

41121
38



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN**

**“GENERALIDADES DE CARRETERAS SOBRE
SUELOS BLANDOS”**

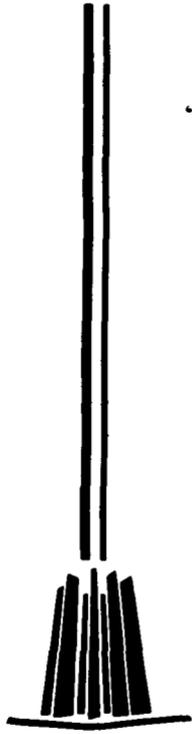
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A:
ROBERTO JESÚS TAVERA GUERRERO

**ASESOR:
ING. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA**

MÉXICO

1 TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2003.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias

Al Señor por haber transformado mi vida, por permitir la conclusión de esta etapa, por ser lo más importante para mi.

El Señor me pastoreará siempre y en las sequías saciará tu alma y dará vigor a tus huesos, serás como huerto de riego y como manantial de aguas.

Isaías 58:20-12

A mi esposa Gabriela:
Por su apoyo y comprensión.

A mis hijas:
Gaby y Jocabed

A mi madre:
Por su amor incondicional

Al recuerdo de mi padre

A mis hermanos:
Por su cariño

A mis sobrinos:
Gracias Pili

2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A las enseñanzas de mis maestros

A mis compañeros y amigos

A Sarita y Jazmín

A mis hermanos en Cristo

A los pastores Juan Carlos y Vero, Juan
y Velia R.

Y al Ing. Gilberto García Santamaría por
su dirección.

Gracias Todos.

3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

I.	TERRAPLENES	3
II.	USO DE GEOTEXILES EN TERRAPLENES	12
III.	PAVIMENTOS Y OTRAS ESTRUCTURAS	20
IV.	ESTRUCTURAS TERREAS EN CONDICIONES DIFÍCILES DE CIMENTACIÓN	48
V.	CONCLUSIONES	67

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN.

En este trabajo se ilustrarán los problemas o circunstancias que generalmente el estudiante desconoce o incluso el Ingeniero que tiene poca experiencia sobre la temática de carreteras en suelos blandos.

También se mencionará que cada proyecto es diferente, porque nunca van a ser igual las condiciones en cada uno de los diferentes tramos, primero por la topografía y complementada por el comportamiento de los suelos.

El proyectista acumula toda la información posible para considerar la mejor opción de las posibles alternativas del proyecto ejecutivo, la cual debe reunir las siguientes consideraciones a saber; económica, técnica, ecológica, ambiental, tiempo de ejecución, durabilidad de la obra, el mantenimiento, etc.

Pero aún con todas las consideraciones técnicas en casi todos los proyectos carreteros existen cambios o modificaciones al proyecto original; Este es el caso de los proyectos carreteros sobre suelos blandos por la diversidad de contenidos de materiales orgánicos, turbas, arcillas, etc; presentan un reto diferente en construcción, operación, conservación y mantenimiento.

La construcción de caminos y autopistas es una de las necesidades básicas para el desarrollo económico y turístico del país. En los dos últimos sexenios, existió un auge carretero, donde se construyeron varios proyectos importantes que renovaron las comunicaciones en la República Mexicana. El Centro y Sur del país están asentados sobre suelos blandos y en lugares de gran precipitación pluvial, durante varios meses del año.

1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es importante mencionar que existe una diversidad de problemas al realizar estos proyectos, pues se trata de utilizar la mejor opción técnica-económica; para llegar a la decisión final del Diseño.

La construcción sobre suelos blandos tiene sus inconvenientes, ya que no es recomendable construir sobre estas zonas. La velocidad en la construcción de estos proyectos por ser compromisos de diversos niveles de gobierno con la comunidad, viene a ser otro de los inconvenientes en este tipo de terrenos. El agua juega un papel fundamental en la ejecución de las obras de esta naturaleza, pero construir sobre ella representa, un problema con soluciones técnicas sofisticadas muy complicadas que mencionaremos en este trabajo.

I.- TERRAPLENES

EL TERRENO NATURAL

El terreno natural se define como la franja de terreno incluida en el derecho de vía, cuyo estado de esfuerzo original resulta afectado por la construcción de la obra vial y que recibe las cargas de tránsito distribuidas a través de la estructura.

En general, cuando la resistencia del terreno natural es mayor que 1 Kg. / cm² y los terraplenes o cortes no son mayores que 3 m., el comportamiento de la estructura es adecuado. Sin embargo, cuando no se tienen estas condiciones se requiere ejecutar estudios de mecánica de suelos relativos a resistencia y deformación, mediante pruebas triaxiales y de consolidación, así como estudios de estabilidad de los taludes. De todas formas, es conveniente que una vez aceptada la ruta por donde se construirá la obra se realicen estudios geológicos, de mecánica de suelos, hidráulicos e hidrológicos para hacer un mejor proyecto y ejecución de la construcción. Estos estudios se particularizan a medida que avanzan los trabajos, de la manera como se indica en los siguientes párrafos:

PROYECTO GEOMÉTRICO

Cuando se decide llevar a cabo una obra vial se elige la ruta, que es la franja de ancho variable donde procede construir la obra, ya sea carretera, vía férrea o pista de aeropuerto. Al inicio de los estudios, el ancho de la ruta sea quizá de varios kilómetros, pero al final, cuando se tienen los planos definitivos, es igual al derecho de vía, que será la franja de terreno final necesaria para construir, conservar y en su caso ampliar la obra.

Después de elegir la ruta, se procede casi siempre a realizar el anteproyecto, que consiste en los levantamientos topográficos y en estudios de gabinete para obtener el mejor diseño posible. Por último, en el proyecto definitivo se afinan los detalles del proyecto geométrico, se efectúan los estudios de curvamasa y acarreo de materiales, y se estudian los drenajes mayor y menor, superficial y subterráneo. En todas estas etapas es preciso hacer estudios geotécnicos de la magnitud que requiera.

En la elección de ruta, los principales estudios geotécnicos que se llevan a cabo corresponden a la geología de la zona que se abarca. Por ello un ingeniero geólogo, junto con otros ingenieros de otras especialidades, realizará reconocimientos aéreos altos y bajos para recopilar los datos correspondientes. También, con base en fotografías aéreas, datos obtenidos en los recorridos ya indicados y observaciones directas, se efectúa una fotointerpretación que conduce a planos geológicos detallados, en los cuales se indican los tipos de rocas y suelos, echados de los estratos, fracturas, fallas e hidrografía. Asimismo, se redacta un informe en el que se da una opinión, desde el punto de vista geológico, sobre la factibilidad de construir la obra y se marcan las zonas que representan menos problemas.

En la etapa de anteproyecto, los estudios geotécnicos son más detallados y en estos intervienen ingenieros especialistas en geología, hidrología y mecánica de suelos, quienes se familiarizan con la franja en estudio y asesoran a los ingenieros que realizan los proyectos geométricos para cruzar por las zonas que presenten menos problemas. Las decisiones se tomarán con base en estas recomendaciones y en estudios de carácter económico, en los que es de vital importancia el tipo de obra que se habrá de realizar, ya sea que se trate de aeropuertos o carreteras y si estas últimas serán alimentadoras, secundarias o autopistas.

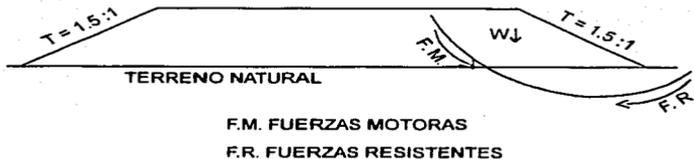
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la etapa del proyecto definitivo, los estudios geotécnicos ya son de carácter particular y se hace un recorrido detallado de la línea proyectada, además de sondeos y, si es necesario, estudios geofísicos para conocer la estratigrafía de la franja; se deben conocer también los espesores de las capas; la clasificación de los materiales, tanto en el aspecto geotécnico como para pago; los coeficientes de variación volumétrica para el estudio de los acarreos y la capacidad de carga del terreno para incrementar obras de drenaje mayores y menores. En los lugares donde sea necesario, se recomendará construir drenaje subterráneo y se harán los estudios de estabilidad de taludes que se requieren para que la obra sea estable.

TERRAPLENES EN SUELOS BLANDOS

En México se han seguido diferentes prácticas para evitar fallas de talud y asentamientos cuando se construyen terraplenes en suelos blandos, pues es posible que se presenten fallas de talud que los afecten parcialmente. Lo anterior se debe a que las fuerzas resistentes son menos que las fuerzas actuantes. Estas últimas se deben al peso del terraplén y las primeras a la resistencia, o sea al esfuerzo cortante del terreno natural y del terraplén. Tendido de talud y construcción de bermas

FIGURA 1



DESlizAMIENTO DE TALUD EN UN TERRAPLÉN W= PESO DE LA CUÑA; F.M.=FUERZAS MOTRICES; F= FUERZAS RESISTENTES

Para evitar que se presente la falla de talud, en primer lugar puede tenderse, para aumentar las fuerzas resistentes, o sea, el peso de la cuña que se adiciona debe oponerse al deslizamiento del material.

Sin embargo, el peso de la parte superior de esta cuña puede disminuir la eficiencia de la solución porque aumenta las fuerzas motrices. Así, de acuerdo con los estudios de círculo de falla, basados en alguna de las teorías usuales en mecánica de suelos, una mejor solución es construir una berma.

FIGURA 2

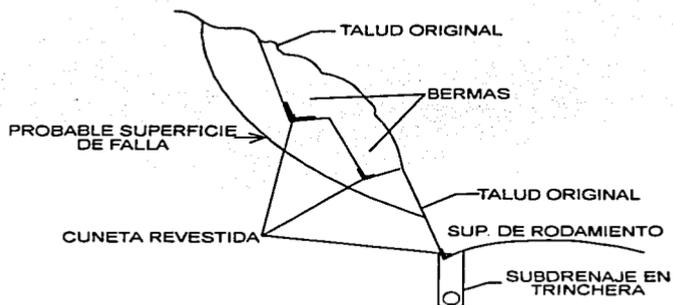


CONSTRUCCIÓN DE UNA BERMA PARA EVITAR LA FALLA DE TALUD

A fin de que en las paredes de los cortes no se presten fallas del talud, puede utilizarse la primera solución indicada para terraplenes: aumentar el talud. Sin embargo, también es factible construir bermas, aunque en este caso se hace un corte en la parte superior de la pared en vez de realizar un relleno, con el fin de disminuir los esfuerzos actuantes.

Para ello debe haber un buen drenado y por lo mismo es preciso construir una cuneta que descargue en forma adecuada, pues de otra manera la berma será totalmente ineficaz y hasta contraproducente porque propiciará una mayor infiltración del agua de lluvia, con lo que puede disminuir aún más la resistencia del suelo al esfuerzo cortante.

FIGURA 3

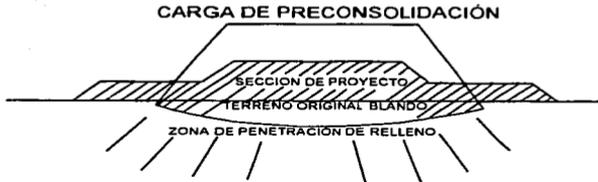


CONSTRUCCION DE BERMAS EN CORTES PARA EVITAR LA FALLA DEL TALUD

PRECONSOLIDACIÓN DEL TERRENO NATURAL

Otra solución en terraplenes es provocar una preconsolidación del terreno natural y aumentar su resistencia. Para ello, sobre la franja de terreno blando donde se construirá la obra se coloca un volumen de material mayor necesario y se deja el mayor tiempo posible, incluso por varios años. Al cabo de este tiempo se retira el volumen excedente y se deja la sección de proyecto; con el material sobrante se construyen las bermas que con seguridad, también se habrán de requerir para asegurar la estabilidad del terraplén. Durante el tiempo en que el volumen de material mayor que el de la sección transversal de proyecto permanece sobre el terreno natural, éste sufre una consolidación y por tanto, un aumento en su resistencia, con lo que mejora el comportamiento de la obra.

FIGURA 4



PRECONSOLIDACIÓN PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA DEL TERRENO NATURAL

USO DE TELAS PLÁSTICAS

Al construir terraplenes sobre suelos blandos como fondos de lagos antiguos, lugares pantanosos y zonas de inundación, es usual que parte del material de relleno se incruste e incluso sea de un volumen muy grande. En últimas fechas, para reducir este volumen se han utilizado telas plásticas que se colocan sobre el terreno natural desmontado. Con esto la reducción es de un 60% y también disminuyen las deformaciones posteriores.

Esta técnica, en combinación con otras ya mencionadas, se ha utilizado en la construcción de los accesos a diferentes puentes, como el Coatzacoalcos II en el Sur del Estado de Veracruz.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UTILIZACIÓN DE PLANTILLAS DE SUELO ESTABILIZADO Y RÍGIDAS

Para aumentar la resistencia del terreno natural, en las avenidas y calles de las zonas habitacionales que se construyen cerca de la Ciudad de México, sobre el Lago de Texcoco, se excava una caja en el terreno natural y se hace una plantilla con alguna de las siguientes variantes:

suelo estabilizado con cal o cemento Pórtland.

concreto hidráulico de 100 Kg. / cm².

concreto hidráulico de 100 Kg. / cm² con malla de acero.

Sobre esta plantilla se coloca un material para construir la capa subrasante, que casi siempre es un "tepetate" silicoso, y se construye el pavimento sobre ella. Los 3 procedimientos son eficaces, pero el primero es el más económico.

TERRAPLENES FLOTANTES O POR COMPENSACIÓN

La construcción del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, localizado sobre terrenos disecados del Lago de Texcoco, se inició hacia 1925 con técnicas tradicionales, sin tomar en cuenta la consistencia del terreno natural. Por esta razón, es lógico que la mayor longitud de sus pistas haya sufrido fuertes deformaciones y, por tanto, se realizan trabajos constantes de renivelación. Sin embargo, a últimas fechas se ha empleado un procedimiento denominado de terrapién flotante o de compensación de peso. Este procedimiento consiste en abrir una caja de 1.5 m a 2 m de profundidad a lo largo y ancho de la zona en que se ampliará la pista y se rellena con un material ligero, de tal manera que su peso más el del pavimento se acerque al peso del material extraído.

La caja y el relleno se hacen a lo ancho por franjas salteadas, a fin de disminuir los problemas de fallas de fondo y bombeo de agua que brota. El material ligero llamado "tezontle", cuya densidad varía de 0.7 a 1.2, se coloca en el 70% del ancho excavado, en la parte central. Las partes extremas correspondientes al 30% restante se rellenan con grava – arena densa, proveniente de un depósito de mina. Así se uniformizan las deformaciones transversales, pues si sólo se utilizara el material de baja densidad se tendría una deformación perjudicial hacia el centro. Por lo anterior, las pistas construidas con este procedimiento se han comportado muchísimo mejor que el resto.

DESALOJO DE MATERIALES SATURADOS

Para resolver esos problemas se aplican otros procedimientos, como desalojar el material blando de diferentes formas, por ejemplo extrayéndolo por medio de palas y dragas. Otro método muy utilizado en zonas pantanosas es retirar el material mientras avanza el relleno, después de hacer explotar pequeñas cargas de dinamita.

Es común emplear estos procedimientos en forma combinada para obtener los mejores resultados posibles. Sin embargo, también se requieren pruebas triaxiales y de consolidación, así como los estudios de mecánica de suelos para elegir la mejor solución.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II.- USO DE GEOTEXILES EN TERRAPLENES

ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, se han colocado materiales naturales como pieles o fibras vegetales sobre los suelos muy blandos, para reforzarlos y evitar la incrustación de materiales de préstamo en la construcción de caminos, bordos, chinampas, etc. El empleo de telas con estos fines se inicia en el presente siglo, en la década de los años 60's y los primeros textiles fabricados específicamente para obras de ingeniería aparecen a principios de los años 70's; se adoptan entonces los términos geotextil y geomembrana como denominación de materiales elaborados con polímeros que se emplean en geotecnia.

A partir de los años 80's se desarrollan las georedes, las geomallas y los geodrenes, productos que representan la segunda generación de geosintéticos y que fueron diseñados para satisfacer necesidades particulares en obras realizadas en todo el mundo.

Durante estas dos décadas, la práctica se adelantó a la teoría, por la variedad y cantidad de obras en las que se usaron geoproductos con base en métodos semiempíricos de cálculo. Como toda nueva tecnología, los geosintéticos solamente pueden lograr credibilidad y respetabilidad a través de un proceso largo y laborioso consistente en numerosos estudios teóricos y experimentales, tanto en el campo como en el laboratorio, hasta que se defina progresivamente una metodología racional de diseño. Debe reconocerse que la mayor parte de los productos disponibles se encuentran todavía en esta etapa.

Los geotextiles son materiales de construcción flexibles y permeables a los fluidos, capaces de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros, que han sido diseñadas y fabricados para trabajos de Ingeniería civil.

Las geomembranas son recubrimientos sintéticos impermeables a fluidos y partículas, que se utilizan en Ingeniería geotécnica.

Se denominan "productos relacionados" aquellos similares a los geotextiles o a las geomembranas, que no se apeguen a las definiciones anteriores.

Estos tres tipos de materiales forman la familia de los geosintéticos.

Han surgido palabras de nuevo cuño para nombrar estos productos como geocompuestos, geopaneles, encapsulados, geobloques, geotubos, georedes mono y biorientadas, geoceldas, geomatrices y biomatrices. Las metodologías de diversas áreas deben combinarse para estudiar el comportamiento conjunto de los geosintéticos y de los suelos. Especialistas en mecánica de suelos, químicos y biológicos, ingenieros textiles y expertos en sofisticadas técnicas de medición deben laborar en equipo para comprender mejor la interrelación entre materiales plásticos y naturales y para elaborar nuevos productos, teorías de diseño, pruebas de control y toda la metodología de aplicación necesaria para la revolución que ha producido la utilización de productos sintéticos en obras de Ingeniería.

Destaca en estas innovaciones tecnológicas, el esfuerzo realizado por los técnicos que en forma primordial han participado en este campo, los geotecnistas y los químicos en polímeros, que se han dedicado con especial atención a conocer y comprender el área de conocimientos del otro especialista. De esa manera ha surgido una nueva especie de expertos, los especialistas en geosintéticos,

conformada por los Ingenieros en mecánica de suelos que utilizan estos materiales y los químicos en polímeros, que desarrollan nuevos y mejores materiales.

En regiones naturales denominadas "selva baja" donde el clima es de tipo ecuatorial o de tipo monzónico, la construcción de carreteras tiene como limitante el bajo poder de soporte de los suelos en estado húmedo, lo cual es una característica común debido al elevado régimen pluvial. Suelos de este tipo se encuentran en la Planicie Costera del Sureste de México, al sur del Estado de Veracruz donde existen zonas de pantano y arcillas altamente compresibles.

Debido al desarrollo industrial de la región arriba citada, motivado por la extracción del petróleo y la subsecuente petroquímica fue necesario modernizar las redes carreteras ya existentes para crear una infraestructura vial que hiciera posible la adecuada explotación de los campos y que incorporara social y económicamente al Sureste de la República al resto de la Nación.

Para lograr esa comunicación es necesario cruzar el Río Coatzacoalcos para lo cual se construyó un nuevo puente con mejores características que uno ya existente. Para el nuevo cruce fue necesario construir sus accesos carreteros, los cuales tienen aproximadamente 15 Km en cada margen; el acceso de la margen derecha se desarrolla sobre terreno firme y el de la izquierda atraviesa una zona pantanosa de 7 km de longitud con tirante permanente de agua del orden de 0.50 m. en la construcción de este tramo se colocó un geotextil en la interfase terraplén terreno de cimentación. Esto último representa la primera aplicación de México de geotextiles como método de estabilización de suelos tales como turbas y depósitos fluvio-lacustres para favorecer la construcción de carreteras en dichas áreas. Esta experiencia fue desarrollada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de la Dirección General de Carreteras Federales.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

La zona donde se desarrolla la carretera se conoce fisiográficamente como Planicie Costera del Golfo e México. En la margen derecha del Río Coatzacoalcos, al Oriente y Poniente, existen lomeríos en las estribaciones de la sierra, constituidos por lutitas, areniscas y conglomerados alterados. En la margen izquierda se forma una extensa llanura de inundación constituida por depósitos de arcillas limosas con abundante materia orgánica de gran espesor, que suprayacen a formaciones resistentes del Terciario; al Norte, la llanura se encuentra delimitada por un cordón litoral conformado por médanos sobre los que está ubicada la ciudad de Coatzacoalcos.

DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO

El diseño del terraplén se apoyó en el estudio de mecánica de suelos en que se determinaron las propiedades índice y mecánicas del subsuelo. Del análisis de estabilidad se observó la necesidad de utilizar bermas para evitar la falla por flujo plástico, ya que la rasante de proyecto estaba condicionada por el nivel de aguas máximas extraordinarias del Río Coatzacoalcos, lo que implicaba una altura promedio del orden de 2.60 m sobre la superficie del terreno natural. Los asentamientos totales del camino se consideraron integrados por la incrustación del terraplén, por los hundimientos debidos a consolidación primaria y secundaria y a la posible compactación de los estratos arenosos sueltos al sobrevenir fuerzas vibratorias. Otro punto importante considerado en el diseño fue el antecedente constructivo que se tenía de la carretera Minatitlán-Coatzacoalcos, actualmente en servicio, tuvo un comportamiento deficiente al inicio de su operación y hubo que gastar mucho dinero en su conservación; durante la construcción de dicho tramo se presentaron "bufamientos" importantes del estrato orgánico a ambos lados del

terraplén lo que implicaba grandes volúmenes de material incrustado para la formación de la plantilla de trabajo, ya que se buscaba desplazar grandes volúmenes de turba para lograr el equilibrio de la sección flotante.



FOTO 1.- Se puede observar a los costados del camino en construcción el material desalojado por la presión del terraplén confinado por el geotextil.

Actualmente seguir este procedimiento hubiese resultado muy costoso ya que en la zona hay escasez de material de construcción y las distancias de acarreo a los bancos de suministro son cada vez mayores lo que encarece mucho los precios. Esto último, aunado a los antecedentes técnicos ya citados condujeron a adoptar una técnica que mejorará las condiciones e la cimentación y disminuyera los volúmenes de material incrustado con el correspondiente beneficio económico.

Para la construcción de la carretera se proyectaron terraplenes de sección flotante con bermas, ancho de corona de 22.50 m. para cuatro carriles de circulación, camellón central de 1.20 m. y acotamientos. La sección estructural quedó integrada e la siguiente manera:

- a. Geotextil en la interfase capa de incrustación-subsuelo.
- b. Capa de incrustación depositada directamente sobre el geotextil y plantilla de trabajo compuesta por grava arena con 10% de finos.
- c. Cuerpo de terraplén y capa subrasante, formadas por arenas arcillosas, compactadas al 95% y 100% respectivamente, de la prueba Proctor Modificada. La última capa tiene un espesor de 0.30 m.
- d. Pavimento: carpeta de concreto asfáltico de 0.70 m, base mejorada con cemento Pórtland de 0.20 m, y sùbase de 0.15 m, de espesor.
- e. Bermas construidas por el mismo material de terraplén pero colocado por el procedimiento de bandeo.

Las hipótesis adoptadas por el uso de geotextil, fueron las siguientes: cuando se trabaja con suelos blandos específicamente en la construcción de carreteras con material de banco, existe una penetración de este último en el subsuelo, que está en función del máximo esfuerzo transmitido al suelo en su frontera con el agregado.

Cuando la profundidad de incrustación crece, la membrana que está prácticamente anclada con la fracción con el material que se coloca encima, se desplaza hacia abajo y se elonga quedando un plano inclinado, lo que le permite

absorber por tensión parte del esfuerzo vertical que le trasmite el relleno. Bajo estas circunstancias el grado de penetración decrece cuando el esfuerzo con el geotextil aumenta, hasta llegarse al estado de equilibrio, cuando aumentan progresivamente las cargas. Al llegarse a esta última etapa ya se ha formado una sección transversal homogénea y se ha logrado consolidar parte del estado de turba. Todos estos mecanismos contribuirían a una metodología sencilla y económica, (Lal y Robnett, 1980).

FIGURA 6

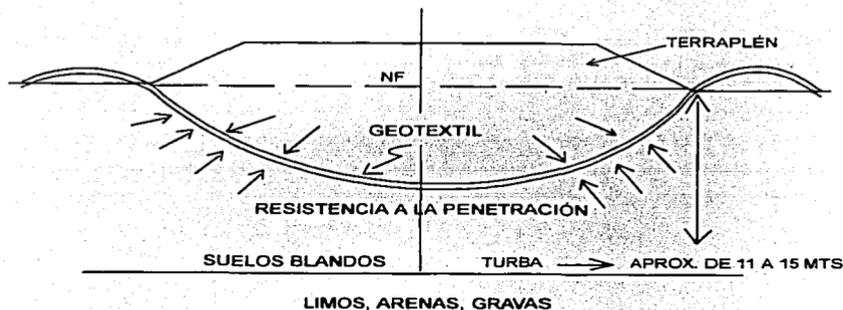
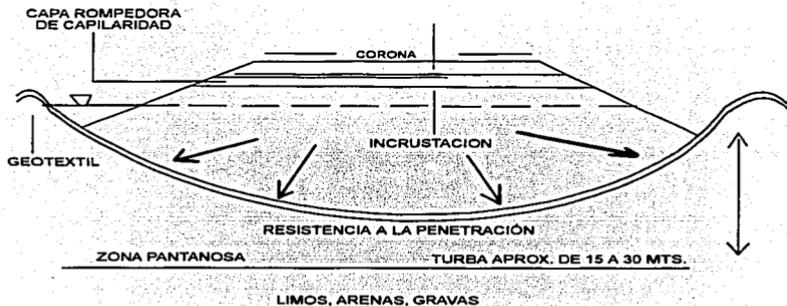


FIGURA 7



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III. PAVIMENTACIÓN Y OTRAS ESTRUCTURAS

BREVE RESEÑA HISTÓRICA

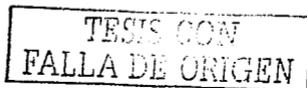
El asfalto es uno de los materiales más antiguo que se conocen. Se han encontrado esqueletos intactos de animales prehistóricos en depósitos superficiales de asfalto, como el que existe en La Brea, cerca de los Ángeles, California.

Recientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso del asfalto en los valles de Mesopotamia y del Indo, entre los años 3200^a540 AC. ; como un material cementante para la construcción de mamposterías y de caminos, Y como impermeabilizante para baños en los templos y otros depósitos de agua. Se dice que Noé lo usó para calafatear su arca y que también se empleó para sellar la canasta en que Moisés, siendo niño, fue depositado en las aguas del Nilo.

Por el año 300 AC los egipcios utilizaban ampliamente el asfalto para los tratamientos de preservación y momificación de sus muertos. Los indios de América lo empleaban para impermeabilizar sus canoas, antes de que el hombre blanco llegara al nuevo continente; en México, los totonacas de la región de Papantla lo recogían de las aguas para utilizarlo como medicina y como incienso para sus dioses y ritos; algunas tribus que habitaron en las costas mexicanas lo masticaba para limpiar y blanquear su dentadura.

En el año de 1802 de nuestra era, se usó asfalto de roca en Francia para el terminado superficial de pisos, puentes, y banquetas.

En 1838 se utilizó asfalto de roca importado para la construcción de banquetas en Filadelfia, Estados Unidos y en 1870 se colocó el primer pavimento asfáltico en



dicho país, en la población de Newark, Nueva Jersey, por el químico Belga E. J. Desmet, que usó roca asfáltica importada del valle del Ródano en Francia. En 1876 se aplicó la primera capa de mezcla asfáltica con arena en la Ciudad de Washington, D. C., utilizando la roca asfáltica mencionada y también asfalto importado del Lago Trinidad cerca de Venezuela.

Los asfaltos empleados en estos primeros trabajos de pavimentación fueron desde luego asfaltos naturales, es decir, asfaltos que se muestran en la naturaleza en forma de yacimientos y que se podían explotarse sin dificultad y sin requerir complicadas operaciones industriales para su preparación.

El uso de asfalto procedente de la destilación del petróleo se inició en los Estados Unidos en la segunda mitad del s. XIX, contándose con las primeras refinерías por el año de 1886. El primer pozo petrolero en América se perforó en 1859, cerca de la población de Titusville, Pensylvania. En 1902 ya se produjeron del orden de 20,000 toneladas de asfalto como producto de la refinación de petróleo.

A partir del año de 1926, con el desarrollo de la industria automotriz debido a la necesidad de contar con mejores caminos y calles para el tránsito de vehículos la utilización de asfalto derivado del petróleo ha tenido un aumento anual sostenido en todas partes del mundo, sobre todo en los países industrializados.

En México, el uso generalizado del asfalto se inició por el año de 1925 al emprenderse la construcción de los primeros caminos pavimentados, como años atrás existían ya empresas extranjeras que explotaban y exportaban grandes cantidades de petróleo crudo de nuestro país, en el que la exploración petrolera comenzó en forma incipiente a partir de 1900, haciéndose en forma sistemática y organizada a partir de 1942. En el año de 1914 se usaron en Estados Unidos más

de 300,000 toneladas de asfaltos, procedentes de crudos mexicanos. El primer pozo petrolero propiamente dicho se perforó en México en mayo de 1901, en la región de El Ébano, S. L. P.

ORIGEN DEL ASFALTO.

TEORÍAS AL RESPECTO

Hemos mencionado anteriormente que las fuentes de donde procede el asfalto son los depósitos naturales y el petróleo crudo; de este se extrae después de obtener las fracciones volátiles sometiendo a refinación o destilación. Puesto que los asfaltos naturales provienen de un proceso natural de destilación o transformación del petróleo, lo que realmente estaría en discusión es el origen del propio petróleo.

No se sabe exactamente como se formó el petróleo en el subsuelo. Las teorías sobre su origen son muchas y aún se siguen discutiendo hasta la fecha. Algunos investigadores defienden el origen mineral o inorgánico del petróleo y explican su formación de diversas maneras como las siguientes:

- A) Bajo la superficie terrestre existen carburos metálicos que en contacto con el agua se descomponen produciendo hidrocarburos, los que al condensarse en estratos superiores más fríos dieron lugar al petróleo.
- B) Los metales alcalinos se encuentran en estado libre en el interior de la tierra reaccionan con el bióxido de carbono a altas temperaturas, y estas reacciones, en contacto con el agua, producen los hidrocarburos que constituyen al petróleo.

Otros investigadores se inclinan por el origen orgánico del petróleo, sosteniendo que proviene de la descomposición de residuos de animales y vegetales que se

han transformado en aceite. Este origen se estima más razonable al comprobarse que los estratos en que se ha formado el petróleo no han estado nunca a temperaturas superiores a los 38° C, lo que se descarta la teoría del origen inorgánico, ya la obtención a partir de carburos metálicos requiere temperaturas mucho más elevadas.

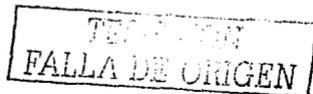
Los estudios recientes hechos en el laboratorio analizando rocas petrolíferas de campos productores, parecen confirmar un origen orgánico, ya que se han encontrado en ellas ciertas propiedades ópticas que sólo se localizan en sustancias orgánicas; por otro lado, el contenido de nitrógeno y otras sustancias en el petróleo, solamente puede proceder de materiales orgánicos.

También puede confirmar el origen orgánico, el hecho de que la mayor parte de los yacimientos de petróleo en el mundo se localizan en lugares que fueron ocupados por lagos y mares hace millones de años.

PAVIMENTOS FLEXIBLES

1.- Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida (s) entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el tránsito expedido de los vehículos con la comodidad, seguridad y



economía previstos por el proyecto. La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que puede estar formado por una sola capa o, más continuamente, por varias y, a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos, su superficie de rodamiento propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados. De hecho, la actual tecnología contempla una gama muy diversa de secciones estructurales diferentes y elegir la más apropiada para las condiciones específicas del caso que se trate no es, por cierto, la tarea más sencilla que se enfrenta el especialista.

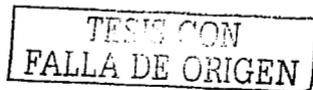
De un modo bastante arbitrario y con fines fundamentales prácticos, los pavimentos se dividen flexibles y rígidos. Sin embargo, la rigidez y la flexibilidad que un pavimento exhibe no es fácil de definir tan adecuadamente como para permitir una diferenciación precisa entre uno y otro tipo de pavimento; es hasta cierto punto materia de juicio al precisar qué tan rígido puede ser un pavimento flexible o qué tan flexible puede llegar a ser un pavimento rígido.

Aún cuando de lo anterior puede desprenderse que los términos empleados para distinguir un pavimento de otro no son del todo adecuados, su uso ha sido tan ampliamente difundido que se considera conveniente conservarlos. Por otra parte, la cuestión resulta un tanto bizantina si se toma en cuenta que muy rara vez surgirá por ella una confusión importante en la comunicación práctica. El hecho en que los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en cómo distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidos por los vehículos a

las capas inferiores, lo que quizá constituirá un criterio de clasificación más acertado.

Es evidente que la superficie terrestre no ofrece jamás las condiciones de rodamiento que exigen los modernos medios de transporte. Ello es cierto aunque se dé al adjetivo moderno un alcance muy retroactivo en el tiempo. A medida que los vehículos evolucionaron en peso, velocidad, comodidad y autonomía, se fue creando la necesidad de proporcionarles una pista de circulación con unas condiciones de curvatura, pendiente, visibilidad, sección transversal, uniformidad, textura, etcétera, apropiadas a una demanda de operación cada vez más exigente. Las ideas anteriores condujeron a la construcción de terracerías y condicionaron su evolución. Obviamente la superficie de las terracerías debería ofrecer condiciones de rodamiento apropiadas y confortables al volumen creciente de vehículos cada vez más rápidos y pesados. Por razones económicas que saltan a la vista, en la construcción de terracerías se impone el empleo de los materiales inmediatos a ellas; esto llevó desde un principio a la utilización de suelos y fragmentos de roca. Las superficies de rodamiento obtenidas directamente como remate de las terracerías, formada sólo por materiales naturales pétreos, sólo resuelven los problemas derivados de la presencia del tránsito moderno si éste es realmente muy pequeño. Aun seleccionando los materiales térreos o los fragmentos de roca más apropiados y aún tratándolos mecánicamente (compactación) no se logra una superficie de rodamiento adecuada de operación durante un cierto tiempo, pero no se ha logrado hasta hoy dar a tales condiciones la debida permanencia cuando los volúmenes de tránsito excedan de los mínimos a considerar, los cuales, por otra parte abundan bastante en muchos países de desarrolla industrial aún limitado.

En consecuencia debe establecerse claramente una primera distinción en lo que a consideración de la superficie de rodamiento se refiere. En caminos de muy escaso



tránsito (a veces se ha dicho de menos de 200 vehículos diarios), las razones económicas impondrán el uso de superficies de rodamiento de bajo requerimiento, formadas por fragmentos de roca o mezclas de éstos con suelos (revestimientos), bien seleccionados y compactados; será posible así obtener una superficie de bajo costo que pueda proporcionar durante algún tiempo condiciones apropiadas de transitabilidad, con tal de que la reconocida susceptibilidad de estos materiales a la acción del agua se considere debidamente en otros aspectos del proyecto, como podrían ser la pendiente longitudinal y transversal, la curvatura, el drenaje superficial, etc. Convendrá repetir que en muchos países en desarrollo, los caminos de muy bajo tránsito son regla, antes que excepción, por lo que la utilización de soluciones como la anterior debe estar constantemente presente en la mente del proyectista. Este tipo de soluciones puede conducir al establecimiento de una red de transporte adecuada a las verdaderas necesidades sociales y económicas, con tal de que se cumpla con un único requisito: que el nivel tecnológico con que se apliquen sea el más elevado posible, pues es obvio que las soluciones "baratas", quedan menos protegidas "pese" que otras que formen parte de proyectos de muy elevado costo. Desgraciadamente suele suceder lo contrario y el ingeniero dedica mayor atención técnica a las obras de las grandes autopistas que a las de los caminos modestos, con la consecuencia de que se desacrediten sin motivo valedero muchas soluciones simples con las que, en los casos apropiados, podrían lograrse grandes ahorros de inversión.

Independientemente de las líneas de razonamiento anterior, de tanto interés en la ingeniería de las vías terrestres y a las que habrá que hacer ulterior referencia, queda en pie el hecho de que, cuando el nivel de tránsito empieza a tener importancia se hace imperativo recubrir la superficie de las terracerías con una capa que cumpla los siguientes requisitos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Ser estable ante los agentes del intemperismo.
- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Tener textura apropiada al rodamiento.
- Ser durable
- Tener condiciones adecuadas en lo referente a la permeabilidad.
- Ser económica.

Los requisitos anteriores definen una capa de material granular de muy buena calidad, que no es posible obtener en forma del todo natural y cuyas partículas deben estar inclusive ligadas a algún modo artificial. Los suelos naturales cohesivos nunca podrían soportar la acción directa y prolongada del tránsito; los materiales granulares, tal como se encuentran, a pesar de su mayor resistencia potencial ofrecerían una superficie inestable por falta de coherencia.

La capa de que se habla resulta entonces necesariamente de mayor costo que el material de las terracerías y esto hace que los factores económicos adquieran en ella un papel relevante. En un principio, el problema económico se resolvería con una capa de rodamiento muy cara, pero muy delgada; esta capa podría también cubrir los requisitos de estabilidad, duración, textura y permeabilidad, pero por su pequeño espesor se transmitirían a la terracería niveles de esfuerzos muy altos que perjudicarían pronto a la propia superficie de rodamiento por falta del requerido apoyo. Hay entonces intereses opuestos que es preciso conciliar y dicha conciliación ha tratado de lograrse siguiendo dos líneas de conducta diferentes.

1.- La capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de una calidad tal que se logra que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de ésta. Esta línea de acción lleva a los pavimentos rígidos, con losa de

concreto hidráulico. Cualquier pequeña decadencia permanente de los suelos bajo la losa es absorbida por la resistencia de la misma a la tensión.

2.- La superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y alta calidad, pero entre ella y las terracerías se interpone un sistema de varias capas de materiales seleccionados cuya calidad, por lo común, va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito que siguen una ley en ese mismo sentido decreciente. En rigor el problema de dimensionamiento consistiría en principio en hacer variar el espesor y la calidad de los materiales empleados en cada capa de manera que coincidan las dos leyes. Este es el orden de ideas que conduce a los pavimentos flexibles.

En este caso, a igualdad de otros factores, puede decirse que el espesor del pavimento depende fundamentalmente del material de la terracería, que constituye su apoyo.

En algunas ocasiones puede convenir, como un refinamiento posterior dentro de la tosca evolución de ideas que se han venido describiendo, utilizar en las capas de pavimento, materiales cuya resistencia a la tensión sea considerable, añadiendo a los materiales térreos porcentajes apropiados de un aglutinante, como el cemento, el asfalto o la cal; las capas así tratadas ven correspondientemente aumentada su capacidad de distribución de esfuerzos, con lo que pueden tenerse grandes ahorros en espesor.

De hecho, estas soluciones a base de capas semirígidas de suelo-cemento, suelo-asfalto, etc., constituyen un tercer tipo de pavimentos, cuyo uso parece

extenderse continuamente. Sin embargo, la tónica común suele ser encasillar a estos pavimentos semirígidos en el grupo de los pavimentos flexibles.

De lo expuesto, parece desprenderse la idea de que el problema de la estructuración de un pavimento es claro y sencillo y lo es, en efecto, en lo que se refiere al planteamiento básico; en el momento en el que los criterios anteriores tratan de ajustarse a cualquier caso particular surge tan gran número de incertidumbres que el panorama se oscurece y se dificulta mucho la definición de la óptima norma de conducta. Las dificultades de orden específico son de varias clases. En primer lugar, no existe una solución teórica rigurosa al problema de los pavimentos. La distribución de esfuerzos y deformaciones no puede calcularse en un sistema multicapa constituidos por materiales térreos y sujetos a la acción dinámica de las cargas impuestas por el tránsito. Existen soluciones teóricas al problema y en lo que sigue se hará referencia a alguna de ellas, pero estas soluciones se han edificado sobre hipótesis simplificadoras que no pueden resultar satisfactorias para quien tenga experiencia materiales y de comportamiento de pavimentos; tal es, por ejemplo, el caso de las soluciones que consideran al sistema formado por capas homogéneas, isótropas y linealmente elásticas. Aún aceptando la validez de tales hipótesis y pasando por encima del hecho innegable de que con el uso de tales teorías el proyecto de pavimentos se complica mucho desde el punto de vista matemático, al grado de escapar a las posibilidades de muchos ingenieros experimentados, queda en pie el hecho de que la construcción de los pavimentos no puede hacerse con el refinamiento que una aplicación razonada de tales teorías exigiría; no sería juicioso emplear para el proyecto teorías muy detalladas y complejas, si los procesos de construcción han de hacerse de tal modo que pueda garantizarse suficientemente el que se alcancen en obra las refinadas condiciones del proyecto.

En segundo lugar, están en insuperables dificultades que actualmente presenta el valorar de un modo razonable la acción de los agentes naturales del clima, a los que todo pavimento queda invariable e indefinidamente expuesto.

En tercer lugar conviene mencionar las complicaciones que introduce en el problema del proyecto el gran número de variantes posibles en los criterios a adoptar. En un caso dado se ofrecen al ingeniero multitud de materiales, unos más lejos, otros más cerca, con propiedades diferentes, que se traducen en ventajas e inconvenientes concretos. A ello se suma la extensa posibilidad de jugar con los espesores de las diferentes capas; un mayor espesor de un material barato de peor calidad puede sustituir, incluso con ventaja, a un menor espesor de un mejor material más caro. Las reglas de este juego, de por sí variado y complejo, se complican al considerar los límites aceptados de calidad de materiales, allende los cuales no convendrá ir independientemente del espesor utilizado, que varían de una capa a otra, de un clima a otro, de una topografía a otra.

El tránsito es la carga que ha de soportar el pavimento, y cuyos efectos, junto con los climáticos, deben quedar en niveles no destructivos; pues bien, pocas solicitaciones son más desconocidas y tienen sus efectos peor estudiados. El tránsito varía en intensidad y número de vehículos, en calidad y peso de los mismos y es una carga móvil, repetida, causante de esfuerzos transitorios, deformaciones transitorias y permanentes, de efectos especiales relativamente poco conocidos, como la fatiga, el rebote elástico, etc., todo lo cual complica, al grado de hacer ilusorio, todo intento de definir en un pavimento una condición de cargas exteriores, en el sentido en que puede llegarse a tal definición en otros campos de las estructuras.

Incuestionablemente existe una quinta consideración que complica muchos los criterios a utilizar en el diseño de pavimentos y es la enorme variedad de circunstancias en que tal proyecto ha de efectuarse. El proyecto de un pavimento de una gran autopista imponen criterios que han detener sustanciales diferencias respecto al diseño del pavimento de un camino vecinal. Este tipo de variantes de criterio es importantísimo, independientemente de que se tenga la sensación de que no siempre es tomado en cuenta en su debida proporción.

Los factores económicos de costos, vida útil a considerar, definición de condiciones que ameriten compostura o reconstrucción constituyen un complejo trasfondo en todo el panorama de decisión conectado con el proyecto y la construcción de pavimentos. Todos los criterios y variantes posibles han de examinarse al fin de cuentas dentro de un panorama económico que trascienda la consideración simplista de lo que es más barato o más caro, para analizar toda la gama de factores sociales conectados con la inversión pública y todas las consideraciones de grado y calidad de servicio. Las siguientes pueden considerarse las características fundamentales de un pavimento flexible, considerado como un conjunto:

- la resistencia estructural
- la deformabilidad
- la durabilidad
- el costo
- los requerimientos de conservación
- la comodidad

Se hacen a continuación algunos breves comentarios sobre dichas características.

LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL

La primera condición que debe cumplir el pavimento es soportar las cargas impuestas por el tránsito dentro del nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto. Las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. La metodología teórica para el análisis de resistencia de los pavimentos es proporcionada por la Mecánica de suelos y es sabido que en ese campo las teorías de falla de mayor aceptación hoy son las de esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural; correspondientemente, la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental.

Las teorías de capacidad de carga de la Mecánica de suelos suelen referirse a medios homogéneos e isotropos; la heterogeneidad de la estructura de los pavimentos flexibles, así como su anisotropía, producen así una primera incertidumbre en el planteamiento teórico de resistencia. Es justo señalar que la Mecánica de Suelos actual se preocupa por desarrollar soluciones que tomen en cuenta las condiciones actualmente consideradas "reales" y que ya existen algunos meritorios esfuerzos al respecto.

Además de los esfuerzos cortantes actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura, a cierta distancia del área cargada, cuando ésta se deforma verticalmente hacia abajo. De hecho, el problema de la resistencia se plantea en general en relación con la estructura de los materiales del pavimento, pues aunque los materiales de la terracería sean de peor calidad, el espesor protector que el propio pavimento representa hace que los esfuerzos que llegan a aquellos niveles alcancen valores inferiores a la capacidad

de carga a la falta de los suelos. Este es un panorama general, pero seguramente no satisfactorio. De hecho, muchos autores tienen la fuerte sensación de que muchas de las fallas que actualmente se consideran de pavimento se fraguan en la terracería y que el criterio de no hacer intervenir a ésta seriamente en el diseño del pavimento, asignándole un papel pasivo, debe ser revisado en el futuro próximo. Tal revisión conducirá, probablemente, a una mayor exigencia en la calidad de los materiales de terracería, de sus tratamientos y de su protección contra el agua y al rechazo de un mayor número de materiales que los que hoy se consideran inadecuados para su uso en la construcción de vías terrestres. La aplicación de tales criterios conducirá, sin duda, a una elevación general en los costos de construcción, lo que deberá moderar juiciosamente la elevación del nivel de exigencia, circunscribiéndola a los casos en que realmente se justifique, pues no debe echarse por la borda el reconocido hecho experimental en que casi todo el mundo las normas actuales conducen a caminos aceptables. Cuando se dice que actualmente se percibe un descuido en la calidad y métodos constructivos en los materiales de terracería no se busca, pues, la implantación indiscriminada de normas poco realistas, sino, más bien, la formación de una conciencia que permita comprender el comportamiento de un pavimento en conjunto con la terracería sobre la que está colocado y la interacción de ambas entidades, hoy bastante olvidada.

Como ya se ha bosquejado, la determinación de la resistencia de los materiales que constituyen un pavimento es un problema difícil y no resuelto satisfactoriamente; influye en él no sólo el tipo de suelo y su tratamiento, sino también su interacción con los efectos de intemperie, de los que la variación del contenido de agua es seguramente el más importante. El ingeniero no está casi nunca en condiciones de predecir cuál será el contenido de agua más desfavorable que llegarán a tener los materiales que maneja; sin embargo, este dato es

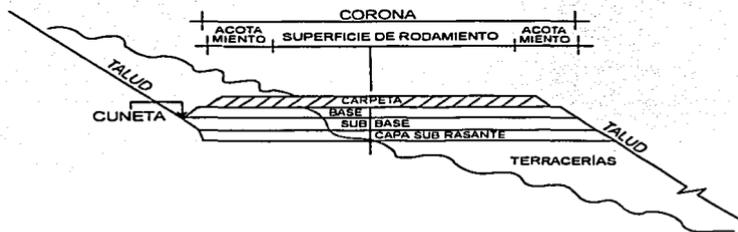
necesario para el proyecto, que suele tender a definir la resistencia en esa condición crítica. Esta es otra de las incertidumbres básicas de diseño, que se ha resuelto a base de hipótesis más o menos justificadas por la experiencia, tales como considerar que el suelo llegará a saturarse, adquirirá una humedad de equilibrio, mantendrá la humedad óptima de compactación u otra próxima a ella, etc.

Otro factor que influye sustancialmente en la resistencia de los materiales es el tipo de cargas que se les aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a cargas móviles y los efectos de estas son menos conocidos y diferentes que los de las cargas estáticas; ésta es otra fuente de incertidumbre que se ha tratado de resolver en los análisis teóricos (Boussinesq, Burmister, etc.), admitiendo que las cargas actuantes son de tipo estático. En las pruebas de laboratorio y los métodos de diseño en ellas fundados, la situación es un poco más realista, pues si bien las pruebas se realizan con cargas estáticas o con velocidades de aplicación muy lentas, su correlación con la obtención de normas de criterio se hace con el comportamiento real de los pavimentos bajo cargas móviles.

El hecho de que las cargas actuantes sean repetitivas, afecta a la larga a la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez, por lo que en el caso de los pavimentos flexibles este efecto se presenta sobre todo en las carpetas y las bases estabilizadas, donde pueden ocurrir fenómenos de fatiga muy difíciles de analizar y cuantificar. En los suelos con resistencia potencial, la repetición de las cargas puede llegar a provocar el colapso, fenómeno que no ha sido posible introducir en el diseño mediante la medición con pruebas de laboratorio o de campo suficientemente confiables. Además, la repetición de las cargas es causa de rotura de granos en las partículas granulares, lo que modifica la resistencia de la

capa en forma difícilmente cuantificable. La repetición produce también la interpretación de partículas granulares en las capas de suelo más fino. La resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista.

FIGURA 8



SECCION TRANSVERSAL TÍPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN UNA SECCION EN BALCON

- 1.- En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.
- 2.- En cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes.

Ambos puntos son de primordial importancia en la selección de los materiales que deben constituir las diferentes capas de pavimento, siendo el requisito de mayor importancia cuanto más cercana sea la posición de la capa en relación a la superficie de rodamiento. Llenar muy satisfactoriamente los requisitos de capacidad para una cierta capa es hasta cierto punto independiente de su propio espesor, pues este es más bien necesario desde el punto de vista de la transmisión de esfuerzos a capas inferiores; una capa delgada puede soportar en sí misma las cargas impuestas, pero transmitirá altos esfuerzos a las inferiores, en tanto que una capa gruesa, cuya resistencia individual mejora poco con el aumento de espesor, se distinguirá por transmitir esfuerzos de mucho menor nivel a las capas subyacentes. Lo anterior es especialmente cierto cuando los materiales de pavimento no tienen resistencia a la tensión, pues si ésta es importante aumenta mucho la capacidad de transmitir bajos esfuerzos depende más bien de la resistencia intrínseca de la capa y no de su espesor.

Nunca se insistirá en lo importante que es el anterior punto 2 en el equilibrio general del pavimento. Una subrasante resistente será capaz de tolerar niveles de esfuerzo relativamente altos, con lo que, de acuerdo con la línea de razonamiento arriba expuesta, podrán usarse sobre ella espesores reducidos sin comprometer a importantes ahorros en la inversión, ya que, debe repetirse, los costos de las diferentes capas de un pavimento flexible crecen en general según éstas estén más cerca de la superficie.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



FOTO 2.- Se puede ver la compactación de la Carpeta Asfáltica sobre un suelo blando.

LA DEFORMABILIDAD

En algunos aspectos importantes el problema de la deformabilidad de los pavimentos tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia. Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman las capas de los pavimentos, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento propiamente dicho y dentro de éste, la subrasante, capa inferior, es mucho más deformable que las capas superiores. Desde este punto de vista, la deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente profundos, pues es relativamente fácil que las capas superiores

tengan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

En los pavimentos las deformaciones interesan, como es usual en la ingeniería, desde dos puntos de vista. Por un lado, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla y, por otro lado, porque es sabido que un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas dentro de la tecnología, a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente, este proceso suele ir acompañado de una densificación de los materiales, de manera que el pavimento fallado puede ser más resistente que el original.

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generar falla por fatiga si el monto de la deformación es importante y los materiales son susceptibles. Los materiales que acusan fuertes deformaciones elásticas bajo carga, los más peligrosos a este respecto, son muchas veces de origen volcánico.

Existe hoy una fuerte corriente de opinión en el sentido de que la deformabilidad de los pavimentos flexibles es el punto básico a considerar y, de hecho, un buen número de métodos de diseños en boga se centran en mantenerla en límites

tolerables. El señalar estos límites es tarea bastante más compleja de lo que en principio pudiera pensarse y la solución suele intentarse con base en normas de experiencia de grupos de ingenieros. Otro problema importante radica en medir la deformación que el pavimento va a sufrir realmente bajo la carga. Este problema debe considerarse en dos fases. Primero, la estimación de las deformaciones elásticas, que es posible hacer con razonable precisión una vez conocidos los materiales que constituirán el pavimento, obteniendo su módulo de deformación por medio de alguna de las diversas pruebas de campo que hoy existen y pueden realizarse sobre terraplenes de prueba en las condiciones consideradas críticas; estas pruebas pueden ser de placa, con un deformómetro tipo Benkelman, con un algún aparato dinámico, tipo Dynaflect o con deforme metros sónicos, eléctricos, etc. algunas instituciones realizan muchas de estas mediciones en pavimentos construidos, tratando de obtener correlaciones para proyecto entre las deformaciones elásticas y el clima, tránsito o naturaleza de los materiales. Tampoco faltan intentos de medir el módulo de deformación en el laboratorio (por ejemplo prueba triaxial de Kansas), tropezando con los inconvenientes de tener que realizar un experimento poco representativo, pues difícil reproducir en el laboratorio las condiciones críticas del campo y superar los problemas de escala. Conocido el módulo de deformación de las diferentes capas, la deformación elástica puede calcularse con base en alguna de las teorías que más atrás se han mencionado.

La segunda base del problema de medición de deformación se refiere a las plásticas, efecto acumulativo de la carga repetida. Este aspecto se ha atacado con criterios puramente empíricos, cuyo aprovechamiento por los métodos de diseño requiere de extrapolaciones experimentales; por ejemplo, la diversidad de las cargas se refiere a una carga única, llamada estándar, resultados de estudios estadísticos en tramos experimentales o en carreteras, sometidos a la acción de

tránsito real o clasificado. Se intenta que la carga estándar tome en cuenta el efecto de repetición, pues al definirla se ha correlacionado su propio efecto destructivo con el que causarían las cargas reales con sus repeticiones respectivas. Una vez fijado el tránsito "de análisis", lo que suele hacerse actualmente en todos los métodos de diseño que toman en cuenta estas cuestiones es prefijar, con base experimental, una deformación permanente máxima y el pavimento se diseña de manera que ésta se presente únicamente al fin de la vida útil prevista.

Existen dos criterios para fijar la deformación máxima permisible; o bien, se habla de la que produce la falla del camino, entendiendo por ésta la condición en la que el pavimento llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado (criterio AASTHO o de índice de servicio) o bien se toma en cuenta la deformación que obligue a una reconstrucción de determinada importancia económica (criterio británico).

LA DURABILIDAD

Las incertidumbres prácticas ligadas a la durabilidad de un pavimento flexible son grandes y difíciles de tratar, aún al nivel más general. Será difícil definir cuál es la durabilidad deseable que haya de lograrse en un caso dado. Evidentemente que ésta está ligada a una serie de factores económicos y sociales del propio camino; en una obra modesta, la duración del pavimento puede ser mucho menor que la del camino, con tal de que la serie de reconstrucciones que entonces se requieran valgan menos que el costo inicial de un pavimento mucho más durable, mas el valor que pueda darse a las interrupciones de servicio que a las de reconstrucciones den lugar; por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Una vez fijado el criterio que proporciones la duración deseada en el pavimento, surgen muchas incertidumbres de carácter práctico para lograrla; ya se ha mencionado que el efecto del clima y del tránsito dista de estar bien establecido, de manera que su influencia en la vida del pavimento no puede definirse con exactitud. Los pavimentos pueden estar expuestos durante su vida útil a circunstancias de orden extraordinario, tales como lluvias ciclónicas, inundaciones, terremotos, etc., resulta aún más complicado tratar de establecer la resistencia deseable de un pavimento ante este tipo de eventos o las normas de proyecto que han de implantarse para alcanzar una determinada duración.

Como una consecuencia de lo anterior, los autores no conocen ningún método de diseño que tome en cuenta los requisitos de durabilidad de un modo cuantitativo, racional e independiente del sentimiento partícula.

EL COSTO

Como todas las estructuras de ingeniería un pavimento representa un balance entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad en general, por un lado y el costo, por otro. Un diseño correcto será el que llegue a satisfacer los necesarios requerimientos del servicio a costo mínimo. Naturalmente que para lograr el equilibrio podrán seguirse una gran cantidad de posibles líneas de conducta y de aquí emanan uno de los aspectos de diseño más inciertos y de los que demandan mayor criterio.

De hecho, la primer disyuntiva se tienen al elegir el tipo de pavimento a emplear en cada caso; los pavimentos rígidos, flexibles o semi rígidos son ventajosos o inconvenientes según los casos, hablando comparativamente. En general, los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco,

pero su costo de construcción es alto y están circunscritos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más costosa. Los pavimentos semi rígidos pueden constituir soluciones más económicas cuando los materiales de que dispone para la construcción lo hacen convenientes, pues permiten muy apreciables reducciones en los espesores. No hay reglas fijas que permitan establecer el tipo de pavimento conveniente en cada caso y el punto deberá establecerse en cada situación particular. Las normas anteriores permiten pensar que los pavimentos rígidos serán especialmente deseables en zonas urbanas, calles, avenidas y carreteras de muy alto tránsito, en las que cualquier interrupción de servicio o deterioro del mismo sean de importancia. Existe una marcada preferencia por parte de los pilotos hacia el uso de los pavimentos rígidos en aeropistas, basada en la mayor suavidad de operación que con ellos puede lograrse cuando están bien contruidos y en la mucho mayor permanencia de estas condiciones idóneas con respecto a los pavimentos flexibles; se ha mencionado también que el color y naturaleza de un pavimento asfáltico hacen que las capas de aire más próximas a la Tierra se calienten mucho bajo la fuerte acción solar, con lo que el aire pierde densidad y se dificultan las operaciones de aterrizaje y, sobre todo de despegue de aviones. Por estas razones, entre otras varias, el uso de pavimentos de concreto hidráulico en aeropuertos de importancia es casi universal, pero queda en pie la consideración, que debe ser ponderada en cada caso, de que en México, un pavimento flexible puede ser dos o dos y media veces más barato que uno rígido; este hecho suele inclinar la balanza a favor de las pistas asfálticas en aeropistas más modestas, en que el menor tráfico debilita la argumentación a favor de la comodidad, la seguridad o rapidez de operación y en las que las interrupciones de servicio por operaciones periódicas de conservación no causan tantos trastornos.

Elegido el tipo de pavimento, deberán seleccionarse los materiales que se utilizarán en la construcción de un pavimento sobrevienen muchos problemas de solución incierta en lo referente a la homogeneidad de los bancos, los métodos de extracción a seguir, los tratamientos a dar a los diferentes materiales, el volumen de los desperdicios y el del material aprovechable, etc., todos los cuales se reflejan en los costos.

Otro de los factores que intervienen de forma decisiva en los costos de un pavimento y para cuya definición no existen tampoco reglas fijas confiables es el relativo a las normas de construcción a que han de sujetarse los diferentes materiales para cumplir con los requerimientos de un proyecto determinado. La compactación, por ejemplo, incluye un gran número de incertidumbres importantes que han de resolverse sobre la marcha con base en la experiencia y el sentido común de los proyectistas y los constructores.

LOS REQUERIMIENTOS DE LA CONSERVACIÓN

Una gran cantidad de incertidumbres de las que se plantean en la práctica de los pavimentos tienen que ver su conservación. Los factores climáticos influyen decisivamente en la vida de los pavimentos, por lo que el proyecto a de tomarlos en cuenta para su previsión, a fin de dejar a la conservación una tarea razonable; sin embargo, es obvio que tales factores involucran muchos elementos de estimación difícil, a pesar de lo cual ésta debe intentarse siempre, conjugando la experiencia precedente con una buena información de las condiciones locales.

La intensidad del tránsito también se refleja en el aspecto que ahora se analiza; se trata ahora de prever el crecimiento futuro, tanto del número como del tipo de los vehículos circulantes.

Otro factor a tomar en cuenta en la conservación de los pavimentos es el futuro comportamiento de las terracerías, sus deformaciones, derrumbes, saturaciones locales, etc., pues de otra manera podrá llegarse a graves problemas de conservación y de reconstrucción. Es frecuente que el comportamiento esperado para las terracerías se refleje en forma decisiva en los pavimentos. Un caso típico, pero no único, lo constituyen los pavimentos provisionales que se colocan sobre las terracerías que sufrirán de formaciones por estar sentadas en terrenos de cimentación blandos y comprensibles.

Las condiciones de drenaje y sub drenaje de la vida terrestre son seguramente uno de los puntos más importantes para definir tanto la vida de un pavimento, como su necesidad de conservación. El proyecto de aquellos elementos debe considerarse en muchas ocasiones como formando parte del diseño del pavimento, pues forma con él un todo total integral inseparable; todas las incertidumbres inherentes a los problemas de sub drenaje de las carreteras y aeropistas afectan, por consiguiente al proyecto de los pavimentos.

La degradación estructural de los materiales constitutivos por carga repetida, ya mencionada, es otro aspecto importante a reflejarse en los requerimientos de conservación. Aunque existen en la actualidad algunas pruebas orientadoras en relación al comportamiento de los materiales a este respecto, son muchas las dudas que podrán presentarse en cualquier caso particular ; es fundamental que sean resueltas con buen juicio y experiencia, pues es un hecho comprobado que los descuidos en este terreno se reflejan rápidamente en una conservación costosa y aún en la necesidad de reconstrucciones.

Frecuentemente los pavimentos sufren falta de conservación sistemática, con lo que su vida se acorta imprevisiblemente. Esto sucede sobre todo invocando escasez de recursos o impostergables necesidades sociales para la construcción de nuevas obras. Evidentemente, ambas razones no pueden ignorarse, pero una red de carreteras y aeropistas es un costoso patrimonio nacional del que muchas cosas dependen y que tampoco puede dejarse deteriorar en forma indiscriminada. Los países que sientan la necesidad social de dedicar casi toda su energía a construir obras nuevas, deberán tener lógicamente la mayor necesidad de conservar las ya hechas; lo que habrán de hacer es fijar muy realistamente el nivel de servicio que se desee, situándolo en la posición tan modesta como convenga, pero en el momento así definido, la conservación necesaria deberá ejercerse indefectiblemente.

LA COMODIDAD

Especialmente en grandes autopistas y caminos de primer orden, los problemas y métodos del diseño de los pavimentos deben verse afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto.

Evidentemente dentro de este requisito quedan incluidos muchos otros, de los que la seguridad es lo más importante; la estética y su efecto en las reacciones psicológicas del conductor merece también consideración.

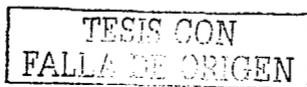
Las deformaciones longitudinales de un pavimento, por ejemplo, pueden constituir un pecado contra la comodidad, independientemente de que, desde un punto de vista estrictamente mecánico, representen poco o nada de deficiencia estructural o riesgo de falla. En caminos de especificaciones altas, por lo tanto, el proyectista deberá elevar su nivel de exigencia, haciendo intervenir en su criterio

consideraciones de esta índole, que no figuran en otros caminos más modestos, en que menores velocidades de operación o intensidades de tránsito hacen estos problemas menos críticos.

La presente no es una obra sobre pavimentos. El inmenso desarrollo que este campo específico ha tenido en los últimos años hace que haya llegado a construirse un dominio independientemente; hoy hay especialistas en pavimentos en el mismo sentido y con independencia a como los hay en Mecánica de Suelos Aplicada, en Hidrología, en Planeación o en tantas otras de las disciplinas que deben figurar en un equipo humano dedicado a las vías terrestres. El campo de los pavimentos tiene sus propios desarrollos, sus propios congresos y medios de información y de ninguna manera puede considerársele dentro de la Mecánica de Suelos Aplicada, objeto de este libro. Pero los autores han tenido siempre la sensación de que, por estar los pavimentos formados por suelos, la mecánica de estos materiales tiene mucho que decir al respecto; creen, por ejemplo, que una formación académica con base en la Mecánica de Suelos es la mejor que puede ofrecerse al joven que aspire a interiorizarse en el difícilísimo campo de los pavimentos.

De hecho parece un tanto cuestionable en la actualidad el poder desarrollar una tecnología de los pavimentos sin una sólida base de tecnología de materiales y de información sobre resistencia, deformabilidad y relaciones esfuerzo – deformación de suelos proporcionada por la Mecánica de Suelos. Tal parece que la costumbre va imponiendo un tratamiento a los problemas de pavimentación que incluye algunos peligros básicos. Cabe preguntarse si un pavimento puede ser concebido como un conjunto de capas colocadas en la parte superior de una carretera, como frecuentemente se hace hoy y si no sería mucho más racional hablar de un diseño estructural del camino o de una sección estructural del mismo, que incluyan en un

conjunto único é indivisible todos sus elementos, terreno de cimentación, terracería, subrasante, sub-base, base y carpeta. Parece muy difícil llegar a proyectar con éxito a los pavimentos en tanto la atención del proyectista se concentre sólo en las capas superiores de ese conjunto, siendo que las inferiores influyen siempre y frecuentemente y son determinantes.



IV. ESTRUCTURAS TERREAS EN CONDICIONES DIFÍCILES DE CIMENTACIÓN

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL TERRENO NATURAL

DESMONTE

El desmonte consiste en quitar toda la vegetación dentro del derecho de vía; en este trabajo se incluye el desenraíce, donde si quedan hoyos, se rellenarán con material de buena calidad y compactado adecuadamente.

NOTA: En zonas pantanosas esta actividad no se realiza cuando se colocan geotextiles, siempre y cuando no exista algún tipo de vegetación que rasgue la tela.

DESPALME Y COMPACTACIÓN

Una vez desmontado el terreno natural, se extrae la capa de material que contenga materia vegetal. El espesor de esta capa puede variar de 10 a 50 cm y llegar como máximo a un metro si se tiene un espesor fuerte de material altamente comprensible. A esta etapa se le denomina despalme. Enseguida, se compacta el terreno natural sólo si se requiere y, cuando se hace, se llega en general al 90% del P V S M.

La capacidad de carga del terreno natural es un factor fundamental en la elección de rutas para caminos de tipo "C" o los de bajo costo. Por ejemplo: para construir estos caminos es más conveniente rodear las zonas pantanosas y los fondos de lagos antiguos con baja resistencia al esfuerzo cortante. En cambio, para caminos

de tipo "A" o autopistas, lo más probable es que se justifique mantener el trazo recto de la obra y resolver los problemas que se presenten, por medio de la geotecnia.

DEFINICIÓN DE TERRACERÍAS Y PARTES QUE LAS FORMAN

Las terracerías pueden definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre. La extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen de material se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, las terracerías son compensadas y el volumen de corte que no se usa se denomina desperdicio. Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella, o sea, en zonas de préstamos. Si estas zonas se ubican cerca de la obra, de 10 a 100 metros a partir del centro de la línea, se llaman zonas de préstamos laterales; si se encuentran a más de 100 metros, son de préstamos de banco.

Las terracerías en terraplén se dividen en: el cuerpo del terraplén, que es la parte inferior, y la capa subrasante, que se coloca sobre la anterior con un espesor de 30 cm. A su vez, cuando el tránsito que habrá de operar sobre el camino es mayor que 5000 vehículos diarios, se construyen en el cuerpo de terraplén los últimos 50 cm con material compactable y esta capa se denomina subyacente.

CUERPO DEL TERRAPLÉN

Las finalidades de esta parte de la estructura de una vía terrestre son las siguientes: alcanzar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas (sobre todo en lo relativo a la pendiente longitudinal),

resistir las cargas de tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transportarlos en forma adecuada al terreno natural, de acuerdo con su resistencia.



FOTO 3.- Colocación de geotextiles sobre el suelo blando donde solo se quitó a mano la vegetación que pudiese rasgar o cortar la tela.

ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES

Los materiales empleados para construir el cuerpo del terraplén deben tener un V R S mayor al 5% y sus tamaños máximos pueden ser de hasta 75 metros. Los

materiales para suelos se aceptaban hasta hace poco tiempo como un límite líquido menor que 100%, pero en la actualidad los proyectistas exigen que este valor sea inferior a 70% aunque algunos autores, sin ninguna base de control de calidad y en forma muy conservadora, indican que debe de ser de 40% y que es preciso utilizar materiales con más de 30% de partículas, al pasar por mallas de 200. Sin embargo, de manera contradictoria admiten valores relativos de soporte de 5% como mínimo en especímenes compactados a 95% del P V S M, que son típicos de suelos de muy mala calidad y que están bastante alejados de los materiales con la granulometría y plasticidad que piden.

Los materiales utilizados en la construcción del cuerpo del terraplén se dividen en compactables y no compactables, aunque esta denominación no es correcta, pues todos los materiales son susceptibles de compactarse. Sin embargo, se clasifican con base en la facilidad que tienen para compactarse con los métodos usuales y para medir el grado alcanzado.

Se dice que un material es compactable cuando, después de disgregarse, se retiene menos del 20% en la malla de 7.5 cm (3 pulgadas) menos del 5% en la malla de 15 cm (6 pulgadas). Los materiales no compactables carecen de estas características.



FOTO 4.- Formación del terraplén con arenas y gravas en zona inundable.

CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO DEL TERRAPLÉN

El acomodo de materiales puede realizarse de tres maneras diferentes:

Cuando los materiales son compactables, se les debe dar este tratamiento con el equipo que corresponde según su calidad. En general, el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo del terraplén es del 90% y el espesor de las capas responde al equipo de construcción.

Si los materiales no son compactables, se forma una capa con un espesor casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca, no menor que 15 cm. Un tractor de

orugas se pasa tres veces por cada punto de la superficie de esta capa, con movimientos de zig zag para mejorar el acomodo es conveniente proporcionar agua en una cantidad de 100 L / m³ de material.

Si es necesario efectuar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no es fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite colocar el material a volteo hasta una altura en que ya pueda operar el equipo.

CAPA SUBRASANTE

CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA SUBRASANTE

La capa subrasante se presentó oficialmente en las especificaciones mexicanas de 1957. sus características mínimas deben ser:

Espesor de la capa: 30 cm mínimo

Tamaño máximo: 7.5 cm (3 pulg.)

Grado de compactación: 95% del P.V S M

Valor relativo de soporte: 15% mínimo

Expansión mínima: 5%

Estos 2 últimos valores se obtienen por medio de la prueba de Porter estándar. Hasta la fecha, las especificaciones para las dos últimas características marcan

valores de 5% mínimo y 5% máximo, respectivamente, pero los proyectistas exigen las especificaciones antes citadas.

FUNCIONES DE LA CAPA SUBRASANTE

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento.
- Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.
- Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.
- Evitar que los materiales finos plásticos formen el cuerpo del terraplén, contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
- Evitar que las terracerías, cuando están formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes), absorban el pavimento. En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base o sub - base)
- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.

- Uniformar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían los materiales de terracería a lo largo del camino.
- Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA SUBRASANTE

La parte superior de la capa subrasante coincide con la subrasante o línea subrasante del proyecto geométrico, la cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esta línea marca la altura de las terracerías y por tanto su espesor, que la mayoría de las veces es mayor que el necesario en la estructura. En el proyecto geométrico de la subrasante económica es preciso tomar en cuenta:

- Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- Que la subrasante tenga la altura suficiente para dar cabida a las obras de drenaje.
- La altura conveniente para la subrasante, a fin de que el agua capilar no afecte el pavimento.
- Que la subrasante provoque los acarreos más económicos posibles.
- Por tanto, los elementos que la definen son topográficos, geométricos y de costos.

CONSTRUCCIÓN DE LA CAPA SUBRASANTE

- En los procedimientos de construcción, los materiales se deben compactar con el equipo más adecuado, de acuerdo con sus características. En general, la capa subrasante consta de 2 capas de 15 cm de espesor mínimo.
- Cuando los materiales encontrados en las cercanías a la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos mecánica o químicamente. En otras ocasiones, para construir las terracerías es necesario formar una caja y sustituir el material extraído por otro de características

adecuadas; este procedimiento se utiliza a menudo para construir la capa subrasante en cortes.

- A veces, el material de los cortes es adecuado para la capa subrasante y por lo mismo no debe acarrear material de préstamos de banco, sino utilizarse el que ya existe para no tener salientes en las camadas de los cortes y que la compactación sea constante. Para esto se escarifican 15 cm del material, se humedecen en forma homogénea, se extienden dando el bombeo o sobre elevación de proyecto y se compactan a 95% de su P V S M.

TERRACERÍAS EN CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Los caminos de bajo costo, que tienen un movimiento máximo de 100 vehículos al día, se construyen para asegurar el tránsito durante todas las épocas del año. Para lograrlo, se resuelve por completo su drenaje superficial y se le da una superficie de rodamiento adecuada.

Para proporcionar la superficie de rodamiento, estos caminos necesitan las pendientes longitudinales apropiadas, que en zonas montañosas tienen valores hasta del 15% y curvaturas de 65° como máximo.

El criterio del proyectista es de mucha importancia en esta clase de caminos, porque si nota que la zona de influencia se puede desarrollar en muy poco tiempo o de que el tramo de que se trata formará parte de un camino troncal, las especificaciones son rígidas. En el caso contrario, las especificaciones son de brocha.

Si el espesor general de las terracerías es menor que 40 cm, éstas pueden colocarse a volteo con el acomodo que proporcione el equipo de acarreo. Si la

altura es menor que la indicada, se utiliza el equipo de compactación adecuado y se debe alcanzar un grado del 90%

Cuando las terracerías son bajas, se pueden formar con el material que se extrae al formar las cunetas y dar las pendientes transversales necesarias. Este trabajo puede realizarse a mano o con maquinaria, que es económicamente más aceptable cuando los volúmenes que se habrán de mover rebasan una cantidad cercana a los 5000 m³ / Km., en promedio.

Sobre las terracerías se coloca el revestimiento, que de preferencia debe ser granular, con las características de resistencia (VRS), plasticidad y valor cementante.

Es preciso recordar que los materiales inertes, sin valor cementante, no son adecuados para los revestimientos provisionales en este tipo de caminos. Además, las partículas deben ser duras y se desechan materiales como lutitas, argiritas y "choy", que se intemperizan muy rápido, aunque en los bancos parecen duros.

Es común que en las zonas montañosas, con alto régimen pluviométrico y terracería de tipo plástico, la conservación se tome demasiado cara, pues el revestimiento se incrusta en el terreno natural; por tal motivo es conveniente mejorar este último desde la construcción, estabilizando con cal hidratada o cemento. Portland es un espesor de 15 cm, sobre el cual se coloca el revestimiento.

CIMENTACIONES PARA ESTRUCTURAS VIALES

Las cimentaciones tienen en la actualidad mucho de "arte", en el sentido de que muchos de los criterios, normas y reglas empleadas no tienen una sustentación teórica directa del éxito a lograr en una cimentación en la experiencia precedente, la intuición y el ingenio del ingeniero.

El primero respondería a la pregunta de qué esfuerzo puede comunicar el cimiento o conjunto de ellos al terreno, sin sobrepasar la resistencia de éste, es decir, sin provocar una falla. El segundo contestará a la no menos importante cuestión de qué deformaciones va a sufrir el suelo, y por ende la cimentación, al aplicarse tales esfuerzos.

Las teorías de capacidad de carga y los métodos de análisis de asentamientos (o en su caso, de expansiones) son la contribución medular de la Mecánica de Suelos al problema de las cimentaciones. Pero una teoría de capacidad de carga y un criterio para el cálculo de asentamientos no resuelven todos los problemas que un ingeniero encuentra en un proyecto y construcción de una cimentación.

La elección específica de cimentación a emplear se basará entonces en otras consideraciones, entre las que las de orden económico jugarán un papel preponderante; pero a su vez, la Mecánica de Suelos podrá orientar el criterio del ingeniero para balancear correctamente todas estas consideraciones, las condiciones del terreno pueden ser determinantes de factores hasta cierto punto ajenos a la capacidad de carga o a la deformabilidad del piso.

COMPACTACIÓN DEL TERRENO NATURAL

Cuando el terreno natural tiene una compactación baja y está suelto, sin estructuración, conviene compactarlo en un espesor mínimo de 30 cm para darla la resistencia adecuada.



FOTO 5.- Excavación en caja del Material Orgánico en zonas donde la turba o arcilla no excede de 2 metros.

TERRAPLENES

Un terraplén es un macizo artificial de tierra que se levanta para la construcción de ferrocarriles y carreteras en los lugares bajos o para embalsar agua. Como los terraplenes se construyen con material para rellenar, a menudo se les llama rellenos, pero éste término se utiliza también para otras construcciones de tierra.

TERRAPLENES DE CARRETERAS Y FERROCARRILES

Los terraplenes de ferrocarriles y carreteras se proyectan generalmente basándose en la experiencia, a menos que las alturas sean superiores a 10 o 12 m. el talud es usualmente de 1.5 (horizontal) a 1.0 (vertical) ó 2 a 1, a menos que el terraplén esté sometido a inundaciones. Los terraplenes de carretera se construyen cuidadosamente con suelos seleccionados compactados para evitar asentamientos y una superficie mal acabada; pero con terraplenes de ferrocarril rara vez se compactan intensamente, porque la terminación defectuosa de la superficie se puede obviar por el aproximado mantenimiento del balasto.

TERRAPLENES ALTOS Y TERRAPLENES SOMETIDOS A INUNDACIONES

Los terraplenes altos y los sometidos a inundaciones requieren un análisis y proyecto cuidadosos basados en la resistencia a esfuerzo cortante y en la compresibilidad de los suelos que vayan a usarse en la construcción de los mismos. Los diferentes suelos que pudieran usarse deben seleccionarse y ensayarse y su resistencia al esfuerzo cortante y otras características deben estar a disposición del ingeniero proyectista. El talud que requiere cada uno de los diferentes suelos para que el terraplén sea seguro debe determinarse por un análisis de estabilidad.

Con estos datos se pueden hacer proyectos preliminares usando los diferentes suelos y estimar el costo de cada uno de los proyectos. El mejor suelo es el que con el menor costo, permite construir un terraplén satisfactorio.

La compactación de suelos con humedad superior a la óptima puede causar el acrecentamiento de la presión intersticial durante la construcción. Si el suelo es muy húmedo y el terraplén alto, la presión puede ser lo suficientemente grande como para causar deslizamientos locales, generalmente fallas de talud, en la zona húmeda. Los ensayos a esfuerzo cortante sin drenaje midiendo la presión intersticial, pueden servir para presumir esta posibilidad anticipadamente y ayudar a fijar los límites de humedad o para controlar el ritmo de la construcción de manera que concuerde con el del drenaje.

Los terrapienes sometidos a inundaciones son especialmente críticos. Terrapienes de ferrocarril que han soportado el impacto de pesados trenes por años, frecuentemente fallan en periodos de inundaciones. Estos terrapienes deben ser proyectados basándose en la resistencia al esfuerzo cortante de muestras de suelo que se hayan sumergido en agua previamente. Los taludes típicos para estos terrapienes pueden ser de tan poca inclinación como de 3 (horizontal) a 1 (vertical) y hasta de 4 a 1, cuando se hacen con suelos que se ablandan rápidamente cuando absorben agua.



FOTOS 6 Y 7.- Se puede ver la formación de capa rompedora de capilaridad sobre una zona inundable para evitar que la humedad suba al pavimento.



CIMENTACIONES DE TERRAPLENES

Las dificultades mayores de los terraplenes provienen de cimentaciones defectuosas. No es difícil construir un relleno que sea fuerte, que no tenga cambios de volumen y que sea incomprensible; pero si el suelo debajo de él es pobre, puede faltar a pesar de lo cuidadosa que haya sido la construcción. La falla

comienza debajo del terraplén y en algunos casos se extiende dentro del mismo, lo cual dificulta hallar la verdadera causa de la falla.

TERRAPLENES SOBRE GRUESOS DE SUELO DÉBIL

Los terraplenes colocados sobre suelos profundos de poca resistencia fallan por falta de capacidad de carga. Se pueden emplear las fórmulas de capacidad de carga para analizar esas fallas, si el espesor del estrato débil es, por lo menos, igual a la mitad del ancho de la base del relleno. En otros casos la estabilidad debe determinarse por tanteo usando el método sueco. Si el suelo blando está cubierto por una costra dura no debe confiarse en la resistencia de ésta para soportar la carga.

El empleo de materiales ligeros para el terraplén, como escoria, o anchos taludes de poca pendiente, pueden reducir los esfuerzos en el suelo debajo de la estructura a un valor seguro. Una berma de grava junto al pie del talud, actúa como un contrapeso que impide la combadura del suelo y puede de esa manera impedir las fallas. Si el suelo está normalmente consolidado, se puede mejorar su resistencia por consolidación por el propio peso del terraplén; en estos casos, la construcción debe ser lenta para dar tiempo a que el suelo se pueda consolidar.

Si el estrato blando es relativamente delgado, es más económico excavar el suelo en el área que se vaya a rellenar y reemplazarlo con un material algo mejor. Si el suelo blando tiene un espesor de 3.00 a 6.00 m, se puede reemplazar por desplazamiento. Cuando se emplea este método se construye el terraplén sobre el suelo blando, tan alto y pendiente como sea posible; en algunos casos es conveniente dejar que se inunde por su propio peso desplazando al suelo blando

por falla de capacidad de carga; en otros es factible remover el suelo blando que está debajo del terraplén por medio de explosivos.



FOTOS 8.- Se puede apreciar que el material orgánico fue retirado.

TERRAPLENES SOBRE SUELOS COMPRESIBLES

En algunos casos el suelo puede ser lo suficientemente resistente para soportar el peso del terraplén sin fallar, pero tan compresible que se siente mucho e irregularmente. Esto es particularmente propio de los limos y arcillas orgánicos y en grado extremo de las turbas. Las carreteras que atraviesan áreas pantanosas,

tienen frecuentemente un perfil ondulado, debido a las irregularidades del asentamiento.

Un asentamiento excesivo debido a la compresión se puede corregir preconsolidando el suelo, lo que se logra haciendo la construcción lenta, usando pilotes de arena o excavando el suelo compresible. Cualquier procedimiento que envuelva consolidación requiere un estudio cuidadoso para determinar su efectividad en cada una de las diferentes ubicaciones.

TERRAPLENES SOBRE ESTRATOS DELGADOS DE ARCILLA BLANDA.

Los terraplenes sobre estratos relativamente delgados de arcilla blanda fallan por deslizamiento horizontal a lo largo de una compleja superficie de falla que se extiende hacia arriba a través del relleno. Las fallas de este tipo ocurren generalmente durante la construcción o poco tiempo después, antes de que el estrato de arcilla haya tenido la oportunidad de consolidarse por efecto de la carga. La seguridad contra ese tipo de falla se puede determinar por el análisis del bloque del deslizamiento, usando como resistencia a esfuerzo cortante la mitad de la resistencia a compresión sin confinar del estrato de arcilla. Se puede aumentar la seguridad contra este tipo de falla usando terraplenes de peso ligero, dando menor inclinación a los taludes y haciendo la construcción lenta, para que el suelo pueda consolidarse y ganar resistencia por la carga. Los drenes verticales dentro del estrato blando aceleran, en algunos casos, la velocidad de consolidación. Si el estrato está cerca de la superficie del terreno es más económico quitarlo completamente.

V. CONCLUSIONES

El agua es necesaria e indispensable para la construcción de una carretera. En la formación de las terracerías, agregando la humedad óptima en cada capa para su compactación adecuada.

En la elaboración de sub-base y base, no sería posible sin el agua lograr la compactación que el proyecto solicita y hasta en la elaboración de la carpeta asfáltica, ya que el rodillo compactador tiene un aditamento que humedece el mismo para que la carpeta no se adhiera al rodillo y se levante la capa.

Para la elaboración de los diferentes concretos necesarios en la obra (Alcantarillas, muros, puentes, cunetas, contra cunetas, bóvedas, lavaderos, bordillos, guarniciones) y su curado. Sin embargo es el principal destructor de cualquier obra, sino se contempla canalizarla adecuadamente, de acuerdo al problema que se presenta a la construcción como:

- a) En forma de precipitación pluvial, donde se deben encausar por medio de cunetas, contra cunetas.
- b) Ríos, arroyos o canales, en los cuales, para que un proyecto cruce estos causes, se deben proyectar estructuras que contemplen la avenida máxima, la erosión, el tipo de suelo, etc.
- c) La presencia de agua en el subsuelo: Estas se encausan de acuerdo a la necesidad. Pueden ser por medio de subdrenes, drenes, geotextiles, lavaderos, alcantarillas o puentes, de acuerdo a la zona y topografía.

d) El agua superficial, lagos, lagunas o mar, cuando una obra necesariamente tiene que pasar por alguna de estas zonas, se tendrán que realizar enrocamientos geotextiles o estructuras apoyadas en placas troncos o pilas de longitudes considerables.

Si bien es cierto que el agua en la construcción es un problema que requiere de una adecuada solución, para que una carretera tenga un buen funcionamiento durante el periodo de su vida útil, también es cierto que es indispensable en la ejecución y mantenimiento de las obras.

El uso de geotextiles favorece el procedimiento de construcción de carreteras en suelos de baja capacidad de carga, ya que reduce la magnitud de los asentamientos y evita la contaminación del material agregado con los del subsuelo pudiendo construirse una sección transversal homogénea.

Se hizo mención a la lentitud con que se desarrolla la comprensión de una arcilla, cuando se aumenta la carga que la misma soporta. En una pequeña parte, ésta lentitud se debe a un ajuste gradual en la posición de los granos, ajuste que se produce tanto en arenas como en arcillas. Pero en arcillas, la causa principal tiene como fuente la muy baja permeabilidad que estos suelos poseen, razón por la cual se necesita mucho tiempo para que, con el aumento de presiones, el agua excedente sea drenada y se restablezca el equilibrio de este aspecto. La disminución gradual del contenido de humedad a carga constante se denomina *consolidación*.

La consolidación progresiva, se conoce como *consolidación primaria*. El efecto secundario es probablemente una consecuencia del hecho de que la comprensión de una capa de arcilla está asociada con el deslizamiento mutuo entre granos.

Como la adherencia entre granos deriva de la existencia de capas de agua absorbida con una muy alta viscosidad, la resistencia de estas capas a la deformación tangencial demoraría la compresión, aún cuando el retardo en tiempo proveniente de la baja permeabilidad de la arcilla fuese despreciable.

En los suelos inorgánicos el ritmo de los asentamientos originados por el efecto secundario varía entre casi 0 y aproximadamente 2 cm por año. A pesar de que el efecto secundario se puede observar y medir durante la ejecución de los ensayos de consolidación, los resultados de los varios intentos realizados para predecir el asentamiento de estructuras de tamaño natural provocado por el efecto secundario.

Si se retira la presión que actúa sobre un estrato de arcilla, por ejemplo, excavando un pozo o un túnel, la expansión volumétrica de la arcilla no empieza hasta después de una semana o más de haber terminado la excavación. Asimismo, en algunos pocos casos se ha observado que la consolidación de tales estratos por la acción de cargas impuestas no se inicia, sino después de algunas semanas de haber aplicado la carga. Estos retardos que experimenta la arcilla para reaccionar bajo el efecto de un cambio de tensión, así como también el efecto secundario y la influencia que la magnitud del incremento de presión tiene sobre los materiales, no se pueden explicar por medio del simple concepto mecánico.

Las autopistas, aeropuertos, ferrocarriles etc., se han desarrollado diferentes técnicas de construcción, para solucionar los problemas de Diseño sobre Suelos Blandos.

Pero se podría decir que el más importante es el tiempo que se le da a un proyecto para una adecuada construcción y consolidación. Como conclusión se presenta el siguiente diagrama:

DIAGRAMA DE LAS TÉCNICAS PARA SUELOS BLANDOS



<u>USOS</u>	<u>USOS</u>	<u>USOS</u>	<u>USOS</u>	<u>USOS</u>
<p>RECOMENDADOS Donde el estrato de turba o arcilla sea menor de 2 m.</p> <p>VENTAJAS La cimentación es sobre el estrato sano.</p> <p>DESVENTAJAS El costo de extraer todo el material indeseable desperdiciado y sustituir por material de banco.</p>	<p>RECOMENDADOS En zonas pantanosas y donde no se pueda introducir con maquinaria</p> <p>VENTAJAS Confina y evita la incrustación del material, reduce costos.</p> <p>DESVENTAJAS Los asentamientos y consolidación tarda hasta 2 ó 3 años.</p>	<p>RECOMENDADOS En suelos blandos y salitrosos, ejemplo en el Estado de México.</p> <p>VENTAJAS Forman un estrato resistente donde descansa el pavimento.</p> <p>DESVENTAJAS El costo de los materiales incluyendo cemento</p>	<p>RECOMENDADOS En aeropuertos y autopistas.</p> <p>VENTAJAS Los asentamientos son mínimos.</p> <p>DESVENTAJAS El acarreo del material como tezontle y el costo de sus acarreos.</p>	<p>RECOMENDADOS Todos los suelos blandos</p> <p>VENTAJAS Construir sobre suelos consolidados genera menos mantenimiento.</p> <p>DESVENTAJAS Tiempo de ejecución de obra e inversión inmediata sin ver los resultados.</p>

GLOSARIO

RELLENOS SOBRE SUELOS BLANDOS

En muchos trabajos sobre terrenos, se ponen rellenos de buena calidad sobre terrenos anegados o pantanosos. La iniciación del trabajo puede ser muy importante, ya que no es posible lanzarse sobre el suelo blando para depositar y compactar capas convencionales de suelos de relleno. El lodo puede fallar creando olas de lodo que hagan que el suelo se haga todavía más blando.

Casi siempre conviene mantener la integridad del suelo subyacente y aprovecharse de su resistencia limitada. Esto se puede hacer colocando una primera capa relativamente gruesa, quizás de 12 a 18 pulgadas (30 a 45 cm.). Esta primera capa debe colocarse con equipos muy ligeros; Por medio de experimentos se puede determinar que equipos se pueden utilizar para ese estrato compactado.

Luego se ponen capas sucesivas con equipos mayores y se pueden ocupar compactadores mayores en las capas sucesivas, para obtener una compactación cada vez mejor, a medida que va aumentando el espesor del relleno.

SUELOS

La tierra se originó de varias rocas y consiste en fragmentos, pedazos, trozos y partículas diminutas de rocas.

Las rocas se erosionan gradualmente, se descomponen y se ablandan en el lugar que se encuentran. Estas rocas descompuestas y modificadas se

transforman en tierra, que se conoce como suelo residual. Cuando los materiales rocosos descompuestos se deslavan, debido casi siempre a las lluvias y corrientes de agua, descienden a zonas más bajas, donde se depositan en el fondo de los valles. Este suelo, se conoce como aluvión.

En algunos casos, este tipo de terrenos se erosione con el viento. Los suelos arenosos forman dunas. En la zona central oriente de Estados Unidos y en otras regiones del mundo, los suelos limosos se han desplazado grandes distancias, arrastrados por el viento, en los que se conoce como "tormenta de polvo" o "polvaredas". Con frecuencia esos materiales forman capas de varios centenares de metros de espesor. Este de suelo se denomina loess y tiene características peculiares que requieren de experiencia para trabajar sobre él.

Cuando los arroyos o los ríos deslavan los suelos aluviales y los llevan hasta el mar, estos se depositan en el fondo y se les conoce como depósitos marinos. Los depósitos marinos del fondo de los lagos, se llaman depósitos lacustres. Por su parte, los depósitos marinos de arena y limo o arcilla pueden llegar a tener gran espesor. Al contrario de lo que algunos creen, la arena no procede de los mares, sino que la llevan a él los ríos y los arroyos. A veces, el levantamiento de los suelos marinos puede hacer que esas formaciones se transformen en montañas u otras formas de tierras secas. En muchas regiones de Estados Unidos, esos depósitos sedimentarios marino constituyen las zonas rocosas y la superficie de los suelos. En general, estos suelos son firmes o de rocas blandas

Los suelos más comunes que se encuentran al efectuar trabajos normales de construcción, son una mezcla de muchas partículas minerales que en general, proceden de varios tipos de rocas. Además de las partículas minerales, los suelos

contienen agua, aire, o quizás gases o materiales orgánicos, tales como raíces o humus, y en algunos casos, compuestos químicos.

ARENA

Los suelos de arena y de otras partículas más gruesas, se clasifican de acuerdo con el tamaño de las partículas que los forman. Esto se indica en la tabla de graduