den.

La construcción de Vías Terrestres, implica entonces el uso de los suelos, pero un uso selectivo, juicioso y, en lo posible, "científico". A través del tiempo la ingeniería ha desarrollado ramas de conocimientos para la resolución de problemas específicos; por lo que para dar solución a las necesidades de la Vías Terrestres tenemos la Mecánica de Suelos y la Mecánica de Rocas, estrechamente apoyadas en la Geología Aplicada. Por lo que no es extraño que la aplicación de Normas desarrolladas con base en la Mecánica de Suelos y de Mecánica de Rocas juegue un papel importante en la construcción de Vías Terrestres.

CAPITULO I

HISTORIA DE LAS VIAS TERRESTRES

Antes de la aparición del hombre sobre la superficie de la tierra, los animales se movían creando senderos a su paso en la búsqueda de alimento; senderos por los que se movían de acuerdo con las estaciones climatológicas y la abundancia o escasez de comida. A la aparición del hombre, éste, en su afán -- por satisfacer sus necesidades y debido al movimiento de los animales es posible que haya utilizado esos senderos como sus primeras vías de transporte.

Los primeros vestigios de caminos hechos por el hombre que se han localizado son del período neolítico y se hallan en la Gran Bretaña, donde se encuentra un sendero que pasa a través de Hampshire y Wiltshire, conduciendo al templo de Stonehenge, en él, ramas y troncos de madera formaban un subsuelo suficientemente sólido y compacto. En algunos poblados lacustres de Suiza se utilizaron estratos de mimbre para pavimentar vías de comunicación de mayor importancia. Son características las sendas neolíticas de Malta, de aproximadamente 1.30 m de anchura y delimitadas por dos surcos paralelos de 30 cm de profundidad, con toda probabilidad excavados a mano en la roca y posteriormente profundizados por el paso de las ruedas de los carros. El piso central no presenta huellas de animales, por lo que es de suponerse que los carros eran arrastrados por hombres.

Hacia el año 1100 a. de J.C. se remonta la primera documentación que acredita la construcción organizada de una carretera. Un rey asirio, Tiglath Pileser (1115-1102 a. de J.C.) manifestó en un epígrafe su agradecimiento a --

los ingenieros de su ejército, quienes "construyeron una carretera con picos de bronce e hicieron posible el tránsito de mi carro y de mis tropas".

Algunos siglos más tarde el rey Esarhaddon de Babilonia (670 a. de J.C.) estableció la necesidad de mejores vías de comunicación para facilitar el intercambio comercial con los pueblos vecinos.

Posteriormente, los persas en su búsqueda por solucionar la necesidad de establecer rápidas vías de comunicación, logran una senda de 2,500 km que va de Susa (capital del imperio) a Sarde en el mar Egeo, pasando por Issos, Laodicea, Las Puertas Ciliceas, Tarso, Nisibi y Nínive.

Keops, en Egipto, hacia el 2600 a de J.C., hizo contruir una carretera empedrada para transportar enormes bloques de granito sobre carros halados por hombres, con el fin de contruir la pirámide que actualmente lleva su nombre. - La carretera mide cerca de cinco estadios (1 km aproximadamente) de longitud, diez brazos (alrededor de 20 m) de ancho y ocho (15 m) de altura en su punto más alto. Está construida enteramente a base de piedras pulimentadas y esculpidas que representan diversas figuras.

Sin embargo, la más antigua y una de las más admirables redes de comunicación del mundo antiguo es la china. Ya que antes del año 1000 a. de J.C. toda China estaba unida entre sí mediante carreteras con vigilancia cada 20 ó 25 km. Y durante la dinastía Chou (1122-256 a. de J.C.) se dió el primer ejemplo de lo que actualmente se llama código de Carreteras, se buscó establecer una legislación dirigida a regular el tránsito en los cruces y a limitar la velocidad y el tipo de vehículos, por lo que se clasificaron las vías en cinco categorías regidas con disposiciones particulares para cada una, como se muestra a continuación:

- 1) Senderos para hombres a pie y para bestias de carga, en los que se excluía tajantemente cualquier tipo de vehículo.

- 2) Caminos para vehículos de reducida capacidad de carga y animales de silla.
- 3) Carreteras para carros de pequeñas dimensiones.
- 4) Carreteras para grandes carros, permitiéndose en ellas el adelantamiento.
- 5) Carreteras principales, en las cuales era posible el paso simultáneo de tres carros grandes.

En la antigüedad, de las civilizaciones mediterráneas la única que tuvo una verdadera y auténtica política de carreteras fue el Imperio Romano. Fueron los romanos los más grandes constructores de carreteras y lograron comunicar cada una de las poblaciones de su imperio con una extensísima red que tenía -- por centro a Roma. Utilizaron para esta obra a prisioneros y esclavos e incluso a sus tropas en los turnos de descanso; la concepción de la idea, la técnica y la visión para trazar y acortar distancias, dieron a la ingeniería de caminos romana un alto nivel de desarrollo. La Vía Apia es llamada "la reina de las carreteras romanas" por el esplendor de los monumentos que se hallan a lo largo de su recorrido de 260 km. Inicialmente tuvo un acabado de grava, la pavimentación a base de bloques de lava se realizó posteriormente en el transcurso del siglo II a. de J.C. En su primer tramo iniciado en 312 a. de J.C. por orden del censor Apio Claudio, unía a Roma con la base militar de Capua, en la provincia de Campania, llegando a Benevento y Venosa en su primera etapa. Debido a los intereses comerciales y militares de Roma en el Cercano Oriente, -- fue ampliada hasta el puerto de Brindisi. Estas vías estaban señaladas con una piedra, llamada *miliar* ubicada cada mil pasos romanos (unos 1,480 m) en la -- que se indicaba la distancia que quedaba por recorrer hasta la ciudad más cercana. Contaban también con pozos, fuentes, hosterías y estaciones de postas, -- estas dos últimas destinadas únicamente a funcionarios del gobierno.

Adentrándonos en la técnica de construcción de estas carreteras, bien llamadas "Vías Consulares", descubrimos que la sección transversal más común para pavimentar las vías romanas estaba formada de un fondo arenoso sobre el que se colocaba una delgada capa de mortero; encima, una segunda capa de bloques de cemento, sobre la cual se apoyaba una tercera capa formada por fragmentos de piedra y cal, finalmente, la capa superior estaba constituida por bloques de piedra o por un conglomerado de grava.

Al continuar estudiando las técnicas, los procedimientos y los materiales de construcción de estas carreteras, se descubrió que además del clásico tipo de calzada empedrada, todavía hoy visible en largos trechos de la Vía Apia, de la Vía Aurelia, Cassia, etc., existían otros dos tipos de carreteras: la primera recubierta de arena y grava (*vía glareae strata*), y la segunda llamada *vía terrena*, constituida por tierra trillada y desprovista de empedrado. Este segundo tipo se difundió principalmente en África y Siria, donde el terreno del desierto que tenía por características su alta compacidad y su dureza, no requería un fondo con preparación especial ya que podía resistir perfectamente el tráfico rodado y el desgaste del tiempo. Como resultado de estas observaciones se puede decir que los ingenieros romanos elegían el material del fondo en estrecha relación con la clase de terreno sobre el que iban a construir. Por ejemplo en la "Vía Praenestina" y en la "Vía Apia" se emplearon a menudo grandes losas de lava, en algunos lugares se usaba de manera preferente la cal o la piedra.

La Vía Apia a pesar de su condición de carretera principal, consta tan sólo de 3.60 m de anchura, a diferencia de otras de 6 m; por lo que toca a carreteras secundarias o de menor importancia éstas eran de 3.0m de anchura.

Del procedimiento constructivo existe un documento escrito por Stazio (siglo I d. de J.C.) que describe de manera muy general los trabajos de la

construcción de la Vía Domitiana, (esta vía corría a lo largo de la costa de -
Campania), "comenzando antes que nada con la excavación de los surcos y con --
abrir la pista; después se excavaba profundamente para remover la tierra de to
da la plantilla. El surco se rellenaba con un mejor material que el extraído -
que se compactaba sobre el que se construye el piso de la carretera ..., unien
do la carretera con bloques de piedra colocados a ambos lados de la misma y li
ga dos entre sí mediante garfios".

Los "surcos" eran cunetas paralelas a la carretera y servían como punto
de referencia y como protección; a menudo la distancia entre ellos variaba de
20 a 25 m y el empedrado quedaba en medio, arqueado ligeramente para favorecer
el flujo del agua.

Existían también carreteras construidas a un nivel superior al terreno -
circundante, en las cuales como es obvio, en vez de excavar se acumulaba el ma
terial para formar lo que hoy llamamos un cuerpo de terraplén.

Una de las características más notables de las carreteras romanas es su
rectitud. Plutarco en un comentario enalteciendo al constructor Gaio Graco (s.
II a. de J.C.), escribió: "su atención se centraba particularmente en hacerlas
bonitas, agradables y cómodas. Ordenaba que pasaran a través de los campos, de
modo que fueran perfectamente rectilíneas, empedradas en parte con piedras ta
lladas y en parte recubiertas de una masa compacta de grava. Cuando el curso -
de la carretera tropezaba con valles o con corrientes de agua, los hacía lle--
nar hasta el borde de detritos, o trazaba por encima de ellos elegantísimos --
puentes, perfectamente nivelados a la altura de la carretera, de tal manera --
que toda la construcción, siempre a la misma altura, ofrecía un aspecto atra--
yente y una armonía muy por encima de lo común".

Las carreteras de Britania poseían calzadas muy elevadas, lo que proba--
blemente se debía a un intento por reforzar la escasa solidez del terreno. El-

trazado rectilíneo de las carreteras encontraba cierto límite en la orografía del terreno y por otra parte la falta de la rigidez necesaria detenía su materialización. Sin embargo los romanos, obligados a construir carreteras en los territorios conquistados, seguían generalmente el trazado de sendas y senderos que se encontraban en buen estado. Esto constituía un gran ahorro de tiempo y dinero. Aún así, especialmente en Britania, donde las carreteras romanas han estado sujetas a profundos estudios, el trazo rectilíneo de las carreteras como la Dover-Canterbury, la Londres-Chichester, la Londres-Chelmsford-Colchester y la Castor-Lincoln, une estas ciudades siguiendo una línea casi perfectamente recta, a pesar de las elevaciones del terreno, de zonas accidentadas y bosques, por lo que todavía hoy se hace difícil el establecer los medios técnicos que permitieron a los ingenieros romanos la construcción de estas carreteras.

Las Ciencias de la Tierra

Cuando falló la presa St. Francis en California Meridional, en el año de 1928, con la pérdida de muchas vidas y daños cuantiosos en millones de dólares, entre los ingenieros civiles se hizo evidente la idea de que no es suficiente el diseño cuidadoso de la estructura en sí misma para lograr una garantía de su seguridad. Con anterioridad a tan lamentable suceso, no estaba en la conciencia de todos y cada uno de los ingenieros la visión clara de que el proyecto de una estructura debe ir precedido por un estudio cuidadoso de su ambiente y, más esencialmente, de los materiales sobre los cuales ha de asentarse la estructura y, la realización de ella con esto ha de cumplir con las características deseables, requeridas. Tras el desastre de la presa St. Francis, todos comprendieron cuán grande es la necesidad de la exploración de la zona -

circundante y la correcta interpretación de los resultados. Resultó aconsejable, y forzoso en casos complejos, consultar a los geólogos acerca de las características de los materiales naturales existentes en el emplazamiento de la construcción proyectada. A su vez, a los geólogos cuya ayuda se requirió tuvieron que familiarizarse con las exigencias ingenieriles de aquellos materiales y adquirir algunas nociones al menos, de las funciones y comportamientos de las estructuras ingenieriles. Así nació un nuevo tipo de especialista, el ingeniero con buenos conocimientos de geología o ingeniero-geólogo, con la misión de brindar apoyo y asesoría en el proyecto y construcción de obras civiles, presas, túneles, carreteras, aeropuertos y otras importantes estructuras.

La Geología y las Ciencias de la Tierra

Se ha definido la Geología como "la ciencia que trata del origen, historia y estructura de la tierra tal como aparecen registradas en las rocas y de las fuerzas y procesos que actúan modificando éstas".

De acuerdo con esta definición, son objeto de estudios la atmósfera, hidrósfera (constituída por todas las aguas terráneas) y litósfera (rocas, suelos y demás constituyentes del globo propiamente dicho) de la tierra. Pero en la práctica real se limitan los alcances de esta definición. El examen de los textos de Geología en uso muestra que las materias que constituyen el objeto principal de discusión son las rocas y los minerales (incluidas las aguas subterráneas) y las fuerzas que actúan sobre ellos: el objeto final de su examen es "la exploración del interminable historial de acontecimientos geológicos que contienen las rocas". Los geólogos han obtenido dentro de este campo resultados satisfactorios, si se consideran sus métodos de estudio, que son esenciales

cialmente, la observación, la deducción, el razonamiento y, en casos excepcionales, la exploración subterránea directa hasta profundidades no muy grandes. Hay sin embargo, estudios de la tierra que exigen el empleo de otros medios, como, por ejemplo, intrumental complejo o análisis matemático y conocimientos de física y química más avanzados.

La Geología Ingenieril frente a la Geología

La Geología Ingenieril, en su estado actual, puede definirse como la rama del saber humano que utiliza la información geológica, en combinación con la práctica y la experiencia, para auxiliar al ingeniero en la solución de problemas en los que tal conocimiento pueda ser explicable. La diferencia entre la Geología ingenieril y la Geología propiamente dicha reside esencialmente en sus alcances respectivos. En la construcción de estructuras ingenieriles, casi nunca se rebasan los 100 m de profundidad. Por consiguiente, las actividades ingenieriles y, como consecuencia, la posible necesidad de consulta geológica se concentran en una capa relativamente delgada, si se compara con aquella porción de la corteza terrestre (quizá un grosor de 16 a 32 km) que se considera accesible a los estudios geológicos. Los estudios geológicos comunes, afectan generalmente, a extensas áreas; como consecuencia, la información que suministran los mapas geológicos puede resultar demasiado general para los fines ingenieriles, y no poner de manifiesto las circunstancias geológicas locales con el detalle que necesita el ingeniero.

Con anterioridad al proyecto de cada estructura importante se concentran investigaciones de geología ingenieril, que afectan al emplazamiento de la estructura y consisten en la exploración directa del subsuelo mediante perforaciones del terreno o bien en la práctica de excavaciones a cielo abierto. Se -

analizan los resultados y se redactan los informes geológicos. Lo que al ingeniero le interesa conocer, en general, es si determinado factor constructivo - de la corteza terrestre -roca o suelo, bien en su estado natural (in situ o -- no), bien tras un proceso de reforma- encaja en su programa constructivo; y si no es así, desea saber si es posible hacerlo encajar y cómo puede conseguirse esto.

Tal información debe suministrarse al ingeniero en términos claros y sencillos. De escaso valor profesional son para él las clasificaciones complejas de las rocas y la historia de la tierra, aunque personalmente le interesen en gran medida.

La Geología Ingenieril frente a la Geotecnia

Conforme se fue ampliando el campo de la Geología aplicada a la Ingeniería, resultó gradualmente más evidente que los descubrimientos y deducciones - del geólogo deberían traducirse en aplicaciones y términos prácticos. Así es - que los geólogos que colaboraban con ingenieros comprendieron que la sola in-- formación geológica no era suficiente. Ejemplo notable de esta insuficiencia - lo constituye la falta total de información geológica en proyectos de funda -- ción de estructuras en suelos. Sólo las estructuras más pesadas, tales como -- presas de mampostería, algunos pilares de grandes puentes, e instalaciones es-- peciales de tipo subterráneo se llevan hasta apoyar en roca viva; las restan-- tes estructuras que de hecho constituyen la mayoría, se apoyan en los materia-- les que componen suelos cuando la roca no se encuentra aflorando o no se alcan -- za cómodamente desde la superficie. Mientras que en las obras de Geología no - se encuentra la mínima alusión respecto del comportamiento de los suelos suje-- tos a cargas, los ingenieros no solamente han adquirido la suficiente práctica

acerca de estas materias, sino que han elaborado las bases teóricas para el establecimiento de una nueva ciencia de la tierra -la Mecánica de suelos-, útil auxiliar en el proyecto y construcción de estructuras en general, en lo referente a su relación con los materiales que forman la corteza. Geólogos experimentados recomiendan a sus colegas el estudio de la Mecánica de suelos y señalan que "el conocimiento adecuado de los principios de la Mecánica de suelos es una adición importante al conjunto de conocimientos, empeñados en la aplicación de su ciencia a los problemas prácticos de construcción".

El advenimiento de la Mecánica de suelos despertó entre los ingenieros un gran interés por la Geología, desde el momento en que se dieron cuenta de que la eficacia de la Mecánica de suelos puede incrementarse ampliamente combi- nándola con la Geología. Hay importantes contingentes de ingenieros que estudian Geología y que se afanan en emplearla en sus trabajos prácticos.

De este modo la Geología ingenieril, reforzada con información útil, sacada de otras ciencias del suelo y con adecuadas nociones de Ingeniería se transforma gradualmente en una nueva rama del saber humano: la Geotecnia.

Las Ciencias de la Tierra que emplea la Geotecnia

El conocimiento de las propiedades básicas de las rocas y minerales que constituyen la corteza terrestre es un requisito previo de los estudios geotécnicos. El estudio detallado de las rocas es objeto de la petrología y de su rama la petrografía, o descripción sistemática de las rocas. El término "petrología" es de índole más general e incluye también las propiedades y el origen de las rocas. El estudio de la geomorfología, o sea la descripción y el origen de las formas según las cuales se ofrecen en la superficie los elementos constituyentes de la corteza terrestre.

La pedología, conocida también bajo el nombre de "ciencia del suelo", - tiene por objeto el estudio de las capas más altas de la corteza terrestre, -- constituidas por suelos, y estudia esencialmente, aquellos de trascendencia pa -- ra la agronomía. Esta ciencia debe su orgien a un grupo de agrónomos y geólo-- gos rusos, que propusieron ideas nuevas acerca de la formación de suelos y ela -- boraron nuevas clasificaciones para los mismos. Aunque estas clasificaciones - resultaban probablemente adecuadas a los fines agronómicos para los que se -- crearon, su eficacia resulta discutible cuando se trata de puntos de vista geo -- lógicos e ingenieriles. No obstante, la pedología, que se basa sobre todo en - conocimientos físicos, químicos y bacteriológicos, se ha transformado con la - activa participación de los hombres de ciencia, en una ciencia por completo in -- dependiente de la Geología. Los conocimientos de pedología se aplican en pro-- yectos de riego y avenamiento y en construcción de carreteras y pistas; por -- consiguiente, el especialista en ciencias geotécnicas debería estar atento a - los progresos de esta ciencia, especialmente en lo que se refiere al estudio - de la humedad del suelo. La "Mecánica de suelos", otra de las ciencias terrá-- queas antes mencionadas, fue creada por ingenieros ilustres entre los que se - destaca Karl Terzaghi. La Mecánica de suelos se apoya en conocimientos físicos y mecánicos, y más especialmente, en el estudio de esfuerzos, tensiones, y de -- formaciones en los suelos. Los métodos de la Mecánica de suelos van penetrando gradualmente en el campo de la Geología; es caso típico de esta penetración el cuerpo expositivo de "Mecánica de rocas". Debería subrayarse que la Mecánica - de suelos, además de ser una ciencia de la tierra, es una ciencia básica de la Ingeniería. Lo mismo puede decirse de la Mecánica de rocas.

Además de las rocas y de los suelos, la corteza terrestre contiene aguas superficiales, las cuales pueden ejercer influencia importante en el comporta-- miento de las construcciones de Ingeniería. La hidrología es una ciencia que -

se ocupa tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas; sin embargo, el estudio de las aguas subterráneas se designa, a veces, como Hidrogeología.

Una importante ciencia de la tierra es la Geofísica, que consiste en la aplicación de los métodos de la física al estudio de las propiedades de rocas y suelos considerados en masa.

La sedimentación, como causa de la formación de rocas sedimentarias, y receptoras y almacenadoras de petróleo, es objeto de estudio intensivo en la Geología general y en la del petróleo. En las ciencias geotécnicas se emplea el vocablo "sedimentación" para expresar el relleno y obstrucción por el "sedimento" o poso que depositan los ríos, canales, puertos y embalses de agua tras las presas o cierres.

Así también debemos darnos cuenta que no todas las ramificaciones de la Geología, ni tampoco todas las de la tierra, son necesarias, ni aplicables en Geotecnia. Por ejemplo: la paleontología y la paleobotánica, que se ocupan del estudio de la fauna y la flora primitivas de la tierra que actualmente se encuentran bajo la forma de fósiles, raramente constituyen una ayuda en la solución de problemas geotécnicos. Por el contrario, debería reconocerse que en la época actual no se ha sacado todo el rendimiento que es posible obtener de la meteorología, la ciencia de la atmósfera, que trata del viento, lluvia, huracanes, tormentas y de los fenómenos poco conocidos que tienen lugar en la estratósfera. Es posible que se obtengan resultados inesperados de los estudios meteorológicos cuando se aplique a ellos la instrumentación ultramoderna.

Finalmente, también la Geografía debería considerarse ciencia de la tierra. Los términos "Geografía Física" y "Fisiografía" tienen prácticamente, el mismo significado que el de "Geomorfología", por lo que a la Geotecnia se refiere.

Geología Aplicada

Al contrario de lo que ocurre con la mayoría de los materiales, las rocas son tanto más resistentes y tanto mejores sus condiciones como basamento - cuanto más viejas son. Los ingenieros que han trabajado con materiales de diferentes regiones como pueden ser la región costera oriental y la costera occidental de Norteamérica saben que las rocas de la zona oriental son más fuertes que las occidentales, salvo en los casos en los que la cimentación de estas -- viejas rocas haya sido seriamente dañadas a causa de movimientos de la corteza terrestre, particularmente por los procesos que dan origen a las grandes cadenas montañosas (orogenia). Por consiguiente un experimentado ingeniero no espera encontrar los mismos materiales, ni los mismos espesores, ni mucho menos, - similares características en lugares diferentes, que bien pueden ser como se - mencionaba la costa oriental y la occidental. Estos hechos por mencionar alguno, junto con la historia geológica reciente de una localidad, como son los -- cambios en el curso de un río, pueden ser importantes desde un punto de vista geotécnico, mientras que los cambios geológicos que ocurrieron hace millones - de años son intrascendentes (a menos que permanezcan activos o que originen -- nuevos cambios). Y aunque el estudio de la Geología histórica como ciencia puede tener escaso valor práctico para el ingeniero, es muy recomendable que su - formación incluya su estudio, buscando conocer por ejemplo el "cuadro geocronológico", o "escala de los tiempos geológicos" que se muestra a continuación.

Escala de los Tiempos Geológicos (abreviada)

APROXIMADA DE ERA Y TIPOS DE VIDA	PERIODO	EPOCA	EDAD LAS ROCAS EN MILLONES DE AÑOS
	CUATERNARIO	RECIENTE PLEISTOCENO	0-1
CENOZOICA: Mamíferos y flora moderna.	TERCIARIO	PLIOCENO MIOCENO OLIGOCENO EOCENO	1-60
MESOZOICA: Reptiles.	CRETACEO JURASICO TRIASICO		60-200
	PERMICO		
PALEOZOICA: Anfibios, peces e invertebrados de orden superiores.	CARBONIFERO DEVONICO SILURICO ORDOVICIENSE CAMBRICO	PENNSILVANIENSE MISSISSIPPIENSE	200-500
PROTEROZOICA: Inverte brados de orden infe rior.	PRECAMBRICO		500-3000
ARQUEOZOICA: Vida pri mordial o carencia de vida.			

Como podemos apreciar en ella, el tiempo geológico se divide en eras, períodos y épocas. La edad de la tierra es probablemente mayor que la máxima estimada para las rocas.

CAPITULO II

GEOLOGIA GENERAL DE LOS MATERIALES

Nociones de Geología

Los geólogos suelen aplicar el término "roca" a todos los elementos constitutivos de la corteza terrestre. Pero siguiendo el punto de vista ingenieril, se subdividen estos constituyentes en "rocas y suelos". Para el ingeniero, y para el geólogo ingenieril (o geotécnico), son rocas los materiales duros y compactos de la corteza terrestre, y suelos los materiales de ellos derivados.

El vocablo "roca", tal como se emplea en Geología ingenieril, designa una masa de material natural, de semidura a dura, compuesta de uno o varios minerales.

Minerales

Identificación de minerales.- Un mineral es una sustancia inorgánica natural de composición química y estructura definidas. La apariencia externa de un mineral bien cristalizado corresponde a su estructura atómica, excepto en los criptocristalinos, los redondeados o en los amorfos.

En general en la práctica ingenieril se identifican las rocas y minerales a simple vista o con lupa de pocos aumentos, por métodos llamados "megascópicos". Para análisis más profundos se utilizan métodos "analíticos", entre los que se encuentran los estudios petrográficos de láminas delgadas vistas a través de un microscopio con luz polarizada, o el estudio realizado con rayos X (apropiados para minerales de grano fino o arcillas), sin olvidar que existen

los análisis químicos, de silicatos o los métodos espectrográficos para minerales metálicos, para los que se emplea el análisis mediante "soplete". Se actúa sobre un fragmento de mineral y valiéndose del chorro incandescente que se forma, se le hace pasar a través de una llama de gas de un mechero de laboratorio la corriente de aire de un soplete. Son objeto de observación la reacción del mineral bajo la acción del chorro incandescente y el color de la llama.

Propiedades físicas de los minerales.- Las propiedades más importantes de los minerales constituyentes de las rocas son:

Color.- A simple vista podemos reconocer el color de un mineral; sin embargo podemos caer en error debido a una superficie meteorizada o por coloraciones secundarias procedentes de impurezas que pueden ser de hierro es necesario poner de manifiesto una superficie fresca, haciendo saltar una espina o una arista de la muestra. Cabe recordar que algunos minerales ofrecen una amplia gama de colorido.

Rayado.- Al frotar un mineral contra una placa de porcelana mate, deja en ella una traza de partículas diminutas adheridas, incoloras o coloreadas.- El color de la traza o raya suele ser característico de un mineral.

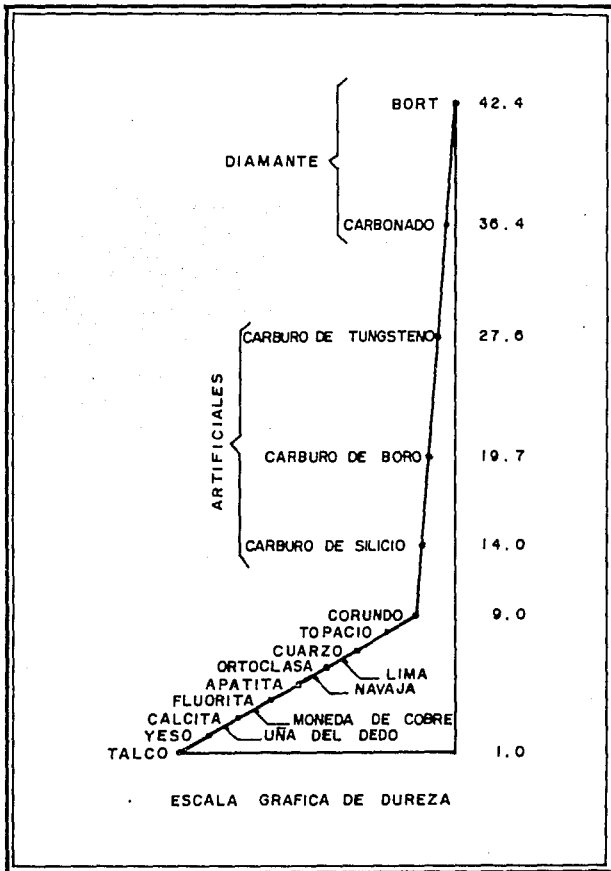
Dureza.- La dureza de un mineral (símbolo *D*) se expresa por el número que le corresponde por comparación en la escala de dureza de Mohs, en donde cada mineral puede rayar a los de número ordinal menor que el mismo y sólo puede ser rayado por los de número mayor.

Escala de Dureza de Mohs

<u>Dureza aproximada</u>	<u>Mineral tipo</u>	<u>Método de identificación</u>
1	Talco	Marca los tejidos.
2	Yeso	Puede ser arañado por una uña.
3	Calcita	Puede ser rayado por una moneda de cobre.
4	Fluorita	
5	Apatita	Puede ser rayado por un cortaplumas.
6	Ortosa	Araña los cristales de ventana.
7	Cuarzo	No se deja raya por una lima de acero.
8	Topacio	
9	Corindón	Raya la mayor parte de los metales pero no al diamante.
10	Diamante	Raya cualquier material pero no a otros diamantes.

Existe otra clasificación ligeramente diferente, que se muestra a continuación.

Escala Gráfica de Dureza (WOODDELL)



Cuando un mineral es rayado con una navaja es necesario observar cuidadosamente si la marca blanca que permanece en el mineral es realmente una ranura, o bien, es solamente una huella dejada por las partículas de acero de la navaja en el mineral.

Crucero.-

Para observar el plano de clivaje o crucero es necesario -- dar un golpe con un objeto agudo al mineral, éste se romperá a lo largo de un plano definido, el cual es paralelo a -- una cara cristalina. La cara de crucero es generalmente una superficie plana y perfectamente lisa con la apariencia de haber sido pulida. Existen algunos minerales con un crucero difícil o duro; su plano cristalográfico no está bien definido por lo que es necesario utilizar un microscopio para -- su determinación.

Fractura.-

En un mineral se refiere a las características de la superficie resultante de su rompimiento cuando no tiene relación con sus caras cristalinas. Los tipos de fractura son clasificados como: conchoidal, semejante a una superficie suave, cóncava o convexa; irregular, una superficie áspera, con sa lientes angulosos y redondeados; estriada o astillosa, y ban deada o mellada, que semeja bandas, o falta de dientes o eg trias.

Tenacidad.-

Es la capacidad de un mineral para mantenerse sin romperse o sin doblarse. Cuando se puede romper, se dice que es frágil; que es maleable cuando puede hacerse con él una hoja -- delgada al golpearlo con un martillo; dúctil, cuando puede trefilarse; flexible, si puede ser doblado, pero no recobra

su forma original al cesar la fuerza que actuaba sobre él.

Forma cristalina.- Los sistemas de cristalización están definidos por ejes, -- los cuales frecuentemente son perpendiculares a los ejes de simetría del cristal. Excepto los minerales amorfos todos -- los demás poseen una característica de cristalizar definida por varias caras, contenida en algún sistema de cristalización.

Estos sistemas de cristalización son seis: Isométrico, Te-- tragonal, Hexagonal (con dos divisiones: hexagonal y romboi-- dal), Ortorrómbico, Monoclínico y Triclínico. En total las -- divisiones de estos sistemas suman 32.

Peso específico.- Para un mineral o roca es la relación que existe entre el -- peso de un volumen dado del mineral o roca y el peso de un volumen igual de agua a 4°C.

Lustre o brillo.- La mayoría de los minerales bajo una luz reflejada presen -- tan una apariencia llamada lustre o brillo, el que puede -- ser metálico, no metálico o submetálico. El no metálico se describe como vítreo (apariciencia de vidrio), grasoso apa -- riencia de aceite), diamantino (brillo común de los diaman-- tes), perlado (iridiscente como perla), sedoso y resinoso.

Diafanidad.- Capacidad de los minerales para transmitir la luz, de acueg -- do con esta propiedad son divididos en: transparentes, que permiten el paso de la luz por lo que se ven las imágenes a través de ellos; translúcidos, que permitan el paso de la -- luz pero no se ven las imágenes a través de ellos; opacos, -- que no transmiten la luz.

Clasificación de los minerales

De acuerdo con su composición química, pueden ser subdivididos en silicatos, óxidos, carbonatos y sulfatos. Se conocen miles de clases distintas de minerales, pero sólo unos cien son comunes y están constituidos principalmente por ocho elementos: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio, y magnesio. Estos elementos, unidos entre sí forman casi el 99% de la corteza terrestre.

El agua de los minerales puede estar como agua adsorbida (atraída), no formando parte de la estructura molecular, pero ubicada en los poros o en la superficie, en raros casos penetra al interior, y se puede eliminar por evaporación.

Cuando esta agua es constitutiva de la estructura del mineral, solamente puede ser eliminada rompiendo la estructura de éste, sometiéndole por ejemplo a muy altas temperaturas.

También en algunos minerales el agua se presenta formando parte de la composición química.

Minerales más comunes en las rocas

Están clasificados en pocos grupos, la selección de diez de estos grupos cubre el 99.5% de todos los minerales de las rocas ígneas. Estos son:

- 1.- Cuarzo.
- 2.- Feldespatos.
- 3.- Anfíbolos.
- 4.- Piroxenas.
- 5.- Micas.
- 6.- Olivino.
- 7.- Nefelita.

- 8.- Leucita.
- 9.- Magnetita.
- 10.- Apatita.

Hay también minerales llamados accesorios que aún cuando son muy abundantes se encuentran sumamente diseminados, como los siguientes:

- 1.- Óxidos de hierro FeO_2 .
- 2.- Minerales de arcilla.
- 3.- Carbonatos.
- 4.- Calcedonia SiO_2 .
- 5.- Sulfuros.
- 6.- Titanita $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$.
- 7.- Zircón $\text{Zr}(\text{SiO}_4)$.
- 8.- Clorita, grupo de silicatos.
- 9.- Epidota $\text{Ca}_2(\text{AlFe})_3\text{OH}(\text{SiO}_4)_3$.
- 10.- Obsidiana SiO_2 .
- 11.- Serpentina $\text{Si}_2\text{O}_9\text{MgH}_4$.
- 12.- Granate, Silicoaluminato.
- 13.- Talco $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.
- 14.- Turmalina $\text{Si}_4\text{O}_{21}\text{B}_2\text{AlH}_{11}$.
- 15.- Estauroлита $\text{ZAl}_4\text{SiOFe}(\text{OH})_2$.
- 16.- Cordierita $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$.
- 17.- Sianita $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$.
- 18.- Rutilo TiO_2 .
- 19.- Espinela MgAl_2O_4 .
- 20.- Corindón Al_2O_3 .
- 21.- Zeolita, Silicoaluminato.

22.- Yeso $\text{Ca}(\text{SO}_4)2\text{H}_2\text{O}$.

23.- Zoicita $\text{CaAl}_3\text{OH}(\text{SiO}_4)_3$.

Silicatos.- Grupo de minerales en donde están combinados el silicio y el oxígeno con algún metal, como aluminio, el sodio o el potasio.

Los silicatos se subdividen en anhidros (que no contienen H_2O en sus fórmulas químicas) e hidratados. Los principales silicatos anhidros son miembros del grupo de los feldespatos.

Óxidos.- Molécula formada por uno o más átomos de oxígeno combinados con uno o más átomos de otros elementos.

El cuarzo se encuentra en el grupo de los óxidos, en donde es un elemento importante. Los cristales de cuarzo bien desarrollados se identifican con facilidad megascópicamente, ya que son prismas hexagonales con pirámides de seis lados en ambos extremos; también por su fractura conchoidal, lustre vítreo, gran dureza (en la escala de Mohs tiene el 7) y color generalmente incoloro, lechoso, amatista, grisáceo o rosado.

Carbonatos.-Están compuestos por un ión de carbono y tres de oxígeno. De los carbonatos el mineral más importante es la calcita (CaCO_3). Sus cristales pueden conocerse fácilmente por su dureza 3 y sus lados en forma de rombos. La calcita es un mineral secundario, o sea que se forma posteriormente a la roca que lo contiene. Es soluble en agua que contenga CO_2 . Al aplicar HCl diluido a una roca que contenga calcita, se produce una fuerte efervescencia.

Sulfatos.- Sal del ácido sulfúrico compuesta por la combinación del trióxido de azufre o anhídrido sulfúrico con una molécula de agua.

Dentro de este grupo se cuentan como minerales principales el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la anhidrita, que difieren sólo por el contenido de agua, el yeso tiene un peso específico más bajo y una menor dureza que la anhidrita. Al yeso se le reconoce por su dureza (2) y por su color blanco o amarillento; a veces rojizo.

Cuarzo.- Es uno de los minerales más importantes del grupo de los óxidos -- (SiO_2). Algunos mineralogistas lo consideran como silicato.

Feldespatos (ortoclasa y plagioclasa).- Se dividen en dos grupos: Ortoclasa-Microclina o Feldespatos potásicos y Plagioclasas o Feldespatos de Sodio y Calcio. Bajo la acción del agua que contiene CO_2 los feldespatos se alteran dando minerales arcillosos. La mayoría de la clasificación de las rocas ígneas requiere conocer la presencia o ausencia de ortoclasa o plagioclasa en las rocas.

Son los minerales más comunes en las rocas ígneas de color claro, y en las metamórficas, pero muy escasos en las sedimentarias.

La ortoclasa, con frecuencia tiene coloración rojiza de diferentes tonos. Este color se observa con frecuencia en granitos. La plagioclasa comúnmente es gris pero no se generaliza.

Su dureza es (6), siendo rayados por el cuarzo y en estado sano no son rayados por la punta de la navaja.

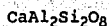
Diferentes tipos de feldespatos se parecen tanto entre sí, que sus diferencias sólo se aprecian con la ayuda del microscopio. La plagioclasa se caracteriza por la presencia de líneas paralelas y rectas en la superficie de separación (clivaje).

ORTOCLASA



PLAGIOCLASA:

Anortita



Bitownita (10-25% Ab)

Labradorita (25-50% Ab)

Andesita (50-75% Ab)

Oligoclasa (75-90% Ab)

Albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Ab=Albita

Anfibolas.- Están formadas por un grupo de silicatos químicamente complejos -- que cristalizan en los sistemas Ortorrómico y Monoclínico. El -- clivaje es prismático perfecto, y los planos se intersectan con ángulos de 55° y 125°. Su coloración varía desde incoloro hasta negro dependiendo del contenido de fierro y su estado de oxidación.- El mineral más común de este grupo es la hornblenda.

Piroxenas.- Las piroxenas cristalizan en los sistemas Ortorrómico y Monoclínico, por lo que de manera general se les puede clasificar como ortopiroxenas y clinopiroxenas. Los cristales son típicamente prismáticos, cortos o alargados, están caracterizados por un buen crucero-prismático a 87° y 93°. Comúnmente de coloración verdosa o negra.- Brillo vítreo a mate. Las variedades más comunes son la augita y la hiperstena.

Micas.- Se reconocen generalmente por sus hojas delgadas translúcidas y -- flexibles, que pueden ser fácilmente separadas. Se dividen en dos grupos principales que son la Biotita (mica negra) que es un silicato complejo de potasio, hierro, aluminio y magnesio; translúcida u opaca, brillo perlado a vítreo, con rayadura blanca o verdosa, y la Muscovita (mica blanca) que es un silicato complejo de aluminio y potasio; incoloro, aunque puede verse gris o verde; en placas -- delgadas es transparente o translúcido con brillo perlado a ví -- treo. Bajo la acción del intemperismo la Biotita se altera más rápidamente. Las rocas con altos contenidos de mica son consideradas malas para las cimentaciones. Los dos grupos de micas se encuen -- tran con frecuencia en rocas ígneas o metamórficas.

Olivino.- Es un silicato de magnesio y fierro. Por lo general se encuentra - en granos vítreos pequeños y en agregados granulares. Su color es verde o amarillento, cuando se altera es parduzco. Es transparente o translúcido. Cristaliza en el sistema ortorrómbico. Es caracte -- rístico en las rocas ígneas del grupo ferromagnésiano de color obs -- curo, pero no se encuentra en las rocas feldespáticas.

Nefelita.- Su fórmula química es $(Na,K)AlSiO_4$, pero puede contener pequeñas - cantidades de Calcio (Ca) o exceso de sílice. Su cristalización es hexagonal, puede ser gris, rosada o verde, tiene lustre vítreo. Y no es abundante.

Leucita.- Su fórmula es $KAlSi_2O_6$. Pero el sodio comúnmente reemplaza a parte del potasio. Se le encuentra formando cristales trapezohedrales, - de color muy claro. Lustre vítreo u opaco. Como a la Nefelita, se le encuentra en rocas con deficiencia de sílice.

Magnetita.- Es una combinación de óxido ferroso con férrico (Fe_3O_4), generalmente se presenta en cristales bien formados de ocho caras. Sistema Isométrico, coloración negra. Es opaco con brillo metálico o submetálico. Rayadura negra. El imán lo atrae fuertemente.

Apatita.- Su fórmula química es $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl})$. Cristaliza en el sistema Hexagonal, en prismas no visibles megascópicamente. Varía de coloración siendo: café, gris, verde, azul, rojo o blanco. Se le encuentra en todos los tipos de rocas ígneas o metamórficas.

ROCAS

Desde el punto de vista geológico, se entiende por rocas a todo el material que forma la corteza terrestre, independientemente del estado en que se encuentre. Como puede ser en depósitos sueltos o formaciones no consolidadas, por ejemplo, arcillas y arenas o masas sólidas y duras, como basaltos, granitos, calizas, etc.

Las rocas constituidas por un sólo mineral, como los carbonatos de calcio o cuarzo, son llamadas "simples"; y a las constituidas por varios minerales como pueden ser la andesita y el granito se les llama "complejas".

Los geólogos han clasificado a las rocas de acuerdo con su origen y su evolución en tres grupos, que se subdividen atendiendo a características particulares:

I. Igneas o Magmáticas

1. Intrusivas o Plutónicas
2. Extrusivas o Volcánicas

II. Sedimentarias

1. Clásticas o de origen Mecánico
2. De origen Químico
3. Orgánicas

III. Metamórficas

Textura.- La textura de una roca es la ordenación de sus granos o partículas tal como se aprecia en una fractura reciente o en una superficie fresca.

Estructura.- El empleo de la designación "estructura" se reserva para aquellas características de las rocas más pronunciadas que las descritas en el término textura.

Rocas Igneas

Estudios sismológicos han demostrado que el interior de la tierra se encuentra en estado semipastoso y no líquido como se creía, porque probablemente las fuertes presiones y las altas temperaturas evitan su solidificación.

Al fracturarse las capas superiores, el magma comienza a fluir hacia la superficie, solidificándose paulatinamente conforme va llegando a capas con temperaturas más bajas. La profundidad a la que solidifica el magma, determina su textura y en algunos casos su estructura. La textura es principalmente una consecuencia de la rapidez de la cristalización.

La composición mineral en promedio de las rocas ígneas, es aproximadamente: Feldespatos 59%, Cuarzo 12%, Anfibolas y Piroxenas 17%, Micas 4% y minerales accesorios 8%.

Las rocas ígneas se clasifican de acuerdo con la profundidad a que se forman, de acuerdo con su color y con la presencia o ausencia de cuarzo. La diferencia en colores es controlada por la composición misma de las rocas; las rocas de colores claros (ácidas) generalmente son ligeras mientras que las rocas oscuras (básicas) contienen minerales un poco más pesados, particularmente piroxenas y otros ferromagnesianos.

Rocas Igneas Intrusivas

Son rocas ígneas formadas debajo de la superficie terrestre y se presentan en forma de batolitos, stocks, lacolitos, diques y mantos.

Las rocas intrusivas al perder el calor paulatinamente y solidificarse lentamente dentro de capas inferiores o debajo de la corteza terrestre, adquieren una textura uniforme y gruesa, ya que los minerales que las componen se formaron en un período de tiempo muy grande y se desarrollaron y crecieron, en ocasiones, algunos cristales más que otros. Por ejemplo el granito.

Los batolitos son masas de roca que pueden extenderse por kilómetros, generalmente son formados por rocas ácidas y de textura fanerítica. Se les encuentra asociados a plegamientos y fracturamientos intensos.

Los "stocks" tienen una forma cónica discordante que puede abombar los estratos. Superficialmente pueden tener hasta 200 km^2 . La roca es ácida también y su textura fanerítica o porfídica fanerítica.

Los lacolitos tienen forma lenticular con espesores que van desde varias decenas de metros hasta $1,500 \text{ m}$ con un diámetro de 1.5 a 15 km , no son localizados a grandes profundidades, son formados por rocas intermedias de textura porfídica.

Los diques son de forma tubular, discordante, generalmente se presentan en arreglos tendientes a paralelos o radiales. Su espesor va desde algunos milímetros hasta 300 m y la longitud varía desde unos metros hasta varios kilómetros.

Los mantos o "sills", o también llamados diques concordantes, se presentan en formas tabulares paralelas a estratos sedimentarios. De poca o mediana profundidad, por lo que su textura predominante es afanítica y porfídica. Su espesor es desde algunos metros hasta varios kilómetros.

Textura de las Rocas ígneas.

- Textura Porfídica (Porfirítica).- Cuando el proceso de enfriamiento es lento, se forman rocas de grano muy grueso, con los cristales individuales (fenocristales) muy desarrollados, dentro de la pasta fundamental uniforme y granular.
- Textura Granitoide (Faneríticas).- Las rocas tienen los mismos minerales de aproximadamente igual tamaño, sin fenocristales, gruesos unos y más finos otros, pero visibles siempre.
- Textura Densa o Felsítica (Afanítica).- Es característica de las rocas cristalinas en las que no se distinguen los cristales a simple vista o con una lente de pocos aumentos. Se observa por medio de láminas muy delgadas colocadas bajo el microscopio. Su aspecto es homogéneo monótono, pero no llega a vítreo. Es propia de las rocas extrusivas.
- Textura Vítreo.- Es propia de aquellas rocas que se enfrían con excesiva rapidez, sin que se desarrolle la cristalización visible. Su aspecto es vítreo (por ejemplo la obsidiana).
- Textura Fragmentada.- Corresponde a tobas o brechas volcánicas que se forman por la consolidación del material piroclástico.

Estructura de las Rocas Ígneas.

- Porosa.- Las rocas ígneas efusivas-felsíticas y especialmente vítreas, pueden adquirir diferentes grados de porosidad dependiendo de los espacios vacíos formados por las burbujas de vapor de agua que escapan de los magmas durante el enfriamiento. Pueden tener estructura vesicular, pumítica y escoriácea (basaltos vesiculares, piedra pómez y escorias volcánicas).
- Columnar.- Algunas veces una masa de roca ígnea, después de enfriarse, forma un sistema de columnas de sección hexagonal y muy ajustadas entre sí. Sucede tanto en las rocas intrusivas, como extrusivas. Con mayor frecuencia en basaltos. Las columnas siempre son perpendiculares a la extensión mayor del cuerpo ígneo, las columnas tienden a ser verticales; en los diques son horizontales.
- Fluidal.- En ocasiones las lavas felsíticas adquieren el aspecto laminar o fluidal, lo que les proporciona cierta semejanza con las sedimentarias. Este fenómeno se debe a la rápida cristalización de los feldespatos en la parte inferior de la corriente de lava, mientras -- que la parte superior todavía tiene cierto movimiento que "arrastra" o "alinea" los feldespatos; la estructura de este tipo se llama fluidal y se presenta con frecuencia en andesitas y riolitas.

Rocas Ígneas Extrusivas

Se forman al enfriarse el magma, que emerge del interior de la tierra, en estas condiciones el enfriamiento es muy rápido, por lo que el proceso de cristalización lo es también y sus cristales se presentan menos desarrollados, además el vapor de agua en unión con otros gases se escapa rápidamente del magma, formando así minerales como el feldespato, piroxenos, nefelita, leuquita, magnetita, pirita, etc.

Rocas Sedimentarias

Cuando los productos de desintegración y descomposición de cualquier tipo de roca son transportados, se vuelven a depositar y se consolidan o cimientan total o parcialmente, para constituir de este modo un nuevo tipo de roca; clasificando de esta forma a la roca resultante como sedimentaria. Esta clasificación abarca también las rocas formadas de la precipitación química o la deposición de restos orgánicos en el agua. Los depósitos abandonados por la acción sedimentaria se suelen reconocer por su estructura en lechos o capas (estratificados), a diferencia de la estructura masiva de las rocas ígneas. También es usual que se encuentren fósiles de animales (invertebrados en su mayor parte), y plantas en las rocas sedimentarias, formando las turbas o carbón de piedra y los diminutos organismos marinos producen sales de calcio y sílice con las cuales se forman diferentes clases de calizas.

La designación de "sedimento" se aplica comúnmente a depósitos procedentes de la acción del agua, el viento o los glaciares.

Las formaciones Eólicas, como Médanos o Loes, se forman de partículas transportadas por el viento.

De acuerdo con el origen, modo de formación, composición química y con las características físicas, las rocas sedimentarias se dividen en tres grupos: de origen Mecánico, Químico y Orgánico.

De origen mecánico.- O rocas clásticas, comprende los sedimentos constituidos por partículas individuales separadas por medios mecánicos. Son primordialmente detriticos y representan agregados sueltos que son transportados y finalmente depositados; dan lugar a la formación de una roca de procesos de compactación o cementación. Entre estas tenemos: conglomerados, brechas, areniscas, lutitas, limonitas, etc.

De origen químico.- Se forman por disolución y posterior precipitación de algunos elementos. El material soluble es arrastrado en disolución, dejando una roca residual en el lugar del ataque químico. Cuando las condiciones químicas cambian por algún motivo (como saturación del agua, reacción química, etc.), el elemento disuelto se precipita y da lugar así a la formación de la roca sedimentaria química.

De origen orgánico.- Son constituidas a partir de seres vivos. La formación de las rocas se lleva a cabo de diferentes maneras:

-Pueden ser animales marinos coloniales como los caracoles o algas que forman un arrecife y sus partes duras forman una caliza arrecifal.

-También la acumulación de partes duras de los restos orgánicos (conchas, caparazones, etc.) forma rocas orgánicas en forma similar a como se originaría una roca detritica, este es el proceso formativo de las coquinas, por ejemplo.

-Las partes blandas pueden fermentar por la acción de microorganismos como la hulla y el petróleo.

-Existen rocas formadas indirectamente por bacterias que provocan ciertas reacciones químicas, originándose por ejemplo, las rocas fosfatadas.

Rocas Metamórficas

El metamorfismo puede definirse de manera general, como cualquier cambio físico o químico que altere las propiedades originales en una roca. Estos cambios son restringidos a los cambios profundos que involucran una nueva cristalización o nueva textura en una roca, por intensos esfuerzos (dinamo metamorfismo) y altas presiones, obrando conjuntamente o por separado.

Las características generales de las rocas metamórficas, incluyen una estructura bandeada y una textura en la que se tiene un intercrecimiento y un entrelazamiento de los cristales.

Tipos de Metamorfismo

Dinamometamorfismo. - Es ocasionado por acciones mecánicas, pero no parece probable que factores exclusivamente dinámicos sean generados de metamorfosis, éste puede romper o deformar los cristales, pero no producir cambios profundos.

Cuando se observa un verdadero metamorfismo, ligado a esfuerzos mecánicos es probable que hayan intervenido otros factores como presión y temperatura.

Metamorfismo de contacto.- Es producido por el calor y los componentes gaseosos que escapan favoreciendo el metamorfismo.

Aparecen en las zonas limítrofes de los grandes batolitos y sus apófisis, su intensidad decrece conforme la roca se aleja de la intrusión.

Metamorfismo regional.- Afecta principalmente a zonas plegadas y está relacionado con la orogénesis, su influencia es de grandes extensiones y se debe a temperaturas y presiones altas, sin llegar a la fusión, actuando en tiempos largos.

Por lo que podemos decir que el metamorfismo necesita presión, temperatura y tiempo, y se favorece por movimientos tectónicos y soluciones que propicien el intercambio químico a minerales más densos.

PRINCIPALES ROCAS IGNEAS

Rocas Intrusivas

GRANITO.- Se caracteriza por una textura granular, el cuarzo y el feldespato son los más abundantes dentro de su constitución y en consecuencia la mayoría de los granitos son de color claro. También están presentes la biotita y/o la hornablenda en la mayoría de los granitos. Tanto la mica como la hornablenda y la piroxena, son minerales ferromagnesianos que destacan por su color oscuro sobre la masa de los granitos.

Suelen aparecer en la masa de los granitos unos diques blancos de aplita, que también es un granito de grano fino con mica muscovita.

Macizo y sano, en grandes masas, es impermeable y muy resistente -- (1,000 a 1,400 kg/cm²). Su densidad media es de 2.6 a 2.7. Es muy -- buen material para construcción debido a su resistencia, pero resulta muy cara su explotación, ya que requiere un fuerte gasto en explosivos o el desgaste de las herramientas utilizadas para trabajar la roca: barrenos, trituradoras, etc.

La intemperización en clima seco lo disgrega en forma de escamas (capas concéntricas); en clima húmedo, la zona alterada llega a ser profunda y la roca se desgrana con facilidad, las arenas provenientes de esa desintegración son gruesas y la circulación de agua a través de ellas se da fácilmente.

Un corte en esa clase de roca debe ser revestido para evitar derrumbes y filtraciones de agua. Expuesta a la acción del hielo y a la -- descongelación, la roca se divide en grandes bloques paralelepípedicos, acomodados regularmente, de tal modo que, al mover uno de ellos se derrumban los demás y cada uno de ellos pesa varias toneladas.

Abunda en las costas del Océano Pacífico: Sierra de Chiapas, batolito de Acapulco, Gro. y los de Michoacán y Jalisco. En los dos extremos de la península de Baja California: región de los Cabos y Sierra de Juárez, Kukapás y Rumorosa en el norte. En algunas regiones de -- los estados de Sonora y Sinaloa, se le encuentra muy alterado y presenta la apariencia de una arena gruesa probablemente cementada y recibe el nombre de Tucuruquay.

Se encuentra también en el corazón de la Sierra Madre Oriental, al N.W. y S.W de Cd. Victoria, y algunos lugares aislados en las sierras del interior del país.

PEGMATITA.- Es un granito cuyos elementos constitutivos han alcanzado un gran desarrollo; grandes cristales de cuarzo y feldespato, y grandes laminas de mica.

Por ser la pegmatita una modificación del magma granítico, se presenta en la naturaleza y los lugares donde se encuentra el granito, en forma de segregaciones en la masa de aquél. Sus propiedades son parecidas, aunque por el tamaño de sus constituyentes, que permite la explotación comercial de ellos, no se usa como material de construcción. Además, no es abundante.

SIENITA.- A esta roca se le llama "granito sin cuarzo", debido a que contiene el mismo feldespato (potásico) pero no contiene cuarzo o lo tiene en insignificante proporción. También suele contener hornablenda, mica o piroxena, pero en general es una roca de color claro.

En el país se conoce su existencia en Sonora, en las cercanías de la población de Frontera, entre Aguaprieta y Nacozari.

GRANODIORITA.- Es una roca parecida al granito, pero en la que se presenta el cuarzo en menor cantidad y aparece el feldespato plagioclasa junto con la ortoclasa. Se le encuentra generalmente asociada con rocas graníticas. Es un poco menos dura.

DIORITA.- Roca compuesta del feldespato plagioclasa y hornablenda, pero el mineral ferromagnesiano puede ser también mica o piroxena. Su textura es granitoide lo que a veces provoca confusión con el granito.

Tiene una densidad comprendida entre 2.8 y 3.0, es decir es un poco más pesada que el granito. Es muy resistente y menos dura que el granito. Adquiere un buen pulimento y constituye en general un buen material para construcción.

La diorita se presenta en grandes masas, como al sur de Zitácuaro --

(Cerro de La Coyota), y en muchos lugares de la Sierra Madre Occidental y de la costa del Océano Pacífico. En el gran batolito de Acapulco es frecuente ver a los lados de la carretera México-Acapulco (libre), diques de diorita atravesando la masa de granito.

GABRO.- Es una roca básica de color oscuro, debido a que en su composición predominan los minerales ferromagnesianos, principalmente la piroxena y el olivino. Hay gabro con hornablenda, lo que acerca a esta roca con la diorita, pero este tipo de gabro no se ha identificado en México, que se sepa.

La roca sana es dura, resistente y es un excelente material para construcción, aunque sus afloramientos son muy restringidos. Tiene una densidad de 2.9 a 3.2

Se conocen en México algunos lugares donde aparece el gabro sano: en los Estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Sinaloa y Baja California.

Rocas Extrusivas

RIOLITA.-Roca frecuentemente de aspecto fludal, de donde deriva su nombre, -- con la característica de que los cristales de cuarzo que la acompañan están alargados y alineados sobre una pasta fundamental, en la dirección de la corriente. Es más común encontrar a la roca sin este aspecto fludal. Es relativamente fácil identificarla por la presencia de cristales de cuarzo diseminados en medio de una pasta de grano muy fino, formada por ortoclasa. Destacan a veces la mica y algunos ferromagnesianos.

Es una roca dura y resistente, apropiada en general para la construcción. Cuando se la tritura, sus fragmentos presentan aristas agudas, por lo que no es recomendable para concretos asfálticos o hidráulicos.

La roca es impermeable. Sus grietas cierran a profundidad; alterada produce material arcilloso y aún arcilla pura. Se presenta en grandes masas, alternando con sus tobas, lo que provoca que en conjunto dé una apariencia de corrientes sucesivas de gran espesor, como se observa en la Sierra Madre Occidental (Carr. y F.C. Durango-Mazatlán y F.C. Chihuahua-Pacífico).

Se encuentra también en los Estados de: Hidalgo, Querétaro, Zacatecas, Nayarit, Sinaloa, Durango y Chihuahua.

TRAQUITA.- Es una roca poco conocida en el país y frecuentemente confundida con la andesita y toba andesítica. En esta roca predomina la ortoclasa y carece de cuarzo.

DACITA.- Por su composición es una andesita con cuarzo. En el campo es fácil confundirla con la riolita por la presencia de cuarzo y por la dificultad que presenta el identificar macroscópicamente el feldespato plagioclasa de una ortoclasa; sus cualidades físicas la acercan a una riolita, por lo que no se comete un gran error al confundirla con una riolita.

En el Estado de Hidalgo la tercera parte superior de la Sierra de Pachuca se compone de brecha andesítica entre la cual descuellan las eminencias principales de esa sierra: Los Frailes u Organos de Actopan, Las Monjas, El Zumate, etc., constituidas por dacitas. Los cantiles de Nejapa, parte del camino Oaxaca-Tehuantepec se constituyen de dacitas.

ANDESITA.- Su nombre proviene de la Cordillera de los Andes, esto da una idea de la enorme extensión que ocupa. Existen grandes afloramientos en la República, aunque no tan grandes como los de riolita.

Es una roca afanítica y frecuentemente porfirítica, no contiene cuarzo y esto la distingue de la dacita. El feldespato plagioclasa constituye su fenocristal mas común, en menor proporción pueden estar la piroxena, la anfíbola o la biotita. La mayoría poseen estructura bandada parecida a las riolitas. Su color varía del blanco al negro, aunque la mayoría son gris-verdoso o gris-oscuro. Es abundante en corrientes de lava o en fragmentos de brecha volcánica.

Según su estado, puede ser utilizada para mampostería, aunque no de primera clase. Se usa con éxito en sub-bases y bases de pavimento y aún en revestimientos. Cuando ha sufrido acciones dinámicas y después ha sido intemperizada, su grado de alteración permite usar la roca triturada como cementante; mezclada con tezontle se utilizó en la base de la Autopista México-Cuernavaca en el tramo Topilejo-Tres Cumbres.

La roca y sus productos piroclásticos son impermeables, por lo que fácilmente se pueden construir canales en ellos, sin revestimiento alguno.

En el Estado de Hidalgo, las vetas minerales del distrito minero de Pachuca y Real del Monte "arman" en andesitas, así también la Sierra de Pachuca en sus dos terceras partes inferiores están constituidas por andesitas.

Gran parte del contorno de la cuenca del Valle de México se constituye de andesitas: La Sierra Nevada, El Ajusco, Las Sierras de las Cruces y Monte Alto (en gran parte), así como el Nevado de Toluca, la

Sierra de Guadalupe, el Pico de Orizaba, El Cofre de Perote, la Malinche y las Derrumbadas son todos andesíticos.

De material andesítico piroclástico (arenas y gravas) retransportado está formado el abanico fluvio-glacial que cubre las faldas de las sierras del sur de la Cd. de México, al oriente de Texcoco, en las lomas de Cuernavaca, Mor. y en el Estado de México en los montes de Ocuilan, en Malinalco y Malinaltenango.

BASALTO.- Es la roca más abundante del mundo y está esparcida en grandes mesetas que cubren miles de kilómetros cuadrados. Se presenta en grandes masas en forma de corrientes, de aspecto lávico típico. Es una roca afanítica de color gris o negro; en menor cantidad existen algunos porfiríticos, que contienen fenocristales de plagioclasa y olivino. Tiene un peso específico promedio de 3.1, presenta un aspecto de roca maciza, muy resistente y dura, de manera que su explotación requiere un gran gasto de explosivos y de herramientas de perforación.

En ocasiones cuando ha sufrido presiones la masa se divide en "lajas", las corrientes de cierto espesor se dividen al enfriarse en columnas prismáticas hexagonales, casi siempre verticales que alcanzan alturas hasta de 34 metros.

El basalto como roca maciza es impermeable, pero su frecuente división en bloques, provoca la filtración de agua. Es útil en cimientos y enrocamientos. Para usarse en la elaboración de concretos, es factible triturarla y presenta una magnífica adherencia con el asfalto y el cemento. Puede presentar una estructura cavernosa, y si además es muy porosa, escoriácea y ligera se le llama "tezontle", es de color negro o rojo, rojo debido a la oxidación de los minerales ferromagnesianos de la composición de la roca. Se presenta en fragmentos -

de casi todos los tamaños, por lo que bien puede ser considerado como producto piroclástico. Es un material impermeable debido a que sus poros no están comunicados entre sí.

ROCAS SEDIMENTARIAS

CONGLOMERADOS.- Son gravas cementadas que forman una roca maciza y resistente, la mayor parte de las veces de naturaleza caliza.

Cuando las gravas son silicosas y el conglomerado resultante está cementado con la misma sílice, la roca es más dura y resistente que la de origen calizo. Los cementantes pueden ser de naturaleza silicosa, férrica, caliza y arcillosa, llevando el orden anterior en resistencia de mayor a menor respectivamente.

Contienen como mínimo un 10% de fragmentos gruesos (mayores de 2 mm) redondeados. Un largo transporte implica un mayor redondeamiento de la fracción clástica y una proporción menor de fragmentos gruesos. El transporte se realiza por medio de agua, primordialmente aguas marinas someras y ríos.

BRECHAS.- Cuando las gravas no han sufrido arrastre, sus aristas no se han desgastado y permanecen agudas, como las formadas al pie de los taludes, entre las paredes de una falla y en las cercanías de ellas. Cuando estos fragmentos llegan a consolidarse y forman una roca maciza, a ésta se le llama brecha. Las brechas se dividen según su origen en:

Brechas de talud: son originadas por la acumulación de fragmentos angulosos caídos por gravedad en la base de escarpes de fuerte pendiente.

Brechas volcánicas: provocadas principalmente por la acumulación de los materiales expulsados por la actividad volcánica.

Brechas de intrusión: aparecen en el contacto de algunos cuerpos intrusivos con la roca encajonante.

Brechas de falla o tectónicas: son debidas a las fricciones generadas por el movimiento de las masas pétreas ocasionadas por la falla.

ARENISCAS.-

Son arenas consolidadas, se clasifican de diversas maneras según el tamaño de su grano, el estado de consolidación que presenten, y según la composición de la arena. Así se tienen areniscas de grano fino, medio y grueso; areniscas suaves y duras; arenisca de cuarzo, de caliza y de feldespato. También pueden ser masivas, estratificadas o presentar estratificación cruzada.

Las areniscas de acuerdo con la matriz cementante se clasifican como: silicosas, calcáreas, ferruginosas o areniscas arcillosas.

Las areniscas cuarcíferas u ortocuarzitas están constituidas por granos de cuarzo redondeados, bien clasificados en su granulometría y unidos por un cementante químico, generalmente sílice o carbonato de calcio. Son indicativas de un transporte largo, en el cual se desintegran los materiales blandos y aparece únicamente el cuarzo por su dureza.

Su buena esfericidad y la ausencia de impurezas, resultan en -
minimas superficies de contacto entre grano y grano provocando
una gran permeabilidad por su poca cementación.

Cuando el cementante es sílice, la roca recibe el nombre de or
tocuarcita, que es una roca muy resistente y prácticamente im-
permeable.

Arenisca arcósica o arcosa, es el resultado de la cementación
de arenas procedentes de rocas ígneas áridas, por lo que abun-
da en ellas el feldespato y su color es claro. Las arcosas son
generalmente de origen continental y la fracción clástica pro-
cede del intemperismo de macizos graníticos o gnésicos. Son -
rocas de granos mal clasificados, por lo que sus espacios en--
tre granos son muy pequeños, resultando con esto una roca bien
compactada en la mayoría de las ocasiones, además el deficien-
te redondeo de sus granos y una buena cementación dan una roca
resistente.

Las grauvacas son rocas constituidas por materiales detríticos
de origen marino, también incluyen generalmente materiales vol-
cánicos y una gran variedad de componentes en la fracción de--
trítica. La granulometría de las grauvacas está regularmente -
mal clasificada y el redondeo de la fracción detrítica es muy
variable. Son rocas de color gris oscuro a negruzco, con ma --
triz arcillosa raramente calcárea.

Es característico que los granos presenten corrosiones en la -
periferia, produciendo un entrecruzamiento entre ellos, lo que
da como resultado una roca soldada en la que el cementante no
es importante.

Las grauvacas son rocas indicativas de movimientos orogénicos importantes.

LUTITAS.-

Son rocas que resultan de la compactación de materiales arcillosos y silicosos, que han sufrido un transporte largo y se han depositado en mares, lagos, pantanos y en el curso bajo de una corriente.

Dentro del grupo de rocas formadas por minerales de arcilla -- las lutitas son las de mayor interés en ingeniería por su abundancia y por sus propiedades muy particulares. La lutita es -- una roca esencialmente arcillosa, laminada, con buena resistencia a la compresión y baja al esfuerzo cortante. Sin embargo -- las lutitas pueden presentar cualquiera de las siguientes características: ser duras y no laminadas, o ser laminadas y -- suaves. Son aprovechables como material impermeable. Pueden -- ser atacadas por pico y pala o bien con bulldozer pero cuando ha llovido y se saturan, al ser removidas se convierten en un material chicloso sumamente difícil de trabajar, al grado de -- llegar a atascarse las máquinas.

Esta roca proporciona buenas propiedades para la constitución de presas, pero no se recomienda para ser usada en terraplenes.

El empleo de los términos argilita (arcilla consolidada), lodolita (mezcla de arcilla, limo, poca arena y materiales orgánicos, consolidados), y limolita (limo consolidado), se considera común en las clasificaciones con fines de ingeniería.

Las arcillas y los limos pasan a lutitas a través de un proceso de compactación y cementación, siempre con eliminación de -

agua. Dependiendo del grado y carácter de la consolidación, -- las lutitas varían ampliamente en sus propiedades al quedar sometidas a esfuerzos o a la acción del intemperismo en la superficie.

Ninguna clase de roca varía tanto como las lutitas. El término lutita, a menudo ha venido a significar una roca pobremente calificada y de mala reputación. Se intemperiza con facilidad. -- También llamadas filitas. Es una roca muy abundante en México y en general contiene carbonato de calcio en cantidades subordinadas.

YESO.-

Es sulfato de calcio hidratado que aparece en la naturaleza en forma cristalina, sus cristales varían de 1cm por 10cm de ancho, hasta pequeños cristales agrupados en una masa de textura sacaroides. También se presenta en láminas más o menos transparentes parecidas a la mica.

Al deshidratar el yeso por calcinación, pierde agua que al -- agregársele nuevamente ocasiona un aumento de volumen, un desprendimiento de calor y el fraguado del material, propiedad -- que se aprovecha para hacer yeso calcinado para la fabricación de morteros, molduras y artículos de ornato en general.

En su estado natural, es agregado al clinker en la elaboración de cemento.

Existe en muchas partes del país en buena cantidad.

Regularmente el yeso es acompañado de anhídrita. Este mineral es inestable y se transforma con el tiempo en sulfato de calcio hidratado (yeso).

FEDERNAL.- Es una roca formada por sílice (SiO_2), más o menos hidratada, que se presenta por lo común en forma de lentes o de nódulos en medio las calizas. Su origen es motivo de muchas discusiones. Su presencia hace difícil la explotación de las calizas y es deletéreo en mezclas para concreto. Tiene una dureza semejante a la del cuarzo, lustre córneo y aristas agudas al fracturarse. Su color es negro, crema o casi blanco.

TRAVERTINO.- Es una caliza impura depositada por aguas incrustadas, o bien cargadas con carbonato de calcio en solución. Su depósito forma a veces grandes masas; en ocasiones cubre con una costra al suelo por donde corre; llega a formar estalactitas y estalagmitas de un aspecto rudo.

Presenta un aspecto poroso debido a los canales de agua por donde circula y a los cambios de dirección que ocurren al obstruirse los existentes. Cuando presenta un menor número de poros y un grano cerrado, es explotable y se usa en la manufactura de planchas o láminas que pueden adquirir un buen pulimento y que son utilizadas en el cubrimiento de fachadas, muros interiores, lambrines, etc.

Esta roca abunda en el Estado de Puebla en la región del Valsequillo hasta Tehuacán; en Viesca, Estado de Coahuila y en el Estado de Nuevo León es llamada "silla de agua" y se usa en la construcción.

CALIZA.- Esta compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3) con impurezas que pueden ser arcilla, limo arena, materia orgánica, etc. Es compacta, de grano fino y su color varía desde el gris muy claro, casi blanco, hasta el negro. Su dureza corresponde aproxi-

madamente al Núm. 3 de la escala de Mohs, debido a la calcita que es su principal componente, pero esa dureza puede variar por las impurezas.

Las calizas suelen contener carbonatos de magnesio, fosfato de calcio y dióxido de calcio.

Todas las calizas producen una efervescencia con el ácido clorhídrico oficial (HCl con dilución al 10%), utilizado así porque permite la separación de algunos carbonatos que sólo reaccionan con el ácido en esta proporción.

Es en general un buen material para construcción pero tiene -- restricciones en cuanto a su uso en obras en que se encuentre en contacto permanente o prolongado con el agua, ya que es soluble y en especial si el agua contiene ácido carbónico en solución. Por lo demás las calizas que presentan una estratificación gruesa, poco deformada y relativamente libre de cavidades ocasionadas por disolución; proporcionan condiciones excelentes para ser utilizadas en presas o cimentaciones de cualquier tipo. Por el contrario las calizas de estratificación delgada, deformadas y con cavidades presentan serios problemas para la cimentación y ofrecen condiciones desfavorables a la resistencia al esfuerzo cortante y a la contención del agua.

La caliza sana tiene que ser atacada con explosivos. Por lo -- que es importante conocer, como en todos los casos, la posición del sistema de fracturamiento y de su estratificación, para aprovechar y adecuar el tipo de explosivos, como su colocación para hacerlos más efectivos.

Las calizas constituyen una de las rocas más útiles para el in

genero; como materia prima en la fabricación del cemento y la cal; son utilizadas como material de construcción en mamposterías y piedra de ornato; en forma de arena y grava, o trituradas, se les emplea en concreto; y es muy buen material para ba lasto en vías de ferrocarril.

Ocupan grandes extensiones del territorio mexicano, donde por el desplome de las bóvedas, existen hundimientos llamados: -- "hundidos", "embudos", "sumideros" o "sertanejas" (en el Estado de Morelos), o "cenotes" (en Yucatán). En la península yuca teca es fácil encontrar canales subterráneos cruzados en todas direcciones, así como cavernas y hundimientos por lo que se le ha llamado a esta característica "Topografía cársica", debido a la mundialmente conocida región del Karst o Carso que se extiende desde Trieste hacia el sureste de la costa Adriática de Yugoslavia.

TURBA Y CARBON DE PIEDRA.— La turba es el primer paso de la conversión de la materia vegetal en carbón; en ella se conserva casi totalmente la estructura de la planta primitiva que contiene raíces, tallos y hojas de plantas que crecen en pantanos o en la orilla de lagos. El resultado es una masa fibrosa de color café obscuro, porosa y de muy alta compresibilidad. Como combustible tiene poco poder calorífico, pero éste aumenta si se le comprime. De consistencia gelatinosa, en formación contiene hasta el 90% de agua, de bajo peso específico. Las siguientes etapas en la transformación están representadas por:

-Lignitas.- con un 55% a un 75% de carbón.

-Carbón bituminoso.- con un 75% de carbón, y

-Antracita.- con 80 a 95% de carbón.

La presencia de turba es perjudicial para las cimentaciones de estructuras de cualquier tipo, en virtud de su gran compresibilidad, su baja resistencia al esfuerzo cortante, lo que provoca grandes asentamientos o desplazamientos.

ROCAS METAMORFICAS

CUARCITA.- Es el metamorfismo de las areniscas formadas por granos de cuarzo, da lugar a la formación de la cuarcita.

Es una roca sumamente dura en la que se llegan a distinguir los granos de que está formada, lo que permite hacer la distinción entre ella y la arenisca, pues en tanto que en la segunda una fractura sigue al contorno de los granos, en la cuarcita esa fractura corta los granos.

Es una roca utilizada en la construcción. Su dureza presenta problemas para su explotación. Además, por lo general, su masa está llena de diaclasas, "juntas", que no permiten la formación de bloques de gran tamaño.

Abunda principalmente en el estado de Sonora, pero existe en otros lugares del país, poco conocidos.

MARMOL.- Es el resultado de la metamorfización de las calizas. Es una roca granoblástica de grano fino o grueso, compuesta principalmente de calcita o dolomita, o de ambas. Varios mármoles presentan una alteración bandeada de porciones claras y oscuras; otros presentan estructuras de brecha atravesada por vetillas de calcita. Cuando proviene de la dolomita contiene comúnmente silicatos magnesíferos, tales como piroxena, serpentina y anfíbola. Principalmente está compuesta de granos de calcita en tamaños muy variados y su color varía desde el blanco purísimo hasta el negro, en el que contiene carbón finamente dividido.

La roca es compuesta pero frágil. Tiene una dureza de 3, lo que la hace fácil de trabajar y de adquirir un buen pulimento. Por lo que su utilización en la fabricación de granito artificial, cuando es de grano grueso y de artículos de ornato cuando su grano es fino, lo que la hace muy aprovechable.

PIZARRA Y FILITA.- Son rocas con grano muy fino, excepcionalmente bien foliadas. A causa de su excelente foliación se dividen en hojas delgadas. Los granos son tan pequeños, que se necesita un microscopio para realizar su identificación.

La pizarra proviene de la metamorfización de las arcillas, generalmente de color oscuro y grano fino, al ser separadas en láminas son utilizadas en la industria (techos, lambrines, repisas, mesas de billar, etc.).

La pizarra es opaca en las superficies de crucero, la filita es brillante y contiene algunos cristales minerales de tamaño identificable a simple vista.

Abundan las pizarras y las filitas. La mayoría proviene del metamor

fismo de lutitas, o son derivadas de tobas o de rocas de grano muy fino.

En México existen pizarras con un grado de metamorfismo superior -- que están formadas por sericita, que es una mica derivada de la mugcovita. De este tipo las encontramos en los minerales de El Oro y - Angangueo, en la zona del sistema eléctrico Miguel Alemán, en Sonora y al norte de Mazatlán o junto a la costa. En ocasiones se le -- confunde con un esquisto micáceo.

ESQUISTOS.- Son rocas derivadas de las ígneas que contienen una gran propo-- rción de minerales ferromagnesianos, por lo que son distinguidos como: esquisto de clorita, esquisto micáceo, esquisto de hornablenda, - entre otros.

Los esquistos presentan una foliación ondulada por lo que se divi-- den en láminas muy delgadas y desiguales, a lo que ayuda la estruc-- tura laminar de algunos de los componentes. Esta disposición espe-- cial se llama esquistosidad.

CLORITOTESQUISTO.- Roca verde de grano muy fino, esquistosa o apizarrada. Generalmente una roca suave de tacto graso y fácil de pulverizar, com-- puesta de clorita, plagioclasa y epidota, en donde excepto la clori-- ta, todos son de grano muy fino. Son llamados a menudo "esquistos verdes", o con una foliación débil "piedra verde", debido al color de la clorita. La mayoría de ellas formadas por el metamorfismo del basalto o de la andesita y de sus correspondientes tobas, aunque al-- gunos provienen de lutita dolomítica, de gabro y de rocas ferromag-- nesianas.

MICAESQUISTO.- Roca esquistosa constituida por muscovita, cuarzo y biotita, en proporciones variables, con predominio de cualquiera de estos materiales; aunque sus variedades más comunes son abundantes en muscovita.

Al igual que la pizarra, la mayoría de ellas se formó de lutitas y tobas, aunque existen algunas derivadas de la arkosa, de arenisca arcillosa y de riolita principalmente. El esquistoso es un metamorfismo más intenso que el de la pizarra. Y podemos agregar que el esquistoso de mica es una de las rocas metamórficas más abundantes.

ESQUISTO DE ANFIBOLA.- Roca esquistosa constituida principalmente por anfíbola y plagioclasa, con cantidades variables de granate, cuarzo y biotita. Es un derivado metamórfico común del basalto, del gabro, del esquistoso de clorita y de rocas relacionadas con éstas.

Las pizarras y los esquistos de sericita, con graduación imperceptible de unas a otras se encuentran en los Estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, en las barrancas profundas cercanas a los linderos de esas entidades. En los Estados de México y Michoacán, se han encontrado grandes manifestaciones de pizarra sericítica con apariencia de esquistos en muchos lugares.

GNEIS.- Roca ígnea de grano grueso con lentes o capas distintas de diferentes minerales. Es de composición mineral variable, pero el feldespato es especialmente abundante. Otros minerales comunes en el gneis son el cuarzo, la anfíbola, el granate y la mica.

Los gneises se encuentran entre las rocas metamórficas más abundantes.

Pueden derivarse de varias rocas diferentes: granito, granodiorita, lutita, riolita, diorita, pizarra y esquistoso entre otras.

En el gneis se pueden distinguir fácilmente los cristales claros de cuarzo y de feldespato, de grano más bien grueso, alineados en capas más o menos paralelas y separadas entre sí por capas de mica en cristales pequeños agrupados.

Los gneises abundan en las zonas de la República donde se presentan grandes masas de granito, cuando aquellas se han derivado de éstas: zonas en los estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán. También se les ha encontrado, sin relación aparente, con los granitos en el cañón de Tomellín y en la sierra de Ixtlán del Estado de Oaxaca.

En algunos lugares muy restringidos de esas zonas se han encontrado también esquistos micáceos.

CAPITULO III

LOS MATERIALES Y SU CLASIFICACION EN LAS VIAS TERRESTRES

Desde el punto de vista particular de las vías terrestres, los suelos se presentan con una variedad y complejidad prácticamente infinitas. Así, cualquier intento de sistematización científica, acompañado de la correspondiente-tendencia generalizadora, debe ir precedido por otro, en que se procure clasificar a los suelos del modo más completo posible.

De hecho, los sistemas de clasificación de suelos son tan antiguos como la propia Mecánica de Suelos, pero por el escaso conocimiento que se tenía sobre los suelos, los sistemas que aparecieron en un principio estaban basados en características poco relevantes (olor, color, textura, etc.) o muy difíciles de correlacionar con las fundamentales; estos sistemas actualmente han quedado en desuso, no siendo necesario hablar de ellos,

La granulometría ofrece un medio sencillo y evidente para clasificar suelos. Sólo basta dividir un suelo en sus fracciones granulométricas para darle una "clasificación", si previamente se conviene en dar una denominación particular a las distintas fracciones, según queden comprendidas en una determinada gama de tamaños. Los sistemas de clasificación granulométrica, tan populares en el pasado, tuvieron esa génesis tan simple, y los términos grava, arena, limo y arcilla aún tienen un significado en relación con el tamaño de sus partículas constitutivas.

Es evidente que un sistema de clasificación de suelos debe agruparlos de acuerdo con sus propiedades mecánicas básicas, por ser estas de interés principal para las aplicaciones ingenieriles. A la vez, el criterio clasificador ha-

de ser preponderantemente de naturaleza cualitativa, ya que incluir relaciones cuantitativas en los sistemas resultaría excesivamente complicado. Probablemente, lo menos que espera un técnico de un sistema de clasificación es que sirva para normar su criterio respecto al suelo en cuestión, antes de adquirir conocimientos más profundos y extensos de las propiedades del mismo; así, al usar el sistema será posible, entre otras cosas, obtener criterios para decidir en que direcciones es conveniente profundizar la investigación.

A pesar de su sencillez, los criterios de clasificación puramente granulométrica resultan hoy poco apropiados, porque la correlación de la distribución de la curva granulométrica con las propiedades fundamentales (resistencia, compresibilidad, relaciones esfuerzo-deformación, permeabilidad, etc.) resulta demasiado insegura y sujeta a excepciones y casos especiales. Apenas hay duda de que actualmente el sistema más efectivo de clasificación de suelos es el propuesto por Arturo Casagrande, conocido con el nombre de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El sistema clasifica a los suelos finos principalmente con base en sus características de plasticidad, cuya correlación con las propiedades mecánicas básicas es consistente y confiable. Los suelos gruesos, mayores que la malla N° 200 (0.074 mm de abertura), se clasifican sobre todo con criterio granulométrico, si bien son cuidadosamente tomadas en cuenta también las características de plasticidad de su fracción fina. No está claramente definido el tamaño máximo de los suelos que quedan comprendidos en el Sistema, pero como deben poder ser cribados, frecuentemente se fija en forma arbitraria el de 7.6 cm (3"). El Sistema Unificado nació como medio para clasificar suelos finos únicamente (menores que la malla N° 200, con 0.074 mm de abertura), y después fue extendido hasta incluir gravas y arenas. Pero el ingeniero de Vías Terrestres tiene aún el problema de que él debe manejar en -

muchos casos fragmentos de roca, de tamaños más o menos grandes que caen fuera del sistema original.

En México los Ingenieros en Vías Terrestres han venido usando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos desde hace muchos años, siempre con resultado satisfactorio, y su familiaridad con él les ha ido induciendo a realizarle pequeñas modificaciones de orden secundario, dictadas en cada caso por la -conveniencia práctica. También lo han complementado con un sistema para clasificar los fragmentos de roca (mayores de 7.6 cm) que con tanta frecuencia han de ser manejados en la ingeniería de Vías Terrestres.

De esta manera, la Secretaría de Obras Públicas (ahora, Secretaría de Comunicaciones y Transportes) organismo oficial que resume la práctica ingenieril mexicana en el campo de las Vías Terrestres, ha formado su propio Sistema de Clasificación de Suelos, Fragmentos de Roca y Rocas, y que en términos generales se expone más adelante.

Sistema de clasificación de "suelos" utilizado en la S.C.T.

Para fines de clasificación, los materiales que constituyen la corteza terrestre se agrupan en tres divisiones : "suelos", "fragmentos de roca" y "rocas".

El término "suelo" se aplica a todas aquellas partículas de material menores de 7.6 cm (3"). El término "fragmentos de roca" se aplica a los fragmentos mayores de 7.6 cm y que no forman parte de una formación rocosa masiva. El término "roca" se usa para formaciones rocosas más o menos continuas o masivas.

El "suelo" se subdivide en suelos de partículas finas o "finos" y suelos de partículas gruesas o "gruesos". Los finos son aquellos cuyas partículas son menores que la malla No.200, y los gruesos son los que se retienen en la malla - No.200 y pasan la malla de 7.6 cm (3"). Los finos comprenden los suelos orgánicos, limos y arcillas. Los suelos orgánicos son los que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica, y un material fino orgánico que puede ser limo o arcilla, según sus características de plasticidad, como se describe mas adelante. Los suelos en que predomina mucho la materia orgánica quedan en un grupo denominado "turba".

Los gruesos comprenden los grupos denominados arena y grava, siendo la frontera entre ellos la malla No.4.

Los fragmentos de roca se subdividen en : chicos, medianos y grandes. Los fragmentos chicos son aquellos que se retienen en la malla de 7.6 cm (3") y su dimensión máxima es menor de 30 cm. Los fragmentos medianos son aquellos cuya dimensión máxima está comprendida entre 30 cm y 1 m. Los fragmentos grandes son aquellos cuya dimensión máxima es mayor que 1 m.

Cada uno de estos grandes grupos tiene un símbolo genérico, dado por una o más letras alusivas (ver tabla anexa 3.1).

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Versión S.O.P.)

La base del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es la Carta de --- Plasticidad, resultado de una investigación realizada por A. Casagrande en el laboratorio. En esta investigación se vio que, si se sitúan los suelos en un sistema de coordenadas que tenga el límite líquido en el eje de las abscisas y al índice plástico en el de las ordenadas, su agrupamiento no ocurre al azar sino que se agrupan de manera que en cada zona de la carta se sitúan suelos con características de plasticidad y propiedades mecánicas e hidráulicas cualitativamente definidas; del mismo modo que los suelos vecinos poseen propiedades similares, los alejados las tienen diferentes. Con base en esta observación, Casagrande pudo establecer en la gráfica fronteras que separan a los materiales finos en diferentes grupos de propiedades afines (líneas A y B).

En las gráficas que se anexan aparece la gráfica denominada Carta de Plasticidad, en la forma que se utiliza en la S.O.P. de México (actualmente denominada Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT), la cual difiere ligeramente de la originalmente presentada por A. Casagrande.

El sistema unificado abarca tanto a los suelos finos como a los gruesos, -- distinguiéndolos por el cribado a través de la malla No.200; las partículas -- gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas (ver tablas anexas 3.1 y 3.2).

Se describirán en primer lugar los diferentes grupos de suelos gruesos.

A) Suelos Gruesos

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo.

El significado se especifica a continuación :

Gravas y suelos en que predominan aquéllas. Símbolo G (gravel o -- gravas).

Arenas y suelos arenosos. Símbolo S (sand o arenas).

Las gravas y las arenas se separan con la malla No.4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla No.200) no pasa la malla No.4, y es del grupo genérico S en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

- 1.- Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.
- 2.- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.
- 3.- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco mo y mjala, limo). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM.
- 4.- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay).- En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y - SC.

A continuación se describen los grupos anteriores a fin de proporcionar criterios más detallados de identificación, tanto en el campo como en el laboratorio.

1) GRUPOS GW y SW.

Estos suelos son bien graduados y con pocos finos, o limpios por completo.- La presencia de los finos que puedan contener estos grupos no deben producir - cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje. Los anteriores requisitos se ga rantizan en la práctica, especificando que en estos grupos el contenido de par tículas finas no sea mayor de un 5% en peso. En el laboratorio la graduación - se juzga por medio de los coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc). - Para considerar una grava bien graduada se exige que su coeficiente de uniformidad sea mayor que 4, mientras el de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3. En el caso de las arenas bien graduadas, el coeficiente de uniformidad se rá mayor que 6, en tanto que el de curvatura debe estar entre los mismos límites anteriores.

2) GRUPOS GP y SP

Estos suelos son mal graduados; es decir, son de apariencia uniforme, o pre sentan predominio de un tamaño o de un rango de tamaños, faltando algunos in-- termedios; en laboratorio deben satisfacer los requisitos señalados para los - dos grupos anteriores, en lo referente a su contenido de partículas finas, pe- ro no cumplen los requisitos de graduación indicados para ser considerados co- mo bien graduados. Dentro de estos grupos están comprendidas las gravas unifor mes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uni formes, de médano y playas y las mezclas de gravas y arenas finas, provenien-- tes de diferentes estratos obtenidos durante un proceso de excavación.

3) GRUPOS GM y SM

En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa; en la práctica se ha visto que esto ocurre para porcentajes de finos superiores a 12% en peso, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas finas. La plasticidad de los finos en estos puntos varía entre "nula" y "media"; es decir, es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla No.40 abajo de la línea A o bien que su índice de plasticidad sea menor que 6%. En su sistema, Casagrande fijó este último número en 4%. Cuando el porcentaje de finos está entre 5 y 12% deberá usarse un símbolo doble, por ejemplo GW-GM, para indicar una grava bien graduada con finos no plásticos, en porcentaje comprendido entre 5 y 12%.

4) GRUPOS GC y SC

Por las mismas razones expuestas para los grupos GM y SM, el contenido de finos de estos grupos de suelos debe ser mayor que 12% en peso. Sin embargo, en estos casos, los finos son de media a alta plasticidad; es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla No.40 -- arriba de la línea A, teniendo además la condición de que el índice plástico sea mayor que el 6% (en el sistema original de A.Casagrande).

Cuando un material no se ubique claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Por ejemplo, el símbolo GW-SW se usará para un material bien graduado, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena:

B) Suelos finos.

También en este caso el sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo con dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, lo que da lugar a las siguientes divisiones:

Limos inorgánicos, de símbolo genérico M (del sueco *mj* y *mjala*).

Arcillas inorgánicas, de símbolo C (clay).

Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico O (organic).

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdivide en dos grupos, según su límite líquido si éste es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (low compressibility), y por esta combinación se obtienen los grupos ML, CL y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (high compressibility), y así se tienen los grupos MH, CH y OH.

Debe notarse que las letras L y H no se refieren a alta o baja plasticidad, pues esta propiedad del suelo, como se ha dicho, ha de expresarse en función de dos parámetros (LL e I_p), mientras que en el caso actual solo interviene el valor del límite líquido. Por otra parte, ya se hizo notar que la compresibilidad de un suelo es una función directa del límite líquido, de modo que un suelo es mas compresible a mayor límite líquido.

También es preciso tener en cuenta que el término compresibilidad, tal como aquí se trata, se refiere a la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad y no a la condición actual del suelo inalterado, pues éste puede estar parcialmente seco o preconsolidado.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y -- suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (del inglés Peat, turba).

Los distintos grupos de suelos finos ya mencionados se describen a continuación en forma más detallada.

1) GRUPOS CL y CH

En estos grupos se encasillan las arcillas inorgánicas. El grupo CL comprende a la zona sobre la línea A, definida por $LL < 50\%$ e $I_p > 6\%$ ($I_p > 7\%$ en el sistema originalmente propuesto por A. Casagrande).

El grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por $LL > 50\%$. En este grupo CH se encasillan las arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas, tales como la bentonita o la arcilla del Valle de México, con límites líquidos de hasta 500%.

2) GRUPOS ML y MH

El grupo ML comprende la zona bajo la línea A, definida por $LL < 50\%$, y la porción sobre la línea A con $I_p < 6\%$ ($I_p < 4\%$ en el sistema original). El grupo MH corresponde a la zona debajo de la línea A, definida por $LL > 50\%$.

En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y los limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con $LL < 30\%$, se ubican en el grupo ML. Los depósitos eólicos, del tipo de loess, con $25\% < LL < 35\%$, usualmente aparecen también en este grupo.

Un tipo interesante de suelos finos que caen en esta zona son las arcillas del tipo caolín, derivadas de los feldespatos de rocas graníticas; a pesar de que el nombre de arcillas está muy difundido para estos suelos, algunas de sus características corresponden a limos inorgánicos; por ejemplo, su resistencia en estado seco es relativamente baja y en estado húmedo muestran cierta reac--

ción a la prueba de dilatancia; sin embargo, son suelos finos y suaves con un alto porcentaje de partículas de tamaño de arcilla, comparable con el de otras arcillas típicas, localizadas arriba de la línea A. En algunas ocasiones estas arcillas caen en casos de frontera ML-CL y MH-CH, dada su proximidad con dicha línea (ver tabla anexa).

Las tierras diatomáceas prácticamente puras suelen no ser plásticas, por -- más que su límite líquido pueda ser mayor que 100% (MH). Sus mezclas con otros suelos de partículas finas son también de los grupos ML o MH.

3) GRUPOS OL y OH

Las zonas correspondientes a estos dos grupos son las mismas que las de los grupos ML y MH, respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos a la línea A.

Una pequeña adición de materia orgánica coloidal hace que crezca el límite líquido de una arcilla inorgánica, sin apreciable cambio de su índice plástico; esto hace que el suelo se desplace hacia la derecha en la carta de plasticidad, pasando a ocupar una posición más alejada de la línea A.

4) GRUPO Pt

En la mayoría de los suelos turbosos las pruebas de límites pueden ejecutarse después de un completo remoldeo. El límite líquido de estos suelos suele estar entre 300 y 500%, quedando su posición en la Carta de plasticidad notablemente abajo de la línea A; el índice plástico normalmente varía entre 100 y -- 200%.

Similarmente al caso de los suelos gruesos, cuando un material fino cae claramente en uno de los grupos, se usarán para él símbolos dobles de frontera. -- Por ejemplo, MH-CH representará un suelo fino con $LL > 50\%$ e índice plástico tal que el material quede situado prácticamente sobre la línea A.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos no se concreta a ubicar el material dentro de uno de los grupos enumerados, sino que abarca además una -- descripción del mismo, tanto alterado como inalterado. Esta descripción puede jugar un papel importante en la formación de un sano criterio técnico y, en -- ocasiones, puede resultar de fundamental importancia para poner de manifiesto características que escapan a la mecánica de las pruebas que se realizan. Un -- ejemplo típico de ello es la compacidad.

En general, en los suelos gruesos deben proporcionarse los siguientes da -- tos: nombre típico, porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo de las partículas, angulosidad y dureza de las mismas, características de su su-- perficie, nombre local y geológico, además de cualquier otra información perti -- nente, de acuerdo con la aplicación de ingenieril que se va a hacer del mate-- rial.

En los suelos gruesos en estado inalterado, se añadirán los datos sobre es-- tratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y característi-- cas de drenaje.

En los suelos finos, se proporcionarán, en general, los siguientes datos: -- nombre típico, grado y carácter de su plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor, nombre local y geológi -- co, aparte de cualquier otra información descriptiva pertinente, de acuerdo -- con la aplicación que se vaya a hacer del material.

Respecto del suelo en estado inalterado, deberá agregarse información rela-- tiva a su estructura, estratificación, consistencia en los estados inalterado y remoldeado, condiciones de humedad y características de drenaje.

C) Identificación de suelos.

El problema de la identificación de suelos es de importancia fundamental en la ingeniería; identificar un suelo es, en rigor, encasillarlo dentro de un sistema previo de clasificación. En este caso concreto, es colocarlo en alguno de los grupos mencionados dentro del Sistema de Clasificación de Suelos; obviamente en el grupo que le corresponda según sus características. La identificación permite conocer, en forma cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, atribuyéndole las del grupo en que se sitúe; naturalmente, según se dijo, la experiencia juega un papel importante en la utilidad que se pueda sacar de la clasificación.

En el Sistema Unificado hay criterios para clasificación de suelos en el laboratorio; estos criterios de tipo granulométrico y de investigación de características de plasticidad, ya han sido suficientemente descritos. Además y ésta es una de las ventajas del Sistema, se ofrecen criterios para identificación en el campo, es decir, en aquellos casos en que no se disponga de equipos de laboratorio para efectuar las pruebas necesarias para una identificación estricta. Estos criterios, simples y expeditos, se detallan a continuación.

1) Identificación de campo de suelos gruesos.

Los materiales constituidos por partículas gruesas se identifican en el campo sobre una base prácticamente visual. Extendiendo una muestra seca del suelo sobre una superficie plana puede juzgarse, en forma aproximada, su graduación, tamaño de las partículas, forma y composición mineralógica. Para distinguir las gravas de las arenas puede usarse el tamaño 1/2 cm como equivalente a la malla No.4, y para la estimación del contenido de finos basta considerar que las partículas de tamaño correspondiente a la malla No.200 son aproxima-

madamente las más pequeñas que pueden distinguirse a simple vista.

En lo referente a la graduación del material, se requiere bastante experiencia para diferenciar los suelos bien graduados de los mal graduados mediante un examen visual. Esta experiencia se obtiene comparando graduaciones estimadas con las obtenidas en laboratorio, en todos los casos en que se tenga oportunidad de hacerlo. Para examinar la fracción fina contenida en el suelo, deberán ejecutarse las pruebas de identificación de campo de suelos finos que se detallarán más adelante, sobre la parte que pase la malla No.40; si no se dispone de esta malla, puede substituirse por una separación manual equivalente.

En ocasiones puede ser importante juzgar la integridad de las partículas constituyentes de los suelos, en cuyo caso será preciso un examen especialmente cuidadoso. Las partículas procedentes de rocas ígneas sanas se identifican fácilmente; las partículas intemperizadas se reconocen por las decoloraciones y la relativa facilidad con que se desintegran.

2) Identificación de campo de suelos finos.

Una de las grandes ventajas del Sistema Unificado es, como ya se dijo, el criterio para identificar en el campo los suelos finos, si se cuenta con algo de experiencia. El mejor modo de adquirir esa experiencia sigue siendo el aprendizaje al lado de quien ya la posea, a falta de tal apoyo, es aconsejable la comparación sistemática de los resultados de la identificación de campo realizada con los del laboratorio, en cada caso en que exista la oportunidad de hacerlo.

La principal base de criterio para identificar suelos finos en el campo es la investigación de las características de dilatancia, de tenacidad y de resistencia en estado seco. El color y el olor del suelo pueden ayudar, especialmente en suelos orgánicos. (Vease procedimiento de identificación en la tabla anexa III.2).

Dilatancia. Las arenas limpias muy finas dan la reacción más rápida y distintiva, mientras que las arcillas plásticas no tienen reacción. Los limos inorgánicos, tales como el típico polvo de roca, dan una reacción rápida moderada.

La velocidad con que la pastilla cambia su consistencia y con la que el agua aparece y desaparece, define la intensidad de la reacción e indica el carácter de los finos del suelo. Una reacción rápida es típica en arenas finas uniformes, no plásticas (SP y SM) y en algunos limos inorgánicos (ML), y particularmente del tipo polvo de roca; también en tierras diatomáceas (MH). Al disminuir la uniformidad en estos suelos, la reacción se hace menos rápida. Contenidos ligeros de arcilla coloidal imparten algo de plasticidad al suelo, por lo que la reacción en estos materiales se vuelve más lenta; esto sucede en los limos inorgánicos y orgánicos ligeramente plásticos (ML,OL), en arcillas muy limosas (CL-ML) y en muchas arcillas de tipo caolín (ML,ML-CL, MH y MH-CH). Una reacción extremadamente lenta o nula es típica de arcillas situadas arriba de la línea A (CL,CH) y de arcillas orgánicas de alta plasticidad.

El fenómeno de la aparición de agua en la superficie de la muestra es debido a la compactación de los suelos limosos y, aun en mayor grado, de los suelos arenosos, bajo la acción dinámica de los impactos contra la mano; esto reduce la relación de vacíos del material, expulsando al agua de ellos. El am

sado posterior aumenta de nuevo la relación de vacíos y el agua se restituye a esos vacíos. Los suelos arcillosos no sufren esos efectos bajo cargas dinámicas, por lo cual no producen reacción.

Tenacidad. La potencialidad de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica por la mayor o menor tenacidad del rollito al acercarse al límite plástico y por la rigidez de la muestra al romperse finalmente entre los dedos. La debilidad del rollito en el límite plástico y la pérdida rápida de la coherencia de la muestra al rebasar este límite, indican la presencia de arcilla inorgánica de baja plasticidad o de materiales tales como la arcilla de tipo caolín; las arcillas orgánicas se sienten muy débiles o esponjosas al tacto, en el límite plástico.

Cuanta más alta sea la posición del suelo respecto a la línea A (CL,CH), más rígido y tenaz será el rollito cerca del límite plástico, y más rígida también se notará la muestra al romperse entre los dedos, abajo del límite plástico. En suelos ligeramente abajo de la línea A, tales como arcillas glaciales (CL,CH) los rollitos son de media tenacidad cerca de su límite plástico y la muestra comienza pronto a desmoronarse en el amasado, al bajar su contenido de agua. Casi sin excepción, los suelos que están debajo de la línea A (ML,MH,OL y OH) producen rollitos poco tenaces cerca del límite plástico; en el caso de suelos orgánicos y micáceos, muy abajo de la línea A, los rollitos se muestran muy débiles y esponjosos. También en todos los suelos bajo la línea A, excepto los OH próximos a ella, la masa producto de la manipulación entre los dedos, posterior al rolado, se muestra suelta y se desmorona fácilmente, cuando el contenido de agua es menor que el correspondiente al límite plástico.

Cuando se trabaje en lugares en que la humedad ambiente sea casi constante, el tiempo que transcurra hasta que se alcance el límite plástico será una medida relativamente tosca del índice plástico del suelo. Por ejemplo, una arcilla

CH con LL=70% e Ip=50% o una OH con LL= 100% e Ip= 50% precisa mucho más tiempo de manipulación para llegar al límite plástico que una arcilla glacial del tipo CL. En los limos poco plásticos, del grupo ML, el límite plástico se alcanza muy rápidamente. Claro es que para las observaciones anteriores tengan sentido será necesario comenzar todas las pruebas con los suelos muy aproximadamente en la misma consistencia, de preferencia cerca del límite líquido.

Resistencia en estado seco. Una alta resistencia en seco es característica de las arcillas del grupo CH. Un limo inorgánico sólo posee muy ligera resistencia, pero puede distinguirse por el tacto al pulverizar el espécimen en seco. La arena fina se siente granular, mientras que el limo típico da la sensación suave de harina.

Los limos ML o MH exentos de plasticidad no presentan prácticamente ninguna resistencia en estado seco y sus muestras se desmoronan con muy poca presión digital; el polvo de roca y la tierra diatomácea son ejemplos típicos. Una resistencia en estado seco baja es representativa de todos los suelos de baja plasticidad localizados bajo la línea A y aún de algunas arcillas inorgánicas muy limosas, ligeramente sobre la línea A (CL). Las resistencias medias definen generalmente a las arcillas del grupo CL, O, en ocasiones, a otras de los grupos CH, MH (arcillas tipo caolín) u OH, que se localicen muy cerca de la línea A. La mayoría de las arcillas CH tienen resistencias altas, así como las CL, localizadas muy arriba de la línea A. Los materiales OH con altos límites líquidos y próximos a línea A también exhiben grandes resistencias. Por último, resistencias muy altas son típicas de arcillas inorgánicas del grupo CH, localizadas en posiciones muy elevadas respecto a la línea A.

Color. En exploraciones de campo el color del suelo suele ser un dato útil para diferenciar los diferentes estratos y para identificar tipos de suelo, -

cuando se posee experiencia local. En general, existen también algunos criterios relativos al color; por ejemplo, el color negro y otros de tonos oscuros suelen ser indicativos de la presencia de materia orgánica coloidal. Los colores claros y brillantes son más bien propios de suelos inorgánicos.

Olor. Los suelos orgánicos (OH y OL) tienen por lo general un olor distintivo, que puede usarse para identificación; el olor es particularmente intenso si el suelo está húmedo, y disminuye con la exposición al aire, aumentando, -- por el contrario, con el calentamiento de la muestra húmeda.

Clasificación de los fragmentos de roca.

Los fragmentos de roca son todos aquellos cuyo tamaño es mayor que 7.6 cm (3") y no forman parte de una formación rocosa.

a) División de los fragmentos.

Los fragmentos de roca se subdividen en :

1) *Fragmentos chicos* (Fc). Aquellos cuyo tamaño está comprendido entre la malla de 7.6 cm (3") y 30 cm de dimensión máxima.

2) *Fragmentos medianos* (Fm). Aquellos cuya dimensión máxima está comprendida entre 30 cm y 1 m.

3) *Fragmentos grandes* (Fg). Aquellos cuya dimensión máxima es mayor de 1 m.

b) Características generales.

En este tipo de materiales deberán indicarse las siguientes características: clasificación petrográfica, características de granulometría, tamaño máximo de los fragmentos, forma de los mismos, características de la superficie, grado de alteración y cualquier otra información descriptiva pertinente.

Para los materiales "in situ" deberá agregarse información sobre su estructura, estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.

A continuación se describen cada una de las características que han sido anotadas y los adjetivos que deberán usarse para especificar cada una de ellas.

1) *Clasificación Petrográfica*

Cuando sea posible deberá hacerse la clasificación petrográfica, que consiste en especificar de qué roca se trata.

2) *Características granulométricas*

En las características granulométricas deberá indicarse si se trata de un material de fragmentos de tamaño "uniforme" o, en el caso de comprender varios tamaños, deberá estimarse si el material está "mal graduado" o "bien graduado", con un criterio similar al que se usa en el procedimiento de identificación de suelos en el campo. También se indicará el tamaño máximo de los fragmentos.

3) *Forma*

La forma de los fragmentos deberá indicarse con los términos "acicular" -- cuando tenga forma de aguja, "laminar" cuando tenga forma de lámina y "equidimensional" cuando sus tres dimensiones tengan el mismo orden de magnitud. Esta última comprende los siguientes casos: "angulosos", cuando el fragmento tenga vértices y aristas agudos; "subangulosos", cuando estos vértices y aristas no sean agudos; "subredondeados", cuando los vértices y las aristas prácticamente

no existan, y "redondeados", cuando tengan prácticamente la forma esférica.

4) Características de la superficie

Las características de la superficie deberán calificarse según los términos: lisa, ligeramente rugosa, medianamente rugosa y muy rugosa.

5) Grado de alteración

El grado de alteración deberá indicarse usando los términos: sanos, poco alterados, medianamente alterados y muy alterados. El grado de alteración puede juzgarse por las siguientes características de los fragmentos: falta de lustre, manchas locales y sonido cuando son golpeados por un martillo. Algunos fragmentos que no estén expuestos a la intemperie pueden parecer sanos cuando acaban de ser extraídos de su lugar; en estos casos se recomienda exponer dichos fragmentos a la intemperie por algún tiempo; se presenta entonces una desintegración gradual cuando no son completamente sanos.

6) Estructura

El término estructura que aquí se usa, se refiere a la manera en que están colocados entre sí los diferentes constituyentes de un depósito pétreo. La estructura es importante desde el punto de vista del comportamiento mecánico de todo depósito, siendo esencial definir si los fragmentos rocosos están en contacto directo o separados por suelo. En el segundo caso, el comportamiento mecánico del conjunto está determinado fundamentalmente por las propiedades del suelo que separa los fragmentos. En un depósito que esté constituido por fragmentos de roca y suelo fino, los casos extremos que pueden presentarse son un depósito en que todos los fragmentos sean resistentes entre sí, constituyendo una estructura simple y el suelo fino sólo se presente llenando parcialmente los huecos de esta estructura simple, o un depósito que se encuentre constituido predominantemente por suelo fino limoso o arcilloso y los fragmentos se

encuentren aislados sin presentar ningún contacto entre ellos. Es evidente que bajo la aplicación de una carga rápida, el material del primer caso mencionado se comportará como "puramente friccionante", mientras que en el segundo caso, el comportamiento mecánico será el de un suelo fino.

7) *Estratigrafía*

La estratigrafía en caso de existir, deberá describirse indicando el espesor de los estratos, el tipo de material que constituye dichos estratos y el echado de ellos; se debe explicar claramente que se trata de un material no estratificado, cuando así ocurra.

8) *Compacidad*

La compacidad deberá juzgarze usando los términos: muy suelto, suelto, poco compacto, compacto y muy compacto.

9) *Cementación*

La cementación química entre los fragmentos deberá expresarse con los términos: nula, ligera, media y alta, de acuerdo con la magnitud del esfuerzo necesario para separar los fragmentos; debiendo indicarse, cuando sea posible, si el tipo de cementación es por carbonatos, por silicatos, por aluminatos, o por óxidos de fierro. Queda entendido que ya una cementación alta está en el límite de lo que se podría considerar una roca sedimentaria. El grado de cementación deberá estimarse en una muestra representativa del material que se haya dejado sumergida en agua cuando menos 24 horas.

10) *Condiciones de humedad*

Las condiciones de humedad deberán indicarse con los términos: seco, poco húmedo, muy húmedo y saturado.

11) *Características de drenaje*

Las características de drenaje de un depósito se refieren a la facilidad con la que un depósito de material puede drenarse en el caso de que llegue a saturarse. Las características de drenaje deberán calificarse con los adjetivos: -nulas, malas, medias y buenas

Estas características dependen tanto de las propiedades hidráulicas de los materiales constituyentes como de la topografía y la naturaleza de las formaciones geológicas circundantes.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (VERSION)

CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO			GRUPO
SUELOS DE PARTICULAS GROSAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA N° 200 (φ)	SUELOS DE PARTICULAS GROSAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA N° 200 (φ)	ARENAS MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GROSA PASA LA MALLA N° 4 (Use la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)	GW
			GP
			GM
			GC
			SW
			SP
			SM
			SC
			ML
			CL
SUELOS DE PARTICULAS FINAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PARA LA MALLA N° 200 (USESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	SUELOS DE PARTICULAS FINAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PARA LA MALLA N° 200 (USESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	OL
			MH
			CH
			OH
SUELOS DE PARTICULAS FINAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PARA LA MALLA N° 200 (USESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	SUELOS DE PARTICULAS FINAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PARA LA MALLA N° 200 (USESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	Pt
			Pt
<p>DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMETRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 200) LOS SUELOS ORDENADOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIEN:</p> <p>MEJORES DE 5%: GW, GP, SW, SP MAS DE 17%: GM, GC, SM, SC</p>			<p>COEF. DE UNIFORMIDAD (C_u) COEF. DE CURVATURA (C_c)</p> <p>$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, MAYOR DE 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$, ENTRE 1 y 3</p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW</p> <p>LIMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 6</p> <p>LIMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LINEA "A" CON I_p MAYOR QUE 6</p> <p>$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, MAYOR DE 8 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$, ENTRE 1 y 3</p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA SW</p> <p>LIMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 6</p> <p>LIMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LINEA "A" CON I_p MAYOR QUE 6</p>
<p>EQUIVALENCIA DE SIMBOLOS</p> <p>G, GRAMA M, LIMO O SUELOS ORGANICOS W, BIEN GRADUADOS L, BAJA COMPRESIBILIDAD</p> <p>S, ARENA C, ARCILLA P, TURBA P, MAL GRADUADA H, ALTA COMPRESIBILIDAD</p>			
<p>COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO</p> <p>INDICE PLASTICO</p> <p>LIMITE LIQUIDO</p> <p>CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO</p>			

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm. (3") y basadas en el tamaño de las partículas)			
SUELOS DE PARTICULAS GROSAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA N° 200 (φ) (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm. (3") y basadas en el tamaño de las partículas)	SUELOS DE PARTICULAS GROSAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA N° 200 (φ) (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm. (3") y basadas en el tamaño de las partículas)	ARENAS MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GROSA PASA LA MALLA N° 4 Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla N° 4	<p>GRAVAS MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GROSA PASA LA MALLA N° 4</p> <p>GRAVAS LIMPAS (Cantidad apreciable de partículas finas)</p> <p>GRAVAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)</p>
		<p>AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS CON ALGUNOS CON ALGUNOS MEDIOS.</p> <p>FRACCION FINA IDENTIFICABLE</p> <p>FRACCION FINA VEASE ORU</p> <p>AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS CON ALGUNOS MEDIOS.</p> <p>PROMEDIO CON TAMAÑOS CON ALGUNOS MEDIOS.</p> <p>FRACCION FINA IDENTIFICABLE</p> <p>FRACCION FINA VEASE ORU</p>	
SUELOS DE PARTICULAS FINAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PARA LA MALLA N° 200 (Las partículas de 0.075 mm. de diámetro (malla N° 200))	SUELOS DE PARTICULAS FINAS MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PARA LA MALLA N° 200 (Las partículas de 0.075 mm. de diámetro (malla N° 200))	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	<p>RESISTENCIA EN ESTADO SECO (CARACTERISTICA AL ROMPIER)</p> <p>NULA A LIGERA</p> <p>MEDIA A ALTA</p> <p>LIGERA A MEDIANA</p>
		LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	<p>LIGERA A MEDIANA</p> <p>ALTA A MUY ALTA</p> <p>MEDIA A ALTA</p>
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		FACILMENTE SENSACION POR SU TAMAÑO	

† TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD

* CLASIFICACIONES DE FRONTERA - Los suelos clasificados en estas zonas de frontera se clasifican en la zona adyacente que contiene a la mayor parte de los suelos.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

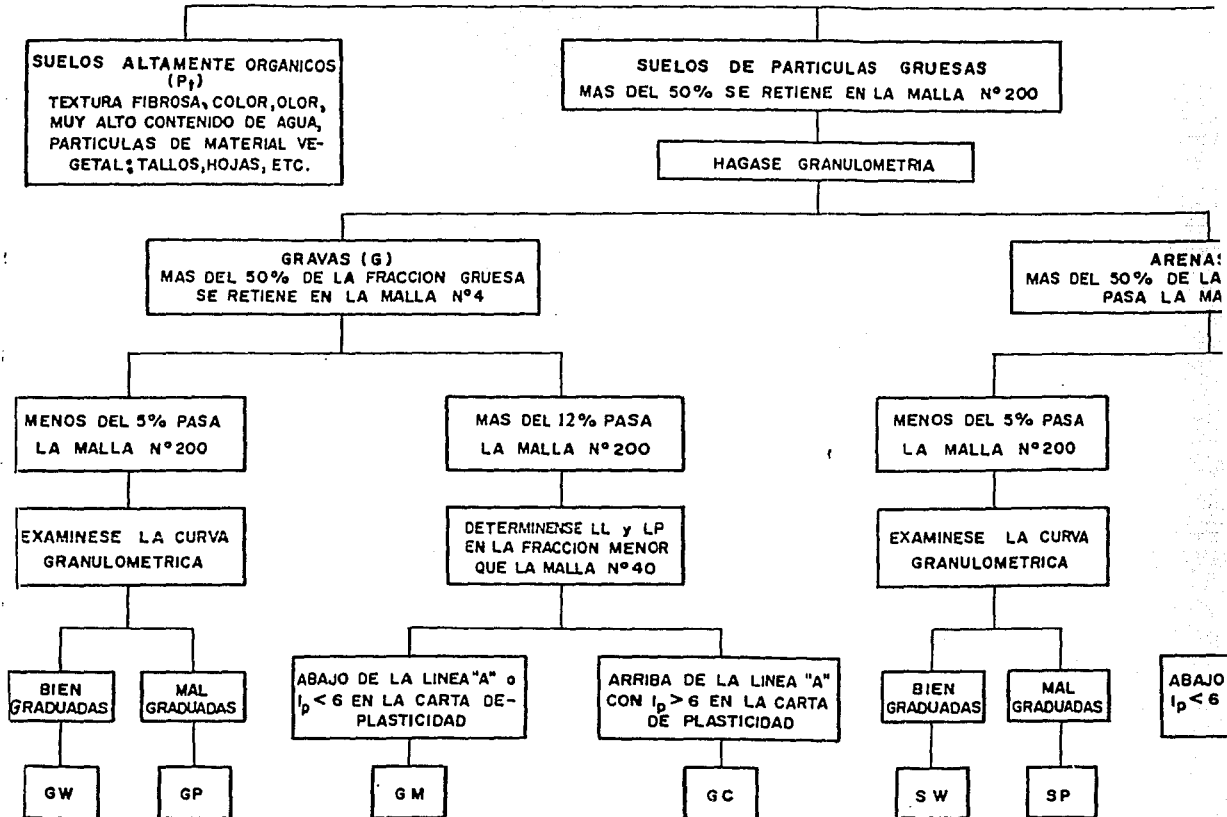
(VERSION S.O.P.)

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO <small>(Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm. (3") y basando las fracciones en pesos estimados)</small>				SIMBOLOS DEL GRUPO (*)	NOMBRES TIPICOS	INFORMACION NECESARIA LA DESCRIPCION DE LOS S	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS <small>Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200 (✦) <small>Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200) son aproximadamente las más pequeñas visibles e simple vista)</small> </small>	GRAVAS <small>Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4 Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla N° 4</small>	GRAVAS LIMPIAS <small>(Poco o nada de partículas finas)</small>	AMPLIA GAMA EN LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	GW	GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.	Dése el nombre típico; indíquense tajes aproximados de grava y arena; máximo, angulosidad, características de cie y dureza de las partículas gruesas local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entri Para los suelos inalterados agrégú ción sobre estratificación, compactación, condiciones de humedad y c cas de drenaje. Ejemplo: Arena limosa, con grava, como grava de partículas duras angulosos y de tamaño máximo; arena gruesa a fin las redondeadas a subangulosos, alrede de finos no plásticos de baja resistencia compacta y húmeda en el lugar; arena	
		GRAVAS CON FINOS <small>(Cantidad apreciable de partículas finas)</small>	PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑOS CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.		
		GRAVAS CON FINOS <small>(Cantidad apreciable de partículas finas)</small>	FRACCION FINA POCO O NADA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO ML ABAJO).	GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO		
		GRAVAS CON FINOS <small>(Cantidad apreciable de partículas finas)</small>	FRACCION FINA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO CL ABAJO).	GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE GRAVA - ARENA Y ARCILLA.		
	ARENAS <small>Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla N° 4</small>	ARENAS LIMPIAS <small>(Poco o nada de partículas finas)</small>	AMPLIA GAMA EN LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS - LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS.		
		ARENAS CON FINOS <small>(Cantidad apreciable de partículas finas)</small>	PROMEDIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑOS CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS.		
		ARENAS CON FINOS <small>(Cantidad apreciable de partículas finas)</small>	FRACCION FINA POCO O NADA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO ML ABAJO).	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO		
		ARENAS CON FINOS <small>(Cantidad apreciable de partículas finas)</small>	FRACCION FINA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO CL ABAJO).	SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y ARCILLA		
SUELOS DE PARTICULAS FINAS <small>Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (Las partículas de 0.075 mm. de diámetro (malla N° 200))</small>	PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40						
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN EDO SECO (CARACTERISTICAS AL ROMPIMIENTO)	DILATANCIA REACCION AL AGITADO	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)			
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA	ML	LIMOS INORGANICOS, POLVO DE ROCA, LIMOS ARENOSOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE PLASTICOS.	Dése el nombre típico; indíquense caracter de la plasticidad, cantidad y ximo de las partículas gruesas, color de do, olor, nombre local y geológico; cua información descriptiva pertinente y entre paréntesis Para los suelos inalterados agrégú ción sobre la estructura, estratificación, ción tanto en estado inalterado como condiciones de humedad y de dren Ejemplo: Limo arcilloso, café, ligeramente porcentaje reducido de arena fina; n agujeros verticales de raíces, firme el lugar; loess (ML)
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS POBRES.	
		LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD.	
	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, LIMOS MICACEOS O DIATOMACEOS, LIMOS ELASTICOS.		
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD, ARCILLAS FRANCAS.	
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, LIMOS ORGANICOS DE MEDIA PLASTICIDAD.	
FACILMENTE IDENTIFICABLES POR COLOR OLORENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS			

* CLASIFICACIONES DE FRONTERA.— Los suelos que poseen las características de dos grupos se designan con la combinación de los símbolos. Ejemplo GW-OC mezcla de grava y arena bien graduada con cementación.
 ✦ Todos los tamaños de las mallas en esta carta son los U.S. Standards

PROCEDIMIENTO AUXILIAR
EN EL
S. U.

HAGASE UN EXAMEN
SI ES ALTAMENTE
DE PARTICULAS FIN
MINESE LA CANTIDAD



NOTA: Los tamaños de las mallas son de la U.S. Standard
Si los finos interfieren con las propiedades de drenaje libre, úsese un símbolo doble tal como GW-GM, etc.

TABLA III - 2

PROCEDIMIENTO AUXILIAR PARA IDENTIFICACION DE SUELOS
EN EL LABORATORIO

S. U. C. S. (versión S.O.P.)

HAGASE UN EXAMEN VISUAL DEL SUELO PARA DETERMINAR SI ES ALTAMENTE ORGANICO, DE PARTICULAS GRUESAS O DE PARTICULAS FINAS, EN LOS CASOS DE FRONTERA DETERMINESE LA CANTIDAD QUE PASA POR LA MALLA N°200.

GRUESAS
LA MALLA N°200

METRIA

SUELOS DE P
MAS DEL 50% P

DETERMINENSE LL
MENOR QUE

ARENAS (S)
MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA
PASA LA MALLA N°4

L
LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50

MENOS DEL 5% PASA
LA MALLA N°200

MAS DEL 12% PASA
LA MALLA N°200

ABAJO DE LA LINEA "A" ó
 $I_p < 6$ EN LA CARTA DE
PLASTICIDAD

ARRIBA DE LA LINEA "A" CON
 $I_p > 6$ EN LA CARTA DE
PLASTICIDAD

EXAMINESE LA CURVA
GRANULOMETRICA

DETERMINENSE LL y LP
EN LA FRACCION MENOR
QUE LA MALLA N°40

COLOR, OLOR, POSIBLEMENTE,
LL y LP EN EL SUELO SECADO
EN HORNO

BIEN
GRADUADAS

MAL
GRADUADAS

ABAJO DE LA LINEA "A" ó
 $I_p < 6$ EN LA CARTA DE
PLASTICIDAD

ARRIBA DE LA LINEA "A"
CON $I_p > 6$ EN LA CARTA
DE PLASTICIDAD

ORGANICOS

INORGANICOS

SW

SP

SM

SC

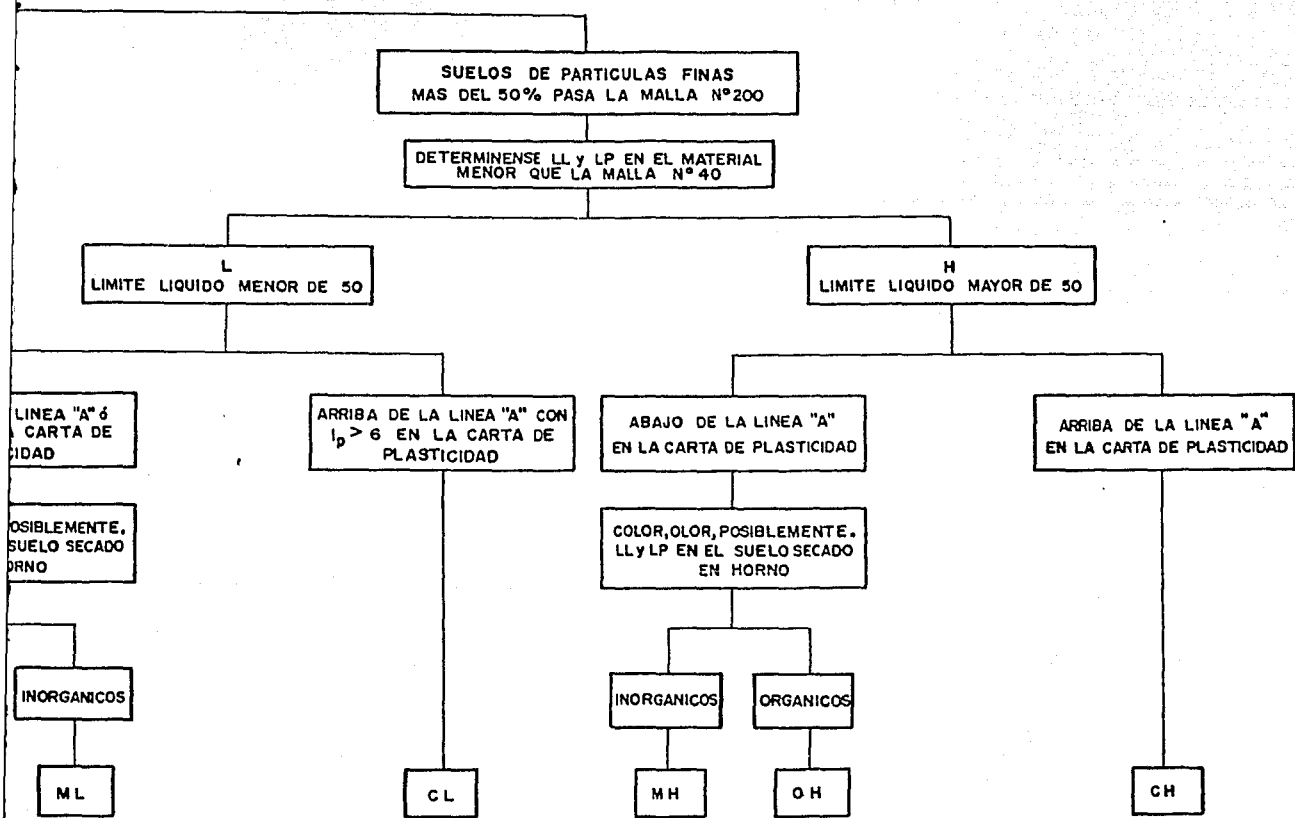
OL

ML

CL

son de la U.S. Standard
propiedades de dren-
tal como GW-GM, etc.

Tomada del libro "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres."



CAPITULO IV

CALIDAD DE LOS MATERIALES

Reseña Histórica.

Desde tiempos muy antiguos los constructores de caminos se percataron de que el buen comportamiento de éstos dependía fundamentalmente de la calidad de los materiales empleados en su conformación. De una manera empírica, a lo largo de los siglos fueron acumulándose conocimientos sobre cuáles eran los mejores materiales y las mejores técnicas de construcción para los diferentes casos específicos. Sin embargo, a este cuerpo de conocimientos experimentales sólo puede dársele una organización sistemática y cuantitativa con base científica y tecnológica hasta el advenimiento de la Mecánica de Suelos, gracias al genio de Karl Terzaghi en los años veinte de este siglo. Esta sistematización -- permitió el desarrollo de normas de aceptación de materiales y procedimientos constructivos, que a su vez propiciaron el portentoso desarrollo de la infraestructura de carreteras en muchos países, en las décadas subsecuentes.

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes fue pionera en la implementación de normas de calidad y de laboratorios de control. En los años cuarenta la preocupación de los ingenieros de Vías Terrestres crea los laboratorios de campo y un Laboratorio Central. Estos laboratorios tenían a su cargo la verificación de los trabajos realizados a los suelos, especialmente en lo referente a la compactación de los materiales. La estrecha colaboración entre laboratorios y brigadas de localización para apoyar trabajos de construcción, dio como resultado conocimientos Geotécnicos que se reflejaron en las obras. En la construcción del Ferrocarril del Sureste y la carretera --

costera del Pacífico, se pusieron en práctica los primeros avances.

La Dirección General de Proyectos y Laboratorios de SCT creada en los primeros años de la década de los cincuentas, contaba con un Departamento de Ingeniería de Suelos. Gracias al talento y la buena dirección del Ing. Fernando Espinosa, este Departamento logró un alto nivel de excelencia, principalmente en los trabajos Geotécnicos aplicados a las vías terrestres.

Los laboratorios de campo igualmente experimentaron estos cambios, llegando a ser una parte útil e importante en el control de calidad de las obras, además de ser un elemento moderno para su época.

Actualmente los laboratorios siguen desempeñando un papel muy importante para asegurar la calidad de las obras realizadas. Los materiales son sometidos al cumplimiento de Normas mediante pruebas de laboratorio que tienen por objeto el aseguramiento de la Calidad del Proyecto. Esto significa, que al cumplirse con los requerimientos especificados por el proyecto, se obtendrá un producto, o en nuestro caso una obra de la calidad especificada.

Pruebas de Laboratorio

Las pruebas de laboratorio realizadas a cada uno de los materiales y los elementos que forman parte de una obra tienen como objetivo que el producto final en su conjunto satisfaga nuestros objetivos de calidad.

Dentro de los fines que persigue este trabajo, no está el de realizar un análisis detallado de las pruebas que se utilizan para la determinación de la calidad de los materiales. Esto obedece a que ese tema y sus ramificaciones -- son muy amplios dignos de varias tesis similares a la presente, por lo tanto únicamente se hará mención de las pruebas aplicadas para asegurar la calidad --

de los materiales para terracerías. Se harán solo algunos comentarios sobre el objetivo que persigue cada una de las pruebas, los equipos que se utilizan y - su importancia en el proceso constructivo de un camino.

Las pruebas de laboratorio más significativas que se realizan para asegurar la calidad de los materiales para terracerías son las siguientes:

- Determinación del Contenido de Agua de los Suelos.
- Pesos Específicos Relativos y Absorción de las Partículas de Material Pétreo.
- Determinación de la Composición Granulométrica mediante el uso de mallas.
- Determinación de los Límites de Plasticidad.
- Determinación de los pesos específicos o pesos volumétricos de los suelos.
- Pruebas de compactación.
- Determinación de los Coeficientes de Variación Volumétrica (Expansión)
- Determinación de los índices de resistencia del suelo.

-Determinación de la Humedad o Contenido de Agua de los Suelos.

Se define el contenido de agua como la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua que tiene el suelo y el peso de sus partículas sólidas. De acuerdo con la metodología de esta prueba, el contenido de agua es el peso que pierde la muestra al ser sometida a un secado en horno a una temperatura de ciento cinco grados centígrados ($105^{\circ}\text{C} \pm 5$), hasta obtener un peso constante lo cual puede ocurrir en un lapso aproximado de 16 horas. La determinación

del contenido de agua proporciona información complementaria que en algunos casos es la base para otras pruebas. Por otra parte, el conocimiento del contenido natural de agua de un suelo, en algunos casos puede dar idea cualitativa de su consistencia o de su probable comportamiento.

-Pesos Específicos Relativos y Absorción de las Partículas de Material Pétreo.

- El peso específico es la relación entre el peso del material y su volumen.- Se define como peso específico relativo o densidad de un material (s_m) a la relación entre su peso específico en condiciones de temperatura y presión barométrica ambiente y el del agua destilada (γ_w) en las mismas condiciones.
- La absorción de los materiales pétreos se define como la cantidad de agua que penetra en las partículas al ser sumergidas en agua a una temperatura de quince a veinte grados centígrados (15 a 20°C) durante veinticuatro (24) horas y se expresa en porcentaje con relación al peso seco del material.

-Determinación de la Composición Granulométrica mediante el uso de mallas.

El análisis granulométrico consisten en separar por tamaños las partículas de suelo, pasándolas a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas de tamaño decreciente y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.

Los resultados del empleo de mallas, da una idea de la composición granulométrica únicamente en dos dimensiones, por lo que las curvas realizadas sólo

son representativas para materiales constituidos por partículas equidimensionales.

El tamaño de las partículas puede obtenerse también aplicando la Ley de Stokes, que rige la caída libre de una esfera sólida en un líquido. El método del hidrómetro (densímetro) nos permite aplicar de manera más exacta este principio.

El análisis combinado consiste en aplicar el análisis por mallas y el método del hidrómetro, respectivamente, a las porciones gruesas y finas de un mismo material. El análisis de los suelos arcillosos debe realizarse sobre muestras que no hayan sido secadas al aire libre o al horno para evitar alterar las partículas finas.

En la práctica cotidiana sólo se emplea regularmente el análisis por mallas, debido a la premura y a la en general mínima variación de los resultados obtenidos con ambos procedimientos.

-Determinación de los Límites de Atterberg.

- LIMITE LIQUIDO

En la determinación del límite líquido de un suelo por el método estándar, se emplea el método de A. Casagrande, en donde se define el límite líquido como el contenido de agua de la fracción del suelo que pasa la malla Núm. 0.425. Para la realización de esta prueba se coloca el material en la copa de Casagrande y se efectúa en ésta una ranura trapecial de dimensiones especificadas con el objetivo de poner en contacto los bordes inferiores en la longitud de trece punto cero (13.0) milímetros, se golpea la copa veinticinco (25) veces, dejándola caer contra una superficie dura, de características especiales

y desde una altura de un (1) centímetro con una velocidad de dos (2) golpes -- por segundo. En el método estándar el límite líquido se determina gráficamente mediante la curva de fluidez, que se obtiene al unir los puntos obtenidos de los contenidos de agua correspondientes a diversos números de golpes, para los cuales la ranura se cierra en la longitud especificada.

- LIMITE PLASTICO.

Se define como el mínimo contenido de agua de la fracción de suelo que pasa la malla Núm. 0.425, con el objetivo de formar con ella cilindros de tres (3) milímetros, sin que se rompan o desmoronen.

La plasticidad es la propiedad de algunos suelos que les permite bajo ciertas condiciones de humedad, mantener la deformación producida por un esfuerzo que les ha sido aplicado en forma rápida, sin agrietarse, desmoronarse o sufrir cambios volumétricos apreciables.

Esta propiedad es originada por fenómenos electroquímicos, que propician la formación de una capa absorbida de consistencia viscosa, alrededor de las partículas, cuyo efecto en la interacción de dichas partículas determina el comportamiento plástico del suelo

Para la realización de la prueba se procede de la siguiente forma:

- Con una porción de material se forma una pequeña esfera de unos doce (12) milímetros de diámetro aproximadamente, moldeada con los dedos para que pierda humedad y se forma un cilindro al manipularla sobre la palma de la mano ejerciéndole presión.
- El objetivo es alcanzar el diámetro de tres (3) milímetros, fraccionándose en varias partes el cilindro, para obtener el contenido de agua del material, se pesan los cilindros colocados en un portaobjetos y se secan al horno.

- De no romperse los cilindros se disminuye la cantidad de agua hasta -- que esto suceda. Para seguridad en los resultados de la prueba se realizan por lo menos tres y se obtiene un promedio.
- Existen materiales con los que no es posible formar cilindros con ningún contenido de agua los que son considerados como no plásticos (arenas entre otros).

-Determinación de los Pesos específicos o Pesos Volumétricos de los suelos.

La determinación del peso específico o volumétrico del suelo, se realiza tomando en cuenta los conceptos de peso específico o volumétrico del material húmedo γ_m y el peso específico o volumétrico del material seco γ_d .

Tomando en cuenta la compacidad del suelo a grado de acomodo que presenten los suelos, existen varias clases de pesos volumétricos o específicos enunciados a continuación:

- Peso específico o volumétrico en estado natural, como consecuencia de un proceso de la naturaleza y sin haber sufrido cambio alguno.
- Peso específico o volumétrico en estado suelto, alterando su estructura natural por medios mecánicos y colocándolo en recipientes sin ningún tratamiento de compactación; por lo que depende de diversos factores (carga, almacenamiento o transportación), que el valor obtenido sea representativo de acuerdo con las condiciones reales imperantes.
- Peso específico o volumétrico en estado compacto, cuando el material ha sido sometido a algún proceso de compactación ocasionando en él un mejor acomodo de sus partículas y en consecuencia un peso específico mayor.

- Peso específico o volumétrico en el lugar, y se refiere a los determinados en estado natural o compacto "in situ".

-Pruebas de Compactación.

La compactación se entiende como la aplicación mecánica de energía, o una cantidad de trabajo por la unidad de volumen, buscando lograr una disminución de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión del aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso específico o volumétrico.

- Al aumentar el contenido de agua del suelo, con la misma energía de compactación, se alcanzará un valor máximo. Por lo que a la cantidad de agua para este valor se le llama humedad óptima, y al peso volumétrico se le designa como peso específico o volumétrico seco máximo.
- La humedad óptima y el peso específico seco máximo de un suelo, llegan a tener variación al incrementarse la energía de compactación, mejorando los pesos específicos máximos secos con menores contenidos de humedad.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretende dar, existen diversos procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación de los suelos en el laboratorio. Con el objeto de referir y evaluar los procedimientos de compactación en campo, y conocer el grado de compactación logrado, se elige de entre las siguientes pruebas la más adecuada:

- Por impactos, se mencionan las siguientes pruebas: La compactación dinámica AASHTO estándar, AASHTO modificada de tres (3) y cinco (5) capas y los métodos de California y de Texas.

- Por carga estática, se tiene la prueba de Compactación Porter.
- Por amasado, el método de compactación Hveem.
- Por vibración, el método de compactación utilizado sobre una mesa vibratoria.

-Determinación de los Coeficientes de Variación Volumétrica.

La obtención de los coeficientes de variación volumétrica se utiliza para conocer los cambios de volumen que experimentan los suelos, provocados por los cambios en estructura y acomodo de las partículas. Los coeficientes están definidos como la relación del volumen del material en condiciones iniciales (valor inicial, V_i), y el obtenido después de someterlo a otras condiciones consideradas como finales, el valor se obtiene de la relación inversa de los pesos específicos o volumétricos respectivos. Estos coeficientes se expresan en forma decimal y sin unidades.

La gran variedad de condiciones del material a comparar da origen a un igual número de casos. Por lo que prácticamente sólo se realizan los más comunes, anotados a continuación:

De estado natural a suelto, de estado natural a compactado en el lugar, de estado suelto a compactado en el lugar y de estado suelto a compactado en el laboratorio.

-Determinación de los Índices de Resistencia del Suelo.

Para la obtención de estos índices, existen varias pruebas, que son utilizadas principalmente para el diseño de pavimentos. A continuación se mencionan estas pruebas:

- Valor relativo de soporte estándar.
- Valor relativo de soporte en el lugar.
- Valor relativo de soporte del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América.
- Pruebas de placa.
- Determinación del valor R de estabilidad.

El método para obtener el valor relativo de soporte (V.R.S.) consiste en preparar especímenes de suelo compactado y someterlos a la penetración de un cilindro o pistón de dimensiones estandarizadas, para medir su resistencia. La carga requerida para lograr una penetración de dos punto cincuenta y cuatro milímetros, con referencia en una carga de mil trescientos sesenta (1360) kilogramos ya como norma, se denomina como el valor V.R.S. expresándolo en porcentaje. Esta prueba realizada en moldes Porter arroja datos complementarios de la calidad de los suelos. Además son compactados con cargas estáticas y saturados antes de realizar la penetración.

El método del Cuerpo de Ingenieros consiste en llevar a cabo la elaboración de especímenes de prueba con diferentes humedades y energías de compactación dinámica. Ya compactados se les somete a pruebas de penetración de manera de obtener una relación entre la humedad de compactación, el peso específico y la resistencia a la penetración. Esta prueba es más utilizada para el diseño de espesores de pavimento.

La prueba de placa efectuada en el lugar lleva como fin el determinar el módulo de reacción o el valor de soporte de una capa en especial de las que forman la estructura del pavimento.

El método del valor R se realiza en especímenes de suelo para determinar los valores de estabilidad o resistencia, en función de la deformación horizontal originada por la aplicación de cargas verticales sobre los especímenes. Se obtienen datos también de la expansión del suelo por la saturación, la exudación de agua por la presión ejercida y los pesos específicos obtenidos de los diferentes contenidos de humedad utilizados. Para la prueba los especímenes son compactados por amasado y se realizan con diferentes contenidos de humedad, estos nos proporcionan series de valores para cada una de las diferentes características de prueba, lo que nos brinda la oportunidad de estudiar el comportamiento del suelo.

CONTROL DE CALIDAD

En lo que antecede se han descrito las pruebas que más comúnmente se realizan para verificar que los materiales de construcción tienen la calidad adecuada para utilizarse en las Vías Terrestres y se han presentado los fundamentos científicos y tecnológicos en que se basan esas pruebas. Sin embargo, es evidente que estos aspectos técnicos no son suficientes para lograr la calidad deseada en una obra dada, si no que es necesario que la técnica se encuadre en un sistema administrativo que norme las pruebas y traduzca sus resultados en -

disposiciones ejecutivas eficientes y oportunas. A este sistema se le designa popularmente como "de Control de Calidad", sin embargo en un lenguaje más estricto conviene designarlo como "Sistema de Aseguramiento de la Calidad", ya que su objetivo último es el de asegurar que se consiga la calidad deseada en el producto terminado.

El sistema de aseguramiento de la calidad se compone de dos vertientes: - por una parte un "Control de Calidad" que es responsabilidad del constructor, que es sistemático y extenso. La extensión varía en cada caso particular conforme a las teorías de muestreo, tomando en cuenta el universo por calificar, - la confiabilidad de las pruebas y los objetivos de éstas.

El objetivo principal del control de calidad es el vigilar que la producción vaya quedando dentro de las tolerancias de la norma adoptada, detectar oportunamente las desviaciones del proceso e identificar las causas de estas desviaciones para corregirlas a tiempo y mantener la producción en los límites establecidos.

Este control es responsabilidad del constructor por su propio interés económico: le permite cumplir con los lineamientos que se le impusieron en el contrato y vigilar que no se excedan los costos en que basó su cotización.

Por otra parte el dueño, que en el caso de las Vías Terrestres es el Estado generalmente, debe asegurarse que el producto que recibe cumpla con las normas del contrato, para lo que debe verificar que el control de calidad que lleva el constructor sea el adecuado y sea fidedigno. Esta operación forma la segunda vertiente del sistema de aseguramiento de la calidad y se denomina "Verificación de la Calidad".

La verificación de la calidad es puntual, esporádica y tiene por objetivo calificar el control de calidad que realiza el constructor.

CAPITULO V

NORMAS DE ACEPTACION

Se entiende por norma un documento que establece criterios para la calificación de un producto o servicio. Estos criterios pueden referirse a características físicas o geométricas, a procedimientos de muestreo y fabricación, a pruebas de comportamiento, etc.

Las normas son producto de la investigación científica y tecnológica. Son desarrolladas por instituciones de investigación en las empresas o en el gobierno y son generales, es decir no aplicables a ningún proyecto en particular.

Cuando se desarrolla un proyecto de producción se establecen los lineamientos que el producto debe cumplir para satisfacer los requisitos de economía y servicio que se pretenden. Para ese cumplimiento el proyectista escoge normas de calificación que en ese momento se convierten en especificaciones.

Para un proyecto específico se puede recurrir a un cuerpo de normas de aplicación común y general, que en ese caso se denomina "Especificaciones Generales" o se puede generar una norma particular propia del proyecto, que por esta razón se designa "Especificación Particular".

En todo proyecto, en caso de conflicto, una especificación particular rige sobre una general.

En el caso de las Vías Terrestres las normas han sido desarrolladas con base en la Mecánica de Suelos, la Mecánica de Rocas, la Hidrología y todas las disciplinas científicas que intervienen en estas obras, pero sobre todo con base en la experiencia de los constructores y los usuarios de las vías.

Se conforma así un cuerpo de normas generales de alcance nacional, por ejemplo las AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportes).

En México las primeras carreteras para vehículos automotores fueron construidas por empresarios de Estados Unidos, que aplicaron las normas AASHTO. De ahí que las normas nacionales desarrolladas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a partir de 1948 y publicadas por primera vez en 1953, tengan una gran influencia de las normas AASHTO.

Esta influencia no es del todo deseable ya que un cuerpo de normas refleja las condiciones geográficas y sociales de su país de origen y sobre todo corresponde en el caso de la construcción al avance tecnológico en equipos y desarrollo humano alcanzado por la sociedad que las genera.

Es indudable que las normas mexicanas de la SCT han propiciado el desarrollo de la infraestructura nacional de vías terrestres, pero tampoco puede discutirse que deben cambiar por las siguientes razones:

- No se han modificado sustancialmente desde hace cuarenta años, en tanto que la tecnología ha tenido en ese lapso un avance considerable.
- Es necesario que reflejen las condiciones de la sociedad mexicana actual y las características propias del medio físico nacional.
- El desarrollo económico del país ha motivado un incremento desorbitado de la demanda de transporte, que debe satisfacerse construyendo carreteras más resistentes, más durables y de características físicas y geométricas adecuadas al tránsito moderno.

Para este cambio se puede aprovechar la coyuntura de que las normas SCT dentro de un proceso de alcance nacional emprendido por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), debe convertirse en normas oficiales mexicanas. Como además para que las normas reflejen las circunstancias nacionales es

necesario que se apoyen en la investigación y la práctica del país que las genera, en el caso de la renovación de las normas SCT, para estos propósitos se pueden aprovechar los trabajos del recientemente fundado Instituto Mexicano -- del Transporte y las experiencias también recientemente adquiridas en la construcción de 4,000 km de autopistas concesionadas.

A continuación y con el objeto de presentar un panorama completo de la si tuación de normas de aceptación de materiales para vías terrestres en México - se presentarán:

- Normas actuales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Experiencia española en vías terrestres, incluyendo la Instrucción de - la Dirección General de Carreteras de España para Dimensionamiento de - Firmes (Pavimentos).
- Normas francesas para terraplenes de carreteras. Parte 2: Utilización - de Suelos en Terraplenes y Capas de Conformación.
- Propuesta del Instituto Mexicano del Transporte para la Definición de - Normas para el Proyecto Geotécnico de Carreteras.

NORMAS S.C.T.

Terraplenes

DEFINICION.- Estructuras ejecutadas con material adecuado producto de cortes o de préstamos, de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o lo ordenado por la - Secretaría. Se consideran también como tales, las cuñas contiguas a los estribos de puentes y de pasos a desnivel; la ampliación de la corona, el tendido - de los taludes y la elevación de la subrasante, en terraplenes existentes; y - el relleno de excavaciones adicionales abajo de la subrasante, en cortes.

MATERIALES

Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes serán aquellos que provengan de cortes y/o de préstamos que sean adecuados, a juicio de la Secretaría.

Para fines de la formación de terraplenes, los materiales que se empleen en la construcción de los mismos se clasificaran de la siguiente manera:

- a) Material compactable
- b) Material no compactable

Materiales compactables son los siguientes:

- a) Los suelos, a que se refiere la tabla 5.1 que se anexa
- b) Los fragmentos de rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tobas (arenas arcillosas ó limosas, que se presenten tan compactas ó ligeramente compactas) a que se refiere la tabla anterior, los cuales, en caso de duda, se someterán a la prueba que se detalla a continuación y que, como resultado de ella, cumplan con los requisitos de por

centaje y tamaño de material retenido, fijado en los subpárrafos 5) y 6) - de este párrafo:

- 1) Se tenderá una capa, del espesor que permita el tamaño máximo del material pero no menor de 30 cm (treinta), en todo el ancho del terraplén y en -- veinte (20) metros de longitud.
- 2) Se regará agua sobre la capa, en cantidad aproximada a cien (100) litros -- por metro cúbico de material.
- 3) Se someterá la capa regada al tránsito de un tractor de orugas con garra y peso de veinte (20) toneladas, pasando tres veces por cada uno de los puntos que forman la superficie.
- 4) Se harán sondeos a cielo abierto en los veinte (20) centímetros superiores de la capa, con volumen aproximado de medio (0.5) metro cúbico en cada sondeo.
- 5) El material producto de los sondeos deberá tener como máximo, un veinte -- por ciento (20%) en volumen, de material retenido en la malla de setenta y seis (76 mm) milímetros (3").
- 6) El material retenido deberá contener como máximo, el cinco por ciento (5%) del volumen total, de fragmentos de roca mayores de quince centímetros (15 cm) (6").
- 7) Se tomará el promedio de los resultados en tres (3) sondeos efectuados en distintos lugares, fijados por la Secretaría, de acuerdo con la distribución indicada en la siguiente figura.

Materiales no compactables son los fragmentos de roca provenientes de man-- tos sanos, tales como: basaltos, conglomerados fuertemente cementados, cali --

zas, riolitas, granitos, andesitas y otras, y los que excedan los requisitos - de porcentajes y tamaño de material retenido, fijados en el párrafo del inciso b) anteriormente citado. Solamente en el caso de duda se someterán a la prueba indicada en los párrafos anteriores.

Materiales para Terracerías.

DEFINICION

Son los materiales que provienen de la corteza terrestre, ya sea que se extraigan de cortes o de préstamos y que se utilizan en la construcción de terraplenes o rellenos, los cuales se pueden emplear solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados, en tal forma que reúnan características adecuadas para su uso.

CLASIFICACION DE FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS PARA FINES DE SU UTILIZACION EN TERRACERIAS.

Los materiales para terracerías se clasifican de acuerdo con lo indicado en el cuadro No.1 que se anexa.

La carta de plásticidad que se utiliza como complemento en la clasificación de suelos es la que se indico anteriormente en la tabla anexa III.1 del capítulo III.

CARACTERISTICAS Y RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LOS MATERIALES EN TERRACERIAS.

Para obtener mejores resultados, al usar los materiales de terracerías se recomienda, de acuerdo con sus características, cumplir con lo indicado en el cuadro N° 2.

En el caso de que por condiciones de extrema necesidad tengan que emplearse en el cuerpo del terraplén, materiales que en el cuadro, de este capítulo, se indica que no deben usarse, la Secretaría, con base en el proyecto y en -- pruebas de laboratorio podrá autorizar su empleo, fijando los porcentajes de compactación que juzgue adecuados, así como las pruebas para determinar los pesos volumétricos secos máximos a que deben referirse los citados porcentajes de compactación.

Las pruebas necesarias para determinar el peso volumétrico seco máximo -- que hayan de efectuarse en cada caso, deberán apegarse a los procedimientos -- descritos en las Normas Para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas. Se recomienda adoptar las variantes A y C de las Pruebas Proctor (AASHTO) estándar para el control rutinario de la compactación en el campo, aunque ocasionalmente puedan utilizarse las variantes B y D, de acuerdo con las características del material. Cuando el proyecto lo indique explícitamente, deberán -- utilizarse para los trabajos de control de compactación, Pruebas Proctor (AASHTO) con niveles de energía específica más altas que la estándar; también podrán emplearse la prueba de compactación estática u otras pruebas de tipo especial.

Los materiales constituidos por fragmentos de roca alterada o deleznable, grandes, medianos y chicos, que aparecen en el cuadro No.2 de este Capítulo, -- serán susceptibles de compactarse con equipo especial para este tratamiento -- siempre y cuando después de tendidos en la obra y sometidos a la prueba descrita en el Libro 3.

Los materiales que se utilicen en la capa subrasante deberán cumplir con las normas de calidad que se indican en la última columna del cuadro No.2 correspondiente al inciso de este Capítulo, en un espesor no menor de treinta (30) centímetros. Cuando se trata de una terracería ya existente y su capa subrasante no reúna las características adecuadas, deberá dársele el tratamiento que la Secretaría indique, para que cumpla con las Normas, o bien si esto no es posible, se construirá una nueva capa subrasante, ya sea sobre la anterior, o bien, después de rebajar ésta en el espesor necesario, si hay necesidad de respetar un determinado nivel de la subrasante.

En algunos casos y a juicio de la Secretaría, podrán emplearse en la construcción de la capa subrasante, materiales estabilizados con cal, cemento Portland, materiales puzolánicos, o materiales asfálticos, siendo necesario para esto, hacer los estudios y proyectos correspondientes.

La clasificación, características y requisitos para el uso adecuado de los materiales empleados en la construcción de terracerías, tal como quedan definidos en las cláusulas de este Capítulo, deberán verificarse haciendo las pruebas necesarias, de acuerdo con los procedimientos indicados en el Libro 6.

Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de grupo			
F R A G M E N T O S D E R O C A Tamaños mayores de 7.6 cm (3 pig) y menores de 2 m	Grandes Mayores de 75 cm y menores de 2 m	Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 0% de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.	FG Fgm Fgc Fgme Fgcm	1. Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de suelo, el material se clasificará con símbolo doble, utilizando los símbolos del suelo correspondiente y los del fragmento respectivo. Si el volumen de suelo es mayor del 50% el símbolo de éste se antepone al del fragmento; si el volumen del suelo está comprendido entre 10 y 50%, su símbolo se colocará en seguida del símbolo de los fragmentos de roca.		
	Medianas Mayores de 20 cm y menores de 75 cm	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.	Fm Fmc Fmg Fmcg Fmgc	Ejemplo 1 Un material contiene: 60% de GC 40% de Fm 20% de Fg 30% de SA 15% de Fm 20% de FM 5% de Fc 10% de Fg Su símbolo sería: GC:Fgm Su símbolo sería: Fmg:SM		
	Chicos Mayores de 7.6 cm (3 pig) y menores de 20 cm	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.	Fc Fcm Fcg Fcmg Fcgm	Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que contenga un material, se hará en forma extensiva. 2. La clasificación de suelos que aparece en este cuadro corresponde, en general al Sistema Unificado (S.U.C.S.) y puede considerarse como la versión S.O.P. de dicho sistema. 3. Todos los tamaños de los mallas que aparecen en este cuadro son los de la U.S. Standard (abertura cuadrada).		
S U E L O S Partículas mayores de 7.6 cm (3 pig)	Más de la mitad del material se retiene en las partículas gruesas en la malla Núm. 200	Gravas limpias Poco a nada de partículas finas	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poca o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 6.) Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, poca o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para GW.	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200 Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	GW GP	4. Como los símbolos de los suelos proceden en general de nombres en el idioma inglés, a continuación se dan las equivalencias de las letras que aparecen en los mismos: G - Grava S - Arena M - Limo C - Arcilla W - Bien granulado P - Mal granulado L - Baja compresibilidad H - Alta compresibilidad O - Suelo orgánico Pr - Turba
	Gravas con finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo, mal graduadas Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas, mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, a Ip < 6. (Véase abajo, grupo ML.) Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, a Ip < 6. (Véase abajo, grupo CL.)	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200.	GM GC	5. Trátese de suelos con partículas gruesas, en que el % en peso que pasa la malla Núm. 200 queda comprendido entre 5 y 12%, se llenan cosas de frontera, que requieren el uso de símbolos dobles.
	Arenas limpias (Poco a nada de partículas finas)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poca o nada de fino, deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 6.) Arenas mal graduadas, arenas con grava, poca o nada finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200. Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200. Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	SW SP	Ejemplos: GW-GC corresponde a una mezcla de grava y arena bien granulada, con cemento arcillosa; GW-SM, corresponde a un material bien graduado con menos de 5% pasando la malla número 200 y formado su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.
	Arenas con finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcillas mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, a Ip < 6. (Véase abajo, grupo ML.) Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y los pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa a la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, a Ip < 6. (Véase abajo, grupo CL.)	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200.	SM SC	6. Los coeficientes de Uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc), que se utilizan para juzgar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP, están dados por las siguientes expresiones:
	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas.				$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}, Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}},$ en que: D_{10}, D_{30} y D_{60} son los diámetros o aberturas de los mallas correspondientes al 10, 30 y 60% en peso, respectivamente, del material que pasa, según la curva granulométrica.	

C L A S I F I C A C I O N	Chicos Mayores de 7.6 cm (3 pig) y menores de 20 cm	Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes o de suelo.		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.	Fcg Fcmg Fcgm						
		Partículas mayores de 7.6 cm (3 pig)	Más de la mitad del material se retiene De partículas gruesas en la malla Núm. 200					Gravas Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla Núm. 4	Gravas limpias Poco o nada de partículas finas	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o nada de finas. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 6.)	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200	GW	
													Gravas con finas (Cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo, mal graduadas	Menos de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, lo clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, a Ip < 6. (Véase abajo, grupo ML.)	GP
S U E L O S	Partículas menores de 7.6 cm (3 pig)	Más de la mitad del material se retiene De partículas gruesas en la malla Núm. 200	Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla Núm. 4	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas, mal graduadas.	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas, mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, lo clasifican como un suelo CI, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, a Ip < 6. (Véase abajo, grupo CI.)	GM						
								Arenas Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla Núm. 4 (Para clasificación visual puede considerarse 5 mm como equivalente a la abertura de la malla Núm. 4)	Arenas limpias (Poco o nada de partículas finas)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de fino, deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 6.)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada finas. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	SW
Arenas Menor de 50%	Limos inorgánicas y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas a arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.) Arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. (Dentro de la zona II de la carta de plasticidad.) Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)	Menos de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, lo clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, a Ip < 6. (Véase abajo, grupo CL.)	SC										
				Limos y arcillas límite líquido	Entre 50 y 100%	Limos inorgánicas de baja a mediana plasticidad, arenas finas o limos micáceos o diatomáceos, limos aléuticos. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.) Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad.) Limos y arcillas orgánicas de media y alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)	MH ₁ CH ₁ OH ₁						
Mayor de 100%	Limos inorgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.) Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad.) Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)	MH ₂ CH ₂ OH ₂											
			Alojamiento orgánicos	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa. Turba y otros suelos alojamiento orgánicos.	P ₁								

2. La clasificación de suelos que aparece en este cuadro corresponde, en general al Sistema Unificado (S.U.C.S.) y puede considerarse como la versión S.O.P. de dicho sistema.

3. Todos los tamaños de los mallas que aparecen en este cuadro son los de la U.S. Standard (abertura cuadrada).

4. Como los símbolos de los suelos proceden en general de nombres en el idioma inglés, a continuación se dan las equivalencias de las letras que aparecen en los mismos:

G Grava
S - Arena
M Limo
C - Arcilla
W - Bien granulado
P - Mal granulado
L - Baja compresibilidad
H - Alta compresibilidad
O - Suelo orgánico
Pt - Turba

5. Tratándose de suelos con partículas gruesas, en que el 1% en peso que pasa la malla Núm. 200 queda comprendido entre S y 12%, se tienen casos de frontera, que requieren el uso de símbolos dobles.

Ejemplos: GW-GC corresponde a una mezcla de grava y arena bien granulado, con cemento arcillosa; GW-SM, corresponde a un material bien graduado con menos de 5% pasando la malla número 200 y formado su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.

6. Los coeficientes de Uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc), que se utilizan para juzgar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP, están dados por las siguientes expresiones:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} - Cc = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}}$$

en que:
D₁₀, D₃₀ y D₆₀ son los diámetros o aberturas de los mallas correspondientes al 10, 30 y 60% en peso, respectivamente, del material que pasa, según la curva granulométrica.

7. La clasificación de los suelos de partículas finas se determina, principalmente, haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla número 40 para ubicarlos en la carta de plasticidad a que se refiere el inciso 90-02, 2, que aparece por separado.

8. Se ha observado que los suelos OL, OH₁ y OH₂, caen dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos ML, MH₁ y MH₂, respectivamente. Sin embargo, casi siempre quedan más cerca de la línea "A" que estos últimos, en virtud de presentar mayores Índices Plásticos.

Fig. 5.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (aumento con fragmentos de roca).

TIPO	SUB-TIPOS	SIMBOLO DE GRUPO	CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO	PRUEBAS ESPECIFICADAS PARA LA DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS DE LOS BLOCOS MAXIMOS	RECOMENDACIONES PARA SU USO	
					CUERPO DEL TERAPILEN	CAPA DE SUBYACENTE EN TERRAPLENES Y CORTES
FRAGMENTOS DE ROCA	GRANDES MAYORES DE 75 cm y MENORES DE 2 m	Fg Fgm Fgmc Fgfm	Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	NO DEBEN USARSE
	MEDIANOS MAYORES DE 20 cm y MENORES DE 75 cm	Fm Fmg Fmgc Fmgf	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE
	CHICOS MAYORES DE 7.6 cm y MENORES DE 20 cm	Fe Fem Feg Fcmg Fegm	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE
S U B L O S	GRUESOS	GRAVAS	GW GP GM GC	SUSCEPTIBLES DE COMPACTARSE CON EQUIPO ESPECIAL	90% de Compactación	95% de Compactación
		ARENAS	SW SF SM SC			
	FINOS	LIMITES LIQUIDO MENOR DE 50	ML CL OL			
		LIMITES LIQUIDO ENTRE 50 Y 100	MH ₁ CH ₁ OH ₁			
		LIMITES LIQUIDO MAYOR DE 100	MH ₂ CH ₂ OH ₂			
	ALTAMENTE ORGANICOS	TURBA	Pl						NO DEBEN USARSE

HAZSE ESTANDAR SIEMPRE QUE EL PROYECTO NO INDIQUE OTRA PRUEBA DINAMICA. En casos especiales el proyecto deberá indicar el procedimiento a seguir en el control de la compactación.

El cuerpo del terraplén, en su totalidad, cuando se haya compactado, debe ser capaz de transmitir los pesos máximos que predominarán, cuando en algunos casos, por sus características de compactación con el equipo especial, aunque no pueda determinarse el grado de compactación. Esto sólo podrá hacerse en el cuerpo del terraplén y el proyecto debe el procedimiento a seguir en estos casos.

95% de Compactación en carreteras. En Aeropistas no deben usarse.

No deberán usarse materiales con valor relativo de soporte saturado menor de 5% o expansión mayor de 5%.

LA EXPERIENCIA ESPAÑOLA EN VIAS TERRESTRES.

Los firmes de carreteras están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la explanada obtenida por el movimiento de tierras y han de soportar las cargas de tráfico durante un período de varios años sin deterioros que afecten a la seguridad o a la comodidad de los usuarios o a la propia integridad del firme.

Las explanadas, aún las de mayor capacidad de soporte, constituidas por suelos granulares con pocos finos de reducida plasticidad o estabilizadas *in situ*, no pueden soportar más que un tráfico ligero y poco intenso, o bien el imprescindible tráfico pesado de obra durante la construcción de la capa inferior del firme. La acción directa de cargas de varias toneladas por rueda, con las presiones de 0.6 a 1 MPA usuales en los grandes vehículos de transporte de pasajeros y mercancías, produciría en poco tiempo importantes deformaciones. Además, los esfuerzos tangenciales superficiales que se producen en la rodadura y el hecho de encontrarse la carretera a la intemperie darían lugar a una superficie deslizante e inestable en tiempo lluvioso y polvoriento e irregular en tiempo seco. En suma, el camino sería incómodo y peligroso, con una necesidad de conservación relativamente frecuente y costosa. Los vehículos tendrían que rodar además a pequeña velocidad; por todo ello la explanada es normalmente sólo el cimiento del firme.

LA EXPLANADA

Como parámetro fundamental se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tráfico. Hay que tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento-retracción). En climas muy fríos inciden además los fenómenos de helada y deshielo.

Se mantiene y se refuerza el criterio general tradicional de que la capacidad de soporte de la explanada sea adecuada y suficiente, incluso como plataforma de trabajo para la construcción del firme. Así, incluso el valor CBR=5 exigido antes como mínimo para todas las categorías de tráfico, solamente se acepta ya para tráficos medios y ligeros (T2, T3 y T4), y se exige un CBR mínimo de 10 para tráfico pesado (T0 y T1). Se recomiendan incluso las estabilizaciones con cal o cemento y se hace mención del eventual empleo de desechos y subproductos industriales. También se dan indicaciones para asegurar un buen drenaje subterráneo.

CATEGORIAS DE TRAFICO PESADO

Categorías de tráfico pesado	IMDp
T0	$IMDp \geq 2000$
T1	$2000 > IMDp \geq 800$
T2	$800 > IMDp \geq 200$
T3	$200 > IMDp \geq 50$
T4	$IMDp < 50$

IMDp (Intensidad media diaria de vehículos pesados).

EL TRAFICO PESADO EN LAS CARRETERAS DE LA RED DE INTERES GENERAL DEL ESTADO

De cada 100 vehículos pesados, 32 son camiones de 2 ejes

De cada 100 vehículos pesados, 45 son de 4 ejes

De cada 100 vehículos pesados, 26 son trailers de 4 ejes

De cada 100 vehículos pesados, 11 llevan un eje tridem

De cada 200 vehículos pesados, 1 lleva más de 5 ejes

De cada 100 vehículos pesados, 1 es un tren de carretera

De cada 100 vehículos pesados, 25 llevan un peso superior a su peso máximo autorizado

De cada 100 ejes 64 son ejes simples

De cada 100 ejes 30 son ejes tandem

De cada 100 ejes 5 son ejes tridem

De cada 100 ejes sobrecargados 48 son ejes simples con rueda gemela

De cada 100 ejes sobrecargados 34 son ejes tandem con rueda gemela

El peso medio del eje simple sobrecargado es de 15.1 toneladas

El peso medio del eje tandem sobrecargado es de 24.8 toneladas

(Ultimos datos obtenidos en 1987 por el CENTRO DE ESTUDIOS DE CARRETERAS del CEDEX en carreteras de la RIGE).

ORDEN DEL 23 DE MAYO DE 1989 POR LA QUE SE APRUEBA LA INSTRUCCION 6.1 Y 2-IC - DE LA DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS SOBRE SECCIONES DE FIRME.

El tiempo transcurrido desde la aprobación de las vigentes normas 6.1-IC y 6.2-IC sobre firmes flexibles y rígidos, respectivamente, la experiencia recogida sobre su aplicación; y la evolución del tráfico y de los materiales -- constitutivos de las distintas unidades de obra, así como la aparición de algunas nuevas, han aconsejado una revisión profunda de aquellas Normas que ha sido llevada a cabo por la Dirección General de Carreteras, en colaboración con el centro de Estudios de carreteras del CEDEX y otros expertos.

El impulso experimentado por el programa de autovías incluido en el Plan General de Carreteras 1984-1991, y la consiguiente proliferación de proyectos de gran importancia económica, obligaron a acelerar la revisión arriba citada en lo relativo a los firmes de autovías de nueva construcción, que se vio facilitada por la toma de algunas decisiones fundamentadas en la importancia de estas infraestructuras. Ello dió origen a la instrucción sobre secciones de firmes en autovías, vigente desde el mes de julio de 1986, que ahora se complementa con la presente instrucción de secciones de firme en la que se recogen, de forma integrada con aquélla, una amplia gama de soluciones para todas las categorías de tráfico pesado.

Se ha procurado mantener en todo lo posible la estructura y terminología de las anteriores Normas 6.1-IC y 6.2-IC, que se refunden en una sola. Se encarece especialmente a los ingenieros que concentren su atención en la selección de las explanadas y secciones estructurales más adecuadas de entre las posi --bles, en función de las disponibilidades locales de materiales.

En virtud de lo que antecede, este ministerio ha dispuesto lo siguiente:

- 1.- Aprobar la instrucción 6.1 y 2-I.C. de la Dirección General de Carreteras sobre secciones de firme, cuyo texto acompaña a la presente Orden.
- 2.- En la redación de proyectos de carreteras de nueva construcción, o de re--reconstrucciones de firme, cuya Orden de estudio se dicte a partir de la - fecha en que entre en vigor la presente Orden se tendrán en cuenta las es--pecificaciones y recomendaciones que figuran en la instrucción que se --aprueba.
- 3.- Queda derogada la Orden Ministerial del 12 de marzo de 1976, por la que se aprobaron las Normas 6.1-IC 1975 y 6.2-IC 1975, de "Firmes flexibles y Fir--mes rígidos", así como la Orden Ministerial de julio de 1986 por la que se aprobó la Instrucción sobre secciones de firme en autovías, la cual queda incluida en la presente Instrucción.

La presente Orden entrará en vigor al día siguiente de su publicación en - el "Boletín Oficial del Estado."

Madrid, 23 de mayo de 1989.

Ministro de Obras Públicas
y Urbanismo.

El objeto de este documento es facilitar la labor del ingeniero que ha de proyectar firmes. Se pone a su disposición una gama de posibles soluciones, entre las que se elegirá la más adecuada en base a consideraciones técnicas y -- económicas sobre el caso concreto a resolver.

Estas soluciones no son estrictamente equivalentes en cuanto al estado -- tensional producido por las solicitaciones del tráfico, a sus necesidades de -- conservación y a su durabilidad, entre otras causas por los espesores mínimos impuestos a ciertos materiales.

Se pretende asimismo unificar criterios sobre secciones de firmes y pavimentos, dando directrices para redactar los pliegos de prescripciones técnicas particulares.

FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO.

Explanada.

A efectos de la presente Instrucción, se considerarán tres categorías de explanada, definidas principalmente por su índice CBR mínimo:

$$E1 \quad 5 \leq CBR < 10$$

$$E2 \quad 10 \leq CBR < 20$$

$$E3 \quad CBR \geq 20$$

El índice CBR se determinara según la norma NLT-111 78. en las condiciones más desfavorables de humedad y densidad que admita el Pliego de prescripciones técnicas particulares. Para asegurar su valor mínimo se recomienda reàzar al menos un ensayo de identificación por hectómetro, aleatoriamente situado, donde la explanada esté constituida por el terreno natural (eventualmente

escarificado y compactado), y al menos una determinación del índice CBR por cada tipo de suelo de la explanada.

NO se admitirán las explanadas tipo E1 para las categorías de tráfico pesado TO ó T1.

Los procedimientos para la definición y, en su caso, la obtención de las distintas categorías de explanada se exponen en la figura N° 1 anexa. Se recomienda la utilización de estabilizaciones con cal o cemento.

A efectos de definición de secciones de firme se unificarán las explanadas por su capacidad de soporte, de tal manera que no haya tramos diferenciados de menos de 500 m. salvo justificación de lo contrario.

En la tabla siguiente se relacionan los posibles materiales a utilizar,-- para los que el pliego de prescripciones técnicas particulares deberá tener en cuenta las complementarias que se expresan en dicha tabla. Las explanadas con materiales no incluidos entre los considerados (escorias, cenizas volantes, - etc.) serán clasificadas si fuera posible por analogía y, en otro caso, mediante estudio especial.

En terraplenes y pedraplenes la categoría de la explanada dependerá de -- las características de los materiales utilizados en su coronación.

En desmontes y en terraplenes de poca altura, la categoría de la explanada será función de las características del terreno natural en una profundidad mínima de 1m desde la explanada, o de las características y espesor del material utilizado donde se proceda a sustituir o estabilizar "in situ" aquel.

En suelo inadecuado cuyo espesor haga inviable económicamente su sustitución o estabilización, se comprobará que no son de temer cambios de volumen ni asentamientos que afecten a la explanada, de lo contrario será necesario un estudio especial. En roca se recomienda el relleno con hormigón tipo H50 (Art. -

610 del Pliego de prescripciones técnicas generales), de las depresiones que -
retengan agua.

En secciones a media ladera se adoptará para el desmonte la misma solu --
ción que para el terraplén.

La superficie de la explanada deberá quedar al menos a 60 cm por encima -
del nivel más alto previsible de la capa freática donde el suelo utilizado sea
seleccionado, a 80 cm donde sea adecuado, y a 100 cm donde sea tolerable. A --
tal fin se adoptaran medidas tales como la elevación de la rasante de la expla
nada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o
de una capa drenante, etc, y se asegurará la evacuación del agua infiltrada a
través del firme de la calzada y arcenes, o a través de la junta entre éstos.

EL FACTOR EXPLANADA

Los criterios generales, ya adoptados en 1975, pueden resumirse en los si
guientes puntos:

- 1.- Los firmes deben asentarse sobre explanadas constituidas por materia-
les que reúnan unos requisitos mínimos, claramente establecidos.
- 2.- Son capas de firme las de pavimento, base y subbase, pudiendo no exig
tir esta última.
- 3.- El tratamiento a dar a terraplenes, pedraplenes y desmontes debe ser
congruente. La situación anterior a 1975 era en este punto especial--
mente desigual, pues mientras en los terraplenes se exigía una corona
ción de 0.50 m de materiales adecuados y un núcleo de materiales tolg

rables, con unas prescripciones rigurosas, en los desmontes no se exigía a los suelos de la explanada una cierta calidad ni un espesor determinado.

La escasez de materiales locales apropiados y la cada vez más obligada utilización de los materiales de la propia explanación, hacen recomendable el empleo de los suelos estabilizados con cal o cemento.

4.- La capacidad de soporte de la explanada se evalúa mediante el índice CBR.

5.- Se considera fundamental el adecuado drenaje de la explanada, no aceptando la posibilidad de un drenaje deficiente a compensar con un mayor espesor del firme.

6.- Las características de los materiales quedan especificadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales y en las prescripciones complementarias señaladas en la Instrucción.







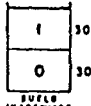





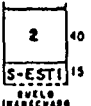
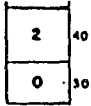






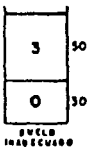
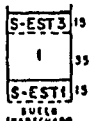


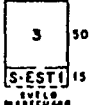
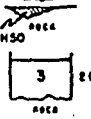
NORMAS ESPAÑOLAS

TABLA

Materiales utilizables en explanadas

Símbolo	Definición del material	Artículo correspondiente del PPTG	Prescripciones complementarias
0	Suelo tolerable	330 Terraplenes	
1	Suelo adecuado	330 Terraplenes	
2	Suelo seleccionado	330 Terraplenes	
3	Suelo seleccionado	330 Terraplenes	$CBR \geq 20$
T	Material de la zona de transición en pedraplenes	331 Pedraplenes	
S-EST 1	Suelo estabilizado in situ con cemento o con cal	511 Suelos estabilizados "in situ" con cemento 510 Suelos estabilizados "in situ" con cal	CBR de la mezcla a los 7 días ≥ 5 cemento ó cal $\geq 2\%$
S-EST 2	Suelo adecuado estabilizado in situ con cemento o con cal	330 Terraplenes 511 Suelos estabilizados "in situ" con cemento 510 Suelos estabilizados "in situ" con cal	CBR de la mezcla a los 7 días ≥ 10 cemento ó cal $\geq 3\%$
S-EST 3	Suelo adecuado estabilizado in situ con cemento	330 Terraplenes 511 Suelos estabilizados "in situ" con cemento	Resistencia a compresión simple a los 7 días ≥ 15 MPa

NORMAS ESPAÑOLAS

TERRAPLENES YPEDRAPLENES				E 1	
DESMONTES					
TERRAPLENES YPEDRAPLENES				E 2	
DESMONTES					
TERRAPLENES YPEDRAPLENES					E 3
DESMONTES					
					

Esesores mínimos en cm

FIG. 1. - CLASIFICACI3N DE LA EXPLANADA

N O R M A S F R A N C E S A S

RECOMENDACIONES PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN CARRETERAS.

2.- Utilización de Suelos en Terraplenes y capas de Conformación.

Ministerio de Equipamiento.

Estudios Técnicos al Servicio de las Carreteras y Autopistas (SETRA).

Laboratorio Central de Puentes y carreteras (LCPC).

Enero de 1976.

INTRODUCCION

El presente documento tiene como objeto indicar las condiciones normales de utilización en terraplén y capas de conformación, de todos los posibles suelos que se pueden encontrar durante los estudios y la realización de un proyecto de carreteras, sobre el trazo, en las zonas de préstamo o en los bancos de material.

Se entienden como condiciones normales de utilización, aquellas que conviene respetar para obtener un terraplén o una capa de conformación que cumpla - con las necesidades de calidad, y utilizando los procedimientos de ejecución mas usuales.

El respetar estas condiciones permite realizar :

- Terraplenes cuyas deformaciones propias (los suelos que soportan el terrapén se consideran aparte), no presentan riesgos de dañar la viabilidad de las carreteras;
- Capas de conformación cuyo soporte y estado superficial, se comportan generalmente conforme a lo deseable.

Los problemas que pueden surgir de la extracción de los materiales no son tratados en este artículo; las condiciones relacionadas con la extracción, no son mencionadas a menos que permitan infuir directamente en la calidad de los terraplenes ejecutados.

Se hace notar que no se trata la protección de los taludes contra la erosión.

Puede justificarse el uso de suelos en condiciones diferentes a las recomendadas en el presente documento, en los casos siguientes :

- Cuando el nivel general de calidad deseado se aparta del habitual, por las características particulares del proyecto;
- Cuando existan circunstancias que justifiquen la aplicación de técnicas constructivas poco usuales, de las que exista experiencia local sobre su utilización exitosa.

ABREVIATURAS PRINCIPALES.

- D -Dimensión de los elementos gruesos de un material.
- Ip -Índice de plasticidad.
- W -Contenido de agua.
- Wp -Límite de plasticidad.
- W_{opt} -Contenido de agua óptimo Proctor.
- CBR -Índice de soporte California.
- Ic -Índice de consistencia.
- h -humedad.
- m -medio.
- s -seco.
- ES -Equivalente de arena.
- i -inmergir.
- pF -potencial capilar.
- γ_d -Densidad seca.
- E -Extracción.
- W -Acción sobre el contenido de agua.
- T -Tratamientos o técnicas de mejoramiento.
- R -Explicación.
- C -Compactación.
- H -Altura del terraplén o espesor total de la capa de conformación.
- CR -Yeso.
- P -Plataforma.
- MO -Materia orgánica.

Clasificación de Suelos.

Los suelos se dividen en seis clases, definidas en función de las características intrínsecas que influyen principalmente en su comportamiento durante la construcción y en consecuencia en las condiciones de utilización que deben respetarse para obtener terraplenes y capas de conformación de calidad normal.

Las dificultades de extracción no se toman en cuenta en esta clasificación.

Cada clase está dividida en subclases en función de las características intrínsecas más importantes para cada una, siempre con el punto de vista de la construcción.

Dentro de cada subclase se incluye cierto número de casos para tener en cuenta el estado del material en el lugar; en que el contenido de agua es el parámetro del estado más importante para los suelos; se consideran también la densidad y la friabilidad para las rocas evolutivas.

CLASIFICACION DE SUELOS

DEFINICION DE CLASES Y SUS CARACTERISTICAS GENERALES

CLASE	DENOMINACION	CRITERIOS CARACTERISTICOS	EJEMPLOS	COMENTARIOS
A	Suelos Finos	Diámetro de los elementos más gruesos < 50 mm Pasa malla de 80 μ m 35%.	Limos, arcillas, etc.	Todos los suelos de clase A, B y C, inclusive no plásticos (limos, arenas muy finas) son sensibles al agua esta sensibilidad está considerada desde el punto de vista de la ejecución de los terraplenes (mezclabilidad, compactación) y del comportamiento de las plataformas.
B	Suelos arenosos o gravosos con finos	Diámetro de los elementos gruesos < 50 mm Pasa malla de 80 μ m entre 5 y 35%	Arenas y gravas arcillosas, etc.	La diferencia entre las clases A y B está en el porcentaje de finos que define diferencias de sensibilidad al agua (mayor o menor tiempo de respuesta a las variaciones de las condiciones meteorológicas) y de comportamiento mecánico (fricción, cohesión). La diferencia principal entre las clases B y C son los elementos gruesos: presencia de cantos rodados y de bloques en los suelos de la clase C, de lo que resulta:
C	Suelos con elementos finos y gruesos	Diámetro de los elementos más gruesos > 50 mm Pasa malla de 80 μ m > 5%.	Arcillas con sílice aluviones gruesos, etc.	- empiso posible o no, según la clase de ciertos equipos de terraplenado. - dificultad para los suelos C, de regulación de las plataformas de ejecución de zanjas.
D	Suelos y rocas insensibles al agua	Pasa malla de 80 μ m < 5%	Arenas y gravas limpias, materiales rocosos sanos, etc.	La insensibilidad al agua se considera desde el punto de vista de la ejecución del terraplenado: efecto despreciable de las condiciones meteorológicas en la calidad de las obras realizadas.
E	Rocas evolutivas	Fragilidad y alterabilidad definidas por pruebas que dependen de la naturaleza de los materiales.	Cretas, pizarras, etc.	Materiales que evolucionan durante los trabajos o inmediatamente después a un suelo sensible al agua o a una estructura diferente que puede ocasionar asentamientos.
F	Materiales putrescibles, combustibles o contaminantes	Criterios característicos que dependen de la naturaleza de los materiales	Turba, pizarras de hulla, yeso, residuos industriales contaminantes, etc.	Cuando son utilizables estos materiales deben serlo en las condiciones aplicables a la clase A, B, C, D o E, a la cual se relacionan según sus características granulométricas o eventualmente por su carácter de roca evolutiva.

* Las tablas a continuación presentan la clasificación detallada de los suelos para cada una de las clases, de la "A" a la "F".

SUBCLASE	SUELOS MAS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	CLASIFICACION SEGUN EL ESTADO DEL SUELO		
			RECURSOS PARA EVALUAR EL ESTADO DEL SUELO	CASOS POSIBLES	COMENTARIOS
A ₁ I _p < 10	Limos poco plásticos.	Estos suelos cambian totalmente de consistencia para bajas variaciones de w o para bajas variaciones de densidad si w está cerca de W _p	El estado del suelo está determinado por su contenido de agua w. Se tiene: - medir w y compararla con W _{OPN} ; - o determinar el CBR inmediato; - o evaluar visualmente la consistencia del material. El índice de plasticidad es demasiado débil para utilizar el índice de consistencia.	A _{1h}	Debido a la rapidez de las variaciones de consistencia de estos suelos, un cierto margen de seguridad debe tomarse. Se puede considerar en promedio que w se eleva si: W > W _{OPN} + 1 o CBR < 8
	Loess.	El tiempo de reacción en las variaciones del medio ambiente hídrico y climático es relativamente corto, pero la permeabilidad puede variar en amplios límites según la granulometría y la plasticidad, este tiempo de reacción también puede variar ampliamente.		A _{1m}	El margen de w regular para estos suelos es relativamente bajo; en promedio: W _{OPN} - 2 < W < W _{OPN} + 1 o 8 < CBR < 25.
	Limos aluviales.	Los suelos menos plásticos tienen un comportamiento mecánico particular (posibilidad de ruptura frágil; fisuración).		A _{1s}	Se puede considerar como promedio que w es bajo si: W < W _{OPN} - 2 o CBR > 25.
	Arenas finas poco contaminadas.				
	Arenas poco plásticas.				
A ₂ I _p 10 a 20	Arenas finas arcillosas.	El carácter normal de los suelos de esta sub-clase se presta a que se utilicen en una gama muy amplia de terraplenes (si el contenido de agua no es demasiado elevado) y de pruebas de laboratorio como de obras.	El estado del suelo está determinado por su contenido de agua w. Se puede evaluar el estado del suelo con los mismos recursos que para los suelos A ₁ , es decir: - w comparada con W _{OPN} . - o CBR inmediato. - o evaluación visual de la consistencia, a las cuales se agrega el índice de consistencia I _c para los suelos más plásticos de la sub-clase.	A _{2h}	Se puede considerar como promedio que w es elevado si: W > W _{OPN} + 2 o CBR < 5 o I _c < 1
	Limos.			A _{2m}	En promedio si: W _{OPN} - 2 < W < W _{OPN} + 2 o 5 < CBR < 15 o 1 < I _c < 1.2
	Arcillas y margas poco plásticas.			A _{2s}	Como promedio si: W < W _{OPN} - 2 o CBR > 15 o I _c > 1.2
A ₃ I _p 20 a 50	Arcillas.	Estos suelos son muy coherentes (contenido de agua normal o bajo) y adherentes o deslizables en estado húmedo, debido a esto hay dificultades de aplicación en la obra (y de manejo en el laboratorio). Su permeabilidad muy reducida hace muy lentas sus variaciones de contenido de agua en el lugar. Un aumento en el contenido de agua es muy importante y necesario para cambiar totalmente su consistencia.	El estado del suelo está determinado por su contenido de agua w. La evaluación del estado se hace con los mismos recursos que para los suelos A ₂ , pero para los suelos más coherentes de la sub-clase A ₃ (ya sea por la plasticidad elevada o por w baja) las pruebas dan resultados muy dispersos en función de la fracción del material y del grado de homogeneidad del contenido de agua.	A _{3h}	Se puede considerar en promedio que w es elevado si: W > W _{OPN} + 4 o CBR < 3 o I _c < 0.9
	Margas.			A _{3m}	La lentitud de las variaciones de consistencia permite considerar como promedio una gama de contenidos de agua relativamente amplia (poca evolución de consistencia durante la aplicación); en promedio: W _{OPN} - 4 < W < W _{OPN} + 4 o 3 < CBR < 15 o 0.9 < I _c < 1.3
	Limos muy plásticos.			A _{3s}	En promedio si: W < W _{OPN} - 4 o CBR > 15 o I _c > 1.3
A ₄ I _p > 50	Arcillas y margas muy plásticas.	Estos suelos son excesivamente coherentes y casi impermeables; si cambian de contenido de agua, se realiza muy lentamente y con importantes retracciones o dilataciones.	Estos suelos no se utilizan normalmente, los recursos para la evaluación del estado no están descritos aquí.		

CLASIFICACION B

SUELOS ARENOSOS O GRAVAS CON FINOS

SUB-CLASE			SUELOS MAS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	CLASIFICACION SEGUN EL ESTADO DEL SUELO		
<80 μm	>2 mm	ES			RECURSOS PARA EVALUAR EL ESTADO DEL SUELO	CASOS POSIBLES	COMENTARIOS
5 a 12%	<30%	B ₁ >35	Arenas limosas	Sus finos están en porcentaje limitado y poco o no plásticos, estos suelos se comportan como suelos insensibles al agua.	Ver clase D ₁		Ver clase D ₁
		B ₂ <35	Arenas arcillosas (poco arcillosas)	La plasticidad de sus finos hace que estos suelos sean sensibles al agua. Su tiempo de reacción a las variaciones del medio ambiente es húmedo y climático es corto, variando muy ampliamente (función de la permeabilidad)	El estado del suelo está determinado por su contenido de agua W. Se puede: - medir W y compararla con W _{OPN} - o determinar el CBR inmediato (salvo en el caso de W bajo) - o evaluar visualmente la consistencia del suelo.	B ₂ ^h contenido de agua elevado	Se puede considerar en promedio que W es elevada si: W > W _{OPN} + 2 ó CBR < 8
						B ₂ ^m contenido de agua regular	En promedio si: W _{OPN} < W < W + 2 ó CBR > 8 sin ser muy elevado.
						B ₂ ^s contenido de agua bajo	En promedio si: W _{OPN} el CBR no se utiliza para la identificación de estos suelos con contenido de agua bajo.
5 a 12%	>30%	B ₃ >25	Gravas limosas	Ver B ₁	Ver clase D ₂		Ver clase D ₂
		B ₄ <25	Gravas arcillosas (poco arcillosas)	La plasticidad de sus finos hace que estos suelos sean sensibles al agua. Tienen más grava que los suelos B ₂ y su fracción arcillosa es más baja. Por esta razón son por lo general muy permeables para poder escurrirse en depósito provisional. Reaccionan muy rápidamente a las variaciones del medio ambiente hídrico y climático (hmedecimiento-drenaje-secado).	El estado del suelo se determina por su contenido de agua W. Se puede hacer como para los suelos B ₂ : - comparar W con W _{OPN} - o determinar el CBR inmediato (salvo en el caso de W bajo) - o evaluar visualmente la consistencia. Para los suelos B ₄ más gruesos se alcanzan los límites de las pruebas Proctor y CBR. En el caso donde el suelo esté abajo del nivel freático las características de dicho nivel se tomarán en cuenta (posibilidad de abatimiento por bombeo)	B ₄ ^h contenido de agua elevado	Se puede considerar en promedio que W es elevada si: W > W _{OPN} + 2 ó CBR < 8
						B ₄ ^m contenido de agua regular	En promedio si: W _{OPN} < W < W + 2 ó CBR > 8 sin ser muy elevado.
						B ₄ ^s contenido de agua bajo	En promedio si: W _{OPN} el CBR aquí no se utiliza para la identificación de estos suelos con contenido de agua bajo.
					B ₄ ⁱ suelo abajo del nivel freático (i = sumergido)	Se distingue este caso del W elevada ya que las condiciones especiales de extracción bajo el agua, pueden aquí aplicarse y obtenerse utilidades interesantes (Ver indicaciones para este caso en los capítulos relativos a la utilización en terraplen y en explanada).	

CLASIFICACION B

D < 50 MM; PASA LA MALLA DE 80 μ M ENTRE
5 y 35%

SUBCLASE		SUELOS MAS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	CLASIFICACION SEGUN EL ESTADO DEL SUELO		
< 80 μ m	I _p			RECURSOS PARA EVALUAR LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO	CASOS POSIBLES	COMENTARIOS
	B ₅ I _p < 10	ARENAS Y GRAVAS MUY LIMOSAS	La proporción de finos y la poca plasticidad de estos últimos aproximan mucho el comportamiento de estos suelos a los suelos A ₁ .	Ver clase A ₁ .	B _{5h}	Ver clase A ₁ .
	B _{5m}					
			B _{5s}			
12 a 35 %	B ₆ I _p > 10	Arenas y gravas arcillosas (muy arcillosas).	La influencia de los finos es preponderante; el comportamiento del suelo se aproxima a él del suelo fino, ya que presenta la misma plasticidad que los finos del suelo (definidos por los límites de Atterberg como < 400 μ m). Sin embargo, la presencia de la fracción arenosa y con grava los hacen más rápidamente sensibles a la influencia del agua, la fracción fina plástica (sobre la cual el agua actúa especialmente) es reducida.	El estado del suelo está determinado por su contenido de agua w, al cual puede agregarse eventualmente la densidad o la cohesión en el lugar para los suelos plásticos. El estado del suelo puede ser evaluado por los mismos medtos que los suelos finos, es decir: - w comparado con W _{OPN} , o CBR inmediato, o índice de consistencia de los < 400 μ m, o evaluación visual. Es necesario hacer reservas con las pruebas Proctor y CBR si la fracción con grava es importante.	CONTENIDO DE AGUA ELEVADO.	Se puede considerar como promedio que el contenido de agua de estos suelos es elevado si: w > W _{OPN} + 2 o CBR < 8 o I _c < 1
					CONTENIDO DE AGUA REGULAR	En promedio si: W _{OPN} - 2 < w < W _{OPN} + 2 o CBR > 8 sin ser muy elevado o 1 < I _c < 1.2
					CONTENIDO DE AGUA BAJO	En promedio si: w < W _{OPN} - 2 o I _c > 1.2

CLASIFICACION C

SUELOS CON FINOS Y ELEMENTOS GRUESOS -D > 50 MM

PASA LA MALLA DE 80 μ M > 5%

SUBCLASE		SUELOS MAS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	CLASIFICACION SEGUN EL ESTADO DEL SUELO		
< 80 μ m	D			RECURSOS PARA EVALUAR EL ESTADO DEL SUELO	CASOS POSIBLES	COMENTARIOS
Elevado (> 10 a 20% según como sea la granulometría más o menos continua).	C ₁ No hay condición sobre D para la clase C ₁	Arcillas con silice. Arcillas con cantos rodados. Escombros. Morrenas. Rocas alteradas. Aluviones gruesos.	El porcentaje de finos (< 80 μ m) que define esta clase de suelos corresponde a los elementos gruesos sumergidos en la fracción plástica del material; el comportamiento global del suelo se aproxima por lo tanto a esta fracción. Si la granulometría del suelo es completamente discontinua, lo que pasa por la malla de 80 μ m debe alcanzar más o menos 20 %; si esta es más continua lo que pasa por la malla es más baja. El comportamiento de la fracción fina depende de su plasticidad (véase características principales de la clase A).	El estado del suelo está determinado por el contenido de agua de la fracción inferior a 20 mm; se puede: - determinar al CBR inmediato en esta fracción; o medir su contenido de agua y compararlo con WOPN; o evaluar visualmente la consistencia del material.	C _{1h} Contenido de agua elevado	Los límites entre los contenidos de agua elevados, regular y bajos están en función de la plasticidad de la fracción fina del suelo (véase clase A). Frecuentemente se puede considerar que w es elevada si: $\begin{matrix} CBR < 3 \\ \text{o } w > WOPN + 4 \end{matrix}$
				C _{1m} Contenido de agua regular	Frecuentemente si: $\begin{matrix} 3 < CBR < 15 \\ \text{o } WOPN - 2 < w < WOPN + 4 \end{matrix}$	
				C _{1s} Contenido de agua bajo.	Frecuentemente si: $\begin{matrix} CBR > 15 \\ \text{o } w < WOPN - 2 \end{matrix}$	
Bajo (< 10 a 20% según como sea la granulometría más o menos continua).	C ₂ D < 250 mm	Arcillas con silice. Arcillas con cantos rodados. Escombros. Morrenas. Rocas alteradas. Aluviones gruesos.	Cuando estos suelos están en un estado relativamente compacto hay contacto entre los elementos de la fracción granular. La fracción fina interviene sin embargo en el comportamiento, principalmente haciendo al suelo poco permeable y reduciendo la profundidad de acción de los compactadores.	El estado del suelo depende del contenido de agua de la fracción < 20 mm, pero es difícil en la práctica determinar este contenido de agua (volumen importante de material por manipular, peligro de falta de representatividad de las muestras). Es por esto que ningún valor en cifras figura en la columna "comentarios". En la práctica la evaluación de la consistencia de la fracción plástica se hace mediante un examen directo del suelo.	C _{2h}	
				C _{2m}		
				C _{2s}		
Bajo (< 10 a 20% según como sea la granulometría más o menos continua).	C ₃ D > 250 mm	Arcillas con silice. Arcillas. Escombros. Morrenas. Rocas alteradas. Aluviones gruesos.	Las mismas características que los suelos C ₂ , además con la presencia de elementos gruesos que constituyen un obstáculo para la regulación de las capas y la regulación de las plataformas.	El estado del suelo depende del contenido de agua de la fracción < 20 mm, pero es difícil determinar en la práctica este contenido de agua (volumen importante de material por manipular, peligro de falta de representatividad de las muestras). Es por esto que ningún valor en cifras figura en la columna "comentarios". En la práctica la evaluación de la consistencia de la fracción plástica se hace mediante un examen directo del suelo.	C _{3h}	
				C _{3m}		
				C _{3s}		

CLASIFICACION D

SUELOS Y ROCAS INSENSIBLES AL AGUA
PASAN LA MALLA DE $80 \mu\text{m} < 5\%$.

SUBCLASE		SUELOS MAS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	CLASIFICACION SEGUN EL ESTADO DEL SUELO		
D	$> 2 \text{ mm}$			RECURSOS PARA EVALUAR EL ESTADO DEL SUELO	CASOS POSIBLES	COMENTARIOS
$< 50 \text{ mm}$	D_1 $< 30 \%$	Arenas aluviales limpias. Arenas de dunas.	Estos suelos no tienen cohesión y son permeables. Su granulometría frecuentemente mal graduada y de pequeño calibre los hace muy erosionables y de tráfucabilidad difícil.			
	D_2 $> 30 \%$	Gravas aluviales limpias. Arenas.	Estos suelos tienen cohesión y son permeables. Después de la compactación son menos erosionables, tanto cuanto más capaces sean de soportar el tránsito si estuvieran bien graduados.			
D_3 $50 < D < 250$	Gravas aluviales limpias. Materiales rocosos no evolutivos.	Materiales sin cohesión y permeables, no aptos en mezclas, aun con tratamiento pueden tener problemas en la ejecución de zanjas.				
D_4 $D > 250$	Gravas aluviales limpias. Materiales rocosos no evolutivos.	Materiales sin cohesión y permeables. Causan problemas de regulación y de ejecución de zanjas.				

Rocas evolutivas.

Clasificación "E"

Nota:

Los materiales de esta clase constituyen la transición entre los materiales rocosos y los suelos.

Se definen por las siguientes características:

- Poseen en estado natural una resistencia debida a su estructura, ésta admite enlaces como los que se deben a la presencia de arcilla o por capilaridad;
- Esta resistencia, generalmente más elevada que la del suelo, es sin embargo suficientemente débil para no resistir otras manipulaciones de aplicación o las nuevas condiciones del medio ambiente introducidas por los trabajos. Los terraplenes hechos con estos materiales sufren modificaciones en su estructura y como consecuencia en su comportamiento geotécnico; por esta razón se les llama "evolutivos".

La evolución de estos materiales, que consiste en la destrucción parcial o total de los enlaces de la estructura, se hace principalmente según dos procesos:

- Por la acción mecánica externa (rompimiento, abrasión, desgaste), ya sea durante la ejecución del trabajo bajo el efecto de las máquinas de la obra o posteriormente en el interior del terraplén, bajo el efecto de cargas estáticas o dinámicas;
- Por modificación interna los enlaces se destruyen en el interior del material a consecuencia de los diferentes fenómenos, tales como los esfuerzos internos debidos a las dilataciones de la arcilla eventualmente presente, disolución del cementante creando enlaces, u otros fenóme

nos fisicoquímicos.

Prácticamente dos consecuencias de la evolución de estos materiales pueden ser nefastas:

- El suelo que resulta de esta evolución puede tener características geotécnicas inadecuadas para las condiciones en que será reutilizado (sensibilidad al agua, compactación, propiedades mecánicas necesarias para la estabilidad de los terraplenes, etc.);
- La destrucción progresiva de la estructura natural de los bloques presentes en los terraplenes puede ocasionar una redistribución del material y como consecuencia hundimientos que resultan, ya sea por el llenado de los vacíos entre bloques o porque la densidad del material obtenido de la destrucción de los bloques es más elevada que la de los bloques mismos.

Las rocas evolutivas se pueden clasificar en función de las características principales del suelo producido por su evolución:

- Suelo esencialmente no arcilloso fino (sensible al agua);
- Suelo esencialmente no arcilloso grueso (poco o no sensible al agua);
- Suelo arcilloso.

CLASIFICACION E

ROCAS EVOLUTIVAS

SUBCLASE	SUELOS MAS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	CLASIFICACION SEGUN EL ESTADO DEL SUELO			
			RECURSOS PARA EVALUAR EL ESTADO DEL SUELO	CASOS POSIBLES	COMENTARIOS	
E ₁ Materiales con estructura fina y frágil con poca o sin arcilla.	Yeso (Material rocoso poco compacto que contiene más de 95 % de CaCO ₃).	El yeso es un amontonamiento de partículas de calcita cuya dimensión es del orden de una micra hasta diez micras. Este amontonamiento constituye una estructura muy frágil de gran porosidad (más o menos 40 %) y de una succión muy elevada (no hay drenaje abajo de $\alpha = PF = 3$). Los finos producidos por trituración y atrición pueden ser de dimensiones muy pequeñas (1 a 10 μ) y no tienen ninguna plasticidad; se sitúan entre los suelos de la clase A ₁ .	El estado del suelo está determinado por su densidad, por su contenido de agua y su friabilidad.	Cra yeso denso		1,70
				Yeso poco denso 1,70	Crb contenido de agua bajo o regular		El contenido de agua puede por lo general ser considerado como regular o bajo si es inferior a 20 %.
					Crc friabilidad baja.	El contenido de agua puede por lo general ser considerado como elevado si sobrepasa el 20 %.
				Crd friabilidad fuerte.	La friabilidad se aprecia mediante pruebas de compactación repetidas o de vibración (ver documentos especiales como el Boletín especial V de los Laboratorios de Puentes y Carreteras, El Yeso (octubre, 1973).	
	Materiales finos con arenisca, bese no modificados, etc.		Los principios de arriba son aplicables, por lo menos en parte, a la clasificación de los materiales E ₁ y a otros como el yeso, los valores numéricos por conservar deben ser definidos mediante un estudio particular.			
E ₂ Materiales con estructura gruesa y frágil con poca o sin arcilla.	Materiales de conglomerados gruesos, gravillas, etc.	La evolución de estos materiales da un suelo poco o no sensible al agua del tipo B ₁ a B ₄ o D.		En estudio.		
E ₃ Materiales evolutivos arcillosos.	Margas. Esquistos.	La evolución de estos materiales da un suelo arcilloso cuya fracción fina es del tipo A ₂ , A ₃ o eventualmente A ₄ . Según el estado de evolución el material se aproxima a los de clase C, B o A.		En estudio.		

CLASIFICACION F

MATERIALES PUTRESCIBLES, COMBUSTIBLES, SOLUBLES Y CONTAMINANTES

SUB-CLASE		MATERIALES MAS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS	OBSERVACIONES GENERALES
Materiales putrefactos.	3 % < H ₂ O < 10 %	Tierras vegetales. Lodos. Basuras insuficientes incineradas. Reconocimiento de zonas de préstamo, de canteras...	El empleo de estos materiales para constituir las capas de conformación está prohibido, pero se pueden utilizar en terraplenes de altura baja o regular conforme a las condiciones de terracería definidas para la clase granulométrica y de plasticidad con la cual ellos se unen. Se puede mejorar su calidad geotécnica (naturaleza y estado) - tratándolas (frecuentemente con cal), y desde el punto de vista de las materias orgánicas, puede ser necesario tratarlas - con dosificaciones elevadas. Por lo tanto es necesario, en - todos los casos, realizar un estudio técnico-económico. La limpieza de la tierra vegetal abajo de la base de los terraplenes de regular y gran altura no debe ser sistemática, sino en función de las necesidades de la tierra vegetal, de la naturaleza y del estado del terreno natural (una cobertura vegetal buena constituye una capa anticontaminante y drenante y aumenta la traficabilidad en un suelo blando). Para las condiciones de utilización de la tierra vegetal en - siembra de césped y en plantaciones, es necesario referirse a documentos especializados.
	H ₂ O > 10 %	Los mismos materiales que arriba. Humus forestal. Basuras insuficientemente incineradas. Turbas. Desechos industriales de papelería, de refinerías, etc.	Estos materiales no deben utilizarse ni en terraplén, ni en - capas de conformación debido a las transformaciones bio-químicas que ahí se producen y que pueden provocar asentamientos y retracción-dilatación. Además por regla general, tienen muy malas características mecánicas que no pueden mejorarse a un precio razonable, mediante cualquier tratamiento. La observación hecha sobre la limpieza de la tierra vegetal es sin embargo válida cuando su contenido en materias orgánicas sobrepasa 10 %. El humus forestal puede atenuar la falta de tierra vegetal - después del cribado, mejorando para ser utilizado en la protección de los taludes.
Materiales combustibles.		Hullas estériles almacenadas en escombreras.	El carbono cuando se encuentra en estos materiales puede auto-encenderse si está al aire libre y en una cantidad considerable. Cuando esta autocombustión se termina los materiales constituyen buenos materiales para el terraplén y la capa de conformación. Si un depósito de estos materiales almacenados por varios meses no presenta ninguna autocombustión, su utilización en terraplén y en capa de conformación se tiene en cuenta, pero debe ser objeto de un estudio particular. Una fase importante de - este estudio es la identificación de los elementos del depósito, ésta se puede facilitar tomando en cuenta la opinión de los productores de estos materiales. La segunda fase del estudio debe definir las condiciones particulares de la puesta del terraplén; se puede sin embargo indicar que los peligros de evolución por auto-combustión serán tan pequeños cuanto más bajo sea el porcentaje de vacíos de aire. Por lo tanto será conveniente elegir los escombros que contengan una fracción fina suficiente y realizar una compactación intensa.
Materiales solubles.	Restos de sal gema o más de 20 % de yeso.	Materiales que están en contacto con capas freáticas de sal gema NaCl + MgCl ₂ o yeso CaSO ₄ .	Estos materiales no deben utilizarse en terraplenes debido al peligro de hundimiento y de contaminación que podrían resultar de una lixiviación provocada por las aguas de riego o por las fluctuaciones del nivel freático.
	0 % de sal gema o menos de 20 % de yeso.	Margas con y sin yeso.	Estos materiales pueden utilizarse en terraplén (pero no en capa de conformación) dada la solubilidad relativamente baja del yeso en tales materiales compactados. Sin embargo es conveniente protegerlos de las aguas de riego y de las aguas de infiltración y no utilizarlos en la parte de la obra que pueda estar en contacto con el nivel freático.
Materiales contaminantes.		Desechos industriales de cualquier naturaleza tales como: - lodos de decantación, - escorias con alto contenido de azufre, - residuos obtenidos después del enriquecimiento de minerales, - escorias que contienen sustancias tóxicas, - arenas de fundición, - diversos depósitos.	Estos materiales, que incluyan productos dañinos que pueden evacuarse fuera del terraplén mediante disolución o percolación, no deben utilizarse para - terraplén en condiciones normales de terraserías debido a los problemas de contaminación (por niveles freáticos principalmente) que pudieran resultar. Puede estar justificado por motivos de protección del medio ambiente, investigar como "guardar" un material contaminante en el terraplén. En este caso, es necesario iniciar sistemáticamente un estudio que incluya la identificación precisa del material según la información de los productores, después un análisis de la economía de la operación y si ésta última es favorable, la definición de las reglas particulares de terraserías que se tengan que indicar.

TABLA RECAPITULATIVA

Suelos finos	D < 50 mm Pasa la malla de 80 μm > 35%	I _p < 10			A ₁	
		10 < I _p < 20			A ₂	
		20 < I _p < 50			A ₃	
		I _p > 50			A ₄	
Suelos de arena y grava con finos.	D < 50 mm Pasa la malla de 80 μm entre 5. y 35%	Pasa la malla de 80 μm de 5 a 12%	Retenido en 2 mm inferior a 30%.	ES > 35	B ₁	
				ES < 35	B ₂	
		Retenido en 2 mm superior a 30%.	ES > 25	B ₃		
			ES < 25	B ₄		
		Pasa la malla de 80 μm de 12 a 35%	I _p < 10			B ₅
			I _p > 10			B ₆
Suelos que tienen finos y algunos elementos gruesos	D > 50 mm Pasa la malla de 80 μm > 5%	Pasa la malla de 80 μm elevado.			C ₁	
		Pasa la malla de 80 μm débil	D < 250 mm		C ₂	
			D > 250 mm		C ₃	
Suelos y rocas insensibles al agua.	Pasa la malla de 80 μm < 50%	D < 50 mm	Retenido en 2 mm inferior a 30%		D ₁	
			Retenido en 2 mm superior a 30%		D ₂	
		50 mm < D < 250 mm			D ₃	
		D > 250 mm			D ₄	
Rocas evolutivas.	Materiales con estructura fina, frágil con poca o sin arcilla.				E ₁	
	Materiales con estructura gruesa, frágil con poca o sin arcilla.				E ₂	
	Materiales evolutivos arcillosos.				E ₃	
Materiales putrefactos, combustibles solubles o contaminantes.					F	

Definición de Normas para Proyecto Geotécnico de Carreteras.

(Propuesta del Instituto Mexicano del Transporte).

RESUMEN

El Instituto Mexicano del Transporte ha presentado una propuesta para mejorar la calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros, de manera que los pavimentos flexibles puedan soportar con un comportamiento adecuado y una mínima conservación, las cargas y volúmenes de tránsito actuales y futuros. Se recomiendan valores para espesores mínimos y valores recomendables para diferentes calidades de materiales en terracerías, subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica.

ANTECEDENTES

Es indiscutible el valor de las Especificaciones Generales de Construcción editadas por la extinta SCOP a fines de los años cincuentas y revisadas en los años posteriores un par de veces hasta llegar a las Normas vigentes, algunas de ellas editadas en 1986. Sin embargo, en cuanto a calidad de los materiales que componen una sección estructural de pavimentos carreteros, no ha habido cambios significativos que mejoren éstos, para que sean adecuados a la realidad actual, en especial los de las capas inferiores.

A la fecha hay carreteras por donde circulan más de veinte mil vehículos diarios, con porcentaje de vehículos pesados hasta de un 40%. Lo anterior provoca que pavimentos bien construídos en su época, a pesar de constantes operaciones de mantenimiento mayor, no sean adecuados en la actualidad.

Se presenta una contribución del Instituto Mexicano del Transporte para mejorar la normativa existente de construcción de carreteras.

Se enfatiza que los valores descritos más adelante aún no constituyen una especificación, sino una guía conveniente para que el sector caminos pueda diseñar y construir pavimentos en los cuales sus capas inferiores sean de una calidad tal que soporten requerimientos actuales y futuros, sin dar ningún problema, evitando así el enorme esfuerzo y gasto de conservación, reduciendo así los trabajos a solo mejorar o restituir la superficie de rodamiento.

PROPUESTA

La propuesta de calidad de materiales se refiere exclusivamente a las capas del cuerpo del terraplén, subrasante, sub-base, base y carpeta asfáltica, analizando valores índice principales. Así mismo se refiere a 5 tipos de obras viales y a 3 diferentes calidades: deseable, adecuada y tolerable.

Se hace notar que las obras viales con TDPA (tránsito diario promedio anual) mayor de veinte mil vehículos, son carreteras de muy alta ocupación que quedarían fuera de la propuesta a tratar, puesto que se considera que requieren un proyecto especial, así como materiales fuera de lo común, como pueden ser las bases estabilizadas y el uso de concretos rolados o hidráulicos.

En cuanto a la calidad del terraplén, se ilustran los cambios propuestos más significativos. Esto es, se limita el porcentaje de finos entre el 30 y 40% máximo, (en la norma actual no se contempla o especifica algún límite). Así mismo se propone reducir el límite líquido de 100% en la norma actual a valores entre 40 y 60%, dependiendo de la calidad a obtener. Por último se sugiere que el porcentaje de compactación se incremente a 95%, con una tolerancia de más --

menos 2%.

En cuanto a la capa subrasante, se propone restringir el porcentaje de fi nos a 25%, 35% y 40% máximo, en tanto que en la norma actual tal valor no se - especifica. Se propone reducir el límite líquido de un 100 a 30, 40 y 50%. Se sugiere incrementar el porcentaje de compactación de 95% en la norma actual a 100%, con una tolerancia de más menos 2%. Por último, se recomienda exigir más del 10% del valor relativo de soporte incrementándolo a 15, 20 y 30%, según la calidad que se desee obtener.

En lo referente a la capa de subbase, los cambios significativos propues- tos, se refieren a reducir el porcentaje de finos a 15% máximo para calidad de seable, así como restringir el límite líquido y el índice plástico a valores - que permitan reducir la deformabilidad del material. La norma actual no especi- fica valores y en esta propuesta se sugieren los mostrados en la siguiente ta- bla. En cuanto al porcentaje de compactación, para calidad deseable y adecua- da se sugiere incrementarlo a 100% mínimo, versus 95% de la norma actual.

Relativo a la calidad de la capa de base, los cambios propuestos signifi- cativos se refieren a restringir el porcentaje de finos a 10 y 15% máximo, así como exigir el 100% de compactación. Se sugiere también exigir al material un porcentaje de desgaste en la prueba de Los Angeles de 40% como máximo.

Tocante a la carpeta asfáltica, se propone aceptar tamaños máximos de -- agregados mayores; esto es 38 mm versus 25.4 mm actuales. En cuanto al porcen- taje de finos, lo ideal sería que no existieran pero se permite una tolerancia

de 4 y 8% máximo. Se hace notar que en esta capa ya no se recomienda la calidad tolerable.

Por último se muestra en la gráfica una guía de espesores y calidades recomendables estructurando las capas según el tipo de obra vial. Como ya se mencionó al principio, las obras viales especiales quedarían fuera de esta propuesta. Para las obras tipo I a IV se sugieren 40 cm mínimo como espesor subrasante, 15 cm para subbase y 20 cm para base, variando obviamente las calidades deseable, adecuada y tolerable dependiendo de la importancia de la obra.

En cuanto al espesor de la carpeta se recomienda un mínimo de 7 a 10 cm para obras tipo I, y 5 cm para obras tipo II, haciéndose notar que espesores mayores pueden ser necesarios en virtud de la vida útil esperada y de las solicitaciones y cargas actuales.

COMENTARIOS.

- 1.- Dificilmente puede esperarse que las obras viales especiales queden bien resueltas con capas de materiales tradicionales, del estilo de los tratados en este trabajo. Se piensa que ese tipo de caminos requiere capas tratadas robustas o la utilización de pavimentos de concreto.
- 2.- La utilización de los materiales de los diferentes niveles de calidad, no debe verse como un criterio rígido por parte de ningún proyectista; combinaciones razonables pueden conducir a diseños muy adecuados, minimizando costos. El criterio general que se propone, es que los riesgos del proyecto en carreteras con especial énfasis en las más importantes, se minimicen en las capas profundas, al objeto de evitar acciones de conservación de

naturaleza tal que deban considerarse como reconstructivas, con un alto costo.

- 3.- La presencia de finos plásticos es uno de los indicadores más seguros de un futuro mal comportamiento de cualquier capa térrea. Valores tan altos como LL=100%, actualmente tolerados, deben verse como inadecuados y restringirlos a los propuestos.
- 4.- Como consecuencia de lo anterior, la incorporación de materiales finos a otros suelos "con vistas a facilitar su compactación", debe verse como una práctica siempre indeseable; el procurar que los finos que se añaden no sean de naturaleza plástica, no constituye una garantía, dadas las realidades de los materiales térreos y los procedimientos de control de construcción pesada.
- 5.- La compactación, cuyas virtudes no se discuten, suele transformarse en una técnica de resultados altamente contradictorios cuando se aplica en exceso a materiales con susceptibilidad (aunque sea pequeña) a los cambios volumétricos causados por absorción o pérdida de agua. El balance entre la naturaleza de los materiales y la compactación debe verse como un factor esencial al proyecto.
- 6.- El subdrenaje debe verse como un conjunto de técnicas de gran eficiencia, independientemente de que su uso se haya restringido en el pasado más de lo que sería deseable.
- 7.- Por último, se piensa que las carpetas tradicionales utilizadas en la red actual tienen espesores proclives a la fatiga. Es dudoso que en caminos de alto tránsito, algún soporte térreo de dichas carpetas logre evitar su rápido deterioro. Las soluciones a estos problemas son bien conocidas por los proyectistas, pero se desea enfatizar el hecho de que las carpetas muy flexibles (riegos) deben trabajar bien en carreteras con cierta defor-

bilidad, siempre que los niveles de tránsito no sean demasiado altos; si lo son, y el proyectista se orienta hacia una solución con carpeta de concreto asfáltico, los espesores requeridos no podrán ser menores de 12 a 15 cm, si se desea una vida útil razonable. Obviamente estos hechos abren un amplio abanico de posibilidades de proyecto poco utilizados aún en la red nacional.

8.- Como se ve en esta propuesta, se inicia un criterio para llevar los diseños comunes a catálogos de amplia cobertura.

ANEXO DE TABLAS.

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL
 INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

CALIDAD DESEABLE	(Optima)
CALIDAD ADECUADA	(Intermedia)
CALIDAD TOLERABLE	(Mínima aconsejable)

OBRAS VIALES	TDPA	RED
ESPECIALES	20,000	AUTOPISTAS Y SUB-URBANAS
TIPO I	2,500 - 10,000	AUTOPISTAS Y FEDERAL
TIPO II	500 - 2,500	FEDERAL Y ESTATAL
TIPO III		ESTATAL
TIPO IV		RURAL

TABLA 1

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE TERRAPLEN

CARACTERISTICA	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría (mm)	80% mín < 76 y 95% mín < 200	80% mín < 750	
Tamaño Máximo (mm)	- - -	1000 ó 1/2 es-- pesor del cuer- po.	1500 ó 1/2 es-- pesor del cuer- po.
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	30 máx	40 máx	40 máx
Límite Líquido (LL) (%)	40 máx	50 máx	60 máx
Índice Plástico (IP) (%)	15 máx	20 máx	25 máx
Compactación (%) (AASHTO Est.)	95 mín	95 ± 2	95 ± 2
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	10 mín	10 mín	5 mín
Expansión (%)	3 máx	3 máx	3 máx

TABLA 2

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

CARACTERISTICA	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría Tamaño Máximo (mm)	76	76	76
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	25 máx	35 máx	40 máx
Límite Líquido (LL) (%)	30 máx	40 máx	50 máx
Índice Plástico (IP) (%)	10 máx	20 máx	25 máx
Compactación (%) (AASHTO Est.)	100 mín	100 ± 2	100 ± 2
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	30 mín	20 mín	15 mín

TABLA 3

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE SUB-BASE Y REVESTIMIENTO

CARACTERISTICA	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría Zona Granulométrica	1 - 2	1 - 3	1 - 3
Tamaño Máximo (mm)	51	51	76
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx
Compactación (%) (AASHTO Mod.)	100 mín	100 mín	95 mín (AASHTO Est.)
Equivalente de Arena (%)	40 mín	30 mín	- - -
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín
Desgaste Los Angeles (%)	40 máx	- - -	- - -

TABLA 4

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE BASE

CARACTERISTICA	C A L I D A D	
	DESEABLE	ADECUADA
Granulometría Zona Granulométrica	1 - 2	1 - 3
Tamaño Máximo (mm)	3B	51
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	10 máx	15 máx
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	6 máx
Equivalente de Arena (%)	50 mín	40 mín
Compactación (%) (AASHTO Mod.)	100 mín	100 mín
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	100 mín	80 mín
Desgaste Los Angeles (%)	40 máx	40 máx

TABLA 5

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA
MATERIALES PETREOS DE CARPETA ASFALTICA

CARACTERISTICA	C A L I D A D	
	DESEABLE	ADECUADA
Granulometría Zona Granulométrica	Area entre las curvas	
Tamaño Máximo (mm)	38	38
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	0 - 4 máx	0 - 8 máx
Humedad Natural (W %)	0	1 máx
Indice Plástico (IP %)	0	5 máx
Equivalente de Arena (%)	60 mín	55 mín
Desgaste Los Angeles (%)	30 máx	40 máx
Partículas alargadas (%)	25 máx	50 máx

TABLA 6

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL
 INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

GUIA DE ALGUNAS SECCIONES ESTRUCTURALES
 RECOMENDABLES PARA CARRETERAS

SUBRASANTE		SUB-BASE		BASE		CARPETA ASFALTICA	
ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	CALIDAD

OBRAS VIALES ESPECIALES
 QUEDAN FUERA DE ESPECIFICACIONES GENERALES

OBRA VIAL TIPO I							
40	cm	Deseable	15	cm	Deseable	20 cm	Deseable 7-10 cm Deseable
OBRA VIAL TIPO II							
40	cm	Adecuada	15	cm	Deseable	20 cm	Deseable 5 cm Adecuada
OBRA VIAL TIPO III							
40	cm	Tolerable	15	cm	Tolerable	20 cm	Tolerable Tratamiento con riesgos.
OBRA VIAL TIPO IV							
30	cm	Tolerable	- - -	- - -	- - -	- - -	Revestimiento 15 cm

TABLA 7

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- La infraestructura de vías terrestres constituye el soporte fundamental en la organización territorial de un país. Apoya la distribución regional de la población, permite la explotación de los recursos naturales y el establecimiento de los vínculos económicos, políticos, sociales y culturales de los habitantes del país entre sí y con los de otras naciones.
- En México la red de carreteras desarrollada desde 1925 ha cumplido con las funciones de soporte arriba descritas, ha permitido el desarrollo económico de la nación, pero actualmente una parte de ella se encuentra saturada.
- Las carreteras más transitadas e importantes son las más antiguas, por lo que los materiales, estructuras de pavimento y técnicas constructivas que fueron adecuados al tiempo en que se construyeron ahora resultan insuficientes para las severas cargas del tránsito actual.
- Existe un grave rezago en la conservación de carreteras motivado por restricciones en las inversiones públicas impuestas por la crisis económica en que incurrió el país en la década de los ochentas. Este rezago aunado al crecimiento de los volúmenes de tránsito y de las cargas por eje, ha conducido a un deterioro gravísimo que plantea la necesidad de construir y rehabilitar buena parte de la red.
- Se plantea por lo tanto la necesidad de recuperar la red existente mediante un programa emergente de reconstrucción y un programa permanente de conservación que tome en cuenta las características de la red y las de los vehículos que la usan.
- Por otra parte la inserción de México en un Mercado de Libre Comercio de Nor

- teamérica le obliga a ser más competitivo en los procesos de producción y -- distribución de mercancías. Un factor fundamental para el logro de esa competitividad es contar una infraestructura de transporte que permita la rápida y eficiente distribución de productos en condiciones semejantes a las de los países desarrollados a cuyas economías se integra la economía mexicana.
- Esa red tiene que ser totalmente nueva, puesto que no es factible modernizar la red existente, aún ya después de ser rehabilitada. México requiere en un plazo muy breve de por lo menos 12,000 km de autopistas de cuatro carriles - con especificaciones geométricas y geotécnicas adecuadas a las condiciones - del tránsito moderno.
 - Como el país no cuenta con recursos fiscales suficientes para la construg -- ción de esas autopistas, se ha recurrido a la inversión privada mediante el esquema de Autopistas Concesionadas mediante el cual los inversionistas cong -- truyen y operan una carretera durante un plazo en el cual puedan recuperar - mediante cuotas de los usuarios, el monto de la inversión, los costos de ope -- ración y conservación y sus utilidades. El proyecto ejecutivo sigue siendo - responsabilidad del Estado el cual recuperará el dominio al término de la con -- cesión. Mediante este esquema ha sido posible ya construir 4,000 km de auto -- pistas.
 - Las normas geotécnicas para la construcción y conservación de carreteras en México que datan, prácticamente sin cambio, de 1953, y que en un principio - fueron adaptación de normas AASHTO y ASTM, representaron en su momento un -- avance de la tecnología mexicana y permitieron el crecimiento de una red bá -- sica que une los centros de producción y consumo, en todo el territorio con las fronteras y puertos. Sin embargo, esas normas ya resultan insuficientes para garantizar la calidad de los trabajos que plantean el Programa Nacional de Rehabilitación y Reconstrucción de Carreteras y el Programa de Autopistas

Concesionadas.

- Para la modificación de las normas existe una propuesta del Instituto Mexicano del Transporte que enfatiza la influencia de los aspectos geotécnicos de los materiales en la calidad final de la carretera. Una objeción que frecuentemente se plantea contra esta propuesta, es la de que conduce a secciones estructurales más caras. Sin embargo, para calibrar adecuadamente este aspecto de economía, hay que tomar en cuenta no solamente el costo inicial de las obras sino el costo global, que además del inicial considera los costos de conservación y de operación. En carreteras con altos volúmenes de tránsito se justifican costos iniciales mayores, si mediante ellos se reducen los gastos de conservación y se previenen las interrupciones de tránsito motivadas por acciones de reparación o conservación que ocasionan fortísimos gastos de operación.
- Es evidente que aparte de un proyecto geotécnico correcto y de una selección adecuada de materiales, el éxito de una obra carretera requiere de un aseguramiento de la calidad por parte del constructor y del propietario. En el pasado se malentendía que el control de calidad debía ser llevado por el propietario y sobre todo con fines legales de cumplimiento de contratos. Esta actitud hacía del control de calidad una operación de tipo policíaco que conducía a relaciones tensas entre propietarios y constructores, y finalmente resultaba en muchas ocasiones en obras de mala calidad. Actualmente se tiende a ver el control de calidad como una parte del proceso constructivo que obra en el beneficio económico directo del constructor. Esta situación se agudiza aún más en el caso de las obras concesionadas en las que las deficiencias de calidad al motivar un incremento en los costos de conservación, van en contra directa de los beneficios de concesionario.

- Finalmente, se desea enfatizar que la tecnología de materiales nos proporciona actualmente las herramientas para lograr obras resistentes, funcionales y durables dentro de las limitaciones económicas que se nos imponen.

B I B L I O G R A F I A . -

- Estructuración de Vías Terrestres

Fernando Olivera Bustamante

Editorial CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México)

Primera Edición

México, D.F. , Noviembre de 1986.

- Geología Aplicada.

Ing. Geólogo Juan B. Puig De La Parra.

Edición de febrero de 1979.

México D.F.

- La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres,

Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas.

Volumen I

Ing. Alfonso Rico Rodríguez

Ing. Hermilo del Castillo

Editorial LIMUSA

Quinta reimpresión 1984

México D.F.

- Manual de Mecánica de Suelos

Dirección de Proyectos, Departamento de Ingeniería Experimental

Secretaría de Recursos Hidráulicos

Quinta Edición

México D.F. 1970

- Memorias de la " Reunión Nacional de Vías Terrestres "
"La Integración de Redes, Futuro de la Infraestructura para el
Transporte en México".
Guanajuato, Gto. del 17 al 20 de Junio de 1992.
AMIVT (Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.)
- Normas para Muestreo y Prueba de Materiales, Equipos y Sistemas
Libro 6
Carreteras y Aeropistas
Pavimentos I
Pavimentos II
Materiales para Terracerías
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
México D.F. 1986.
- Opúsculo de ayuda para la Clasificación de las Rocas
Gonzalo Vivar Zifru
Dirección General de Servicios Técnicos
Secretaría de Obras Públicas (SOP)
- Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros
Dimitri P. Krynine,
William R. Judd.
Ediciones OMEGA, S.A.
Barcelona, España. 1961.
Traducción de José María Ríos.

- Recomendaciones para el Movimiento de Tierras en Carreteras.

Tomo 2 "Utilización de Suelos en Terraplenes y Capas de Conformación".

Ministerio de Equipamiento

Estudios Técnicos al Servicio de las Carreteras y Autopistas (SETRA).

Laboratorio Central de Puentes y Carreteras (LCPC).

Francia, Enero de 1976.

- Seminario Internacional " Pavimentos de Concreto Hidráulico ".

" La Normativa Española de Secciones de firme "

" Instrucción 6.1 y 2.1C sobre Secciones de Firme "

Ing. Carlos Jofre Ibáñez

Dr Carlos Kraemer

IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.)

Tomo Enseñanza I.

- Sistema de Clasificación de Materiales Pétreos y Suelos

Dirección General de Servicios Técnicos

S.O.P. (Secretaría de Obras Públicas).

- Transportes Terrestres " Historia de las Comunicaciones ".

J.K. Bridges

SALVAT Editores de México, S.A. e

Instituto Geográfico de Agostini. Novara, Italia 1965.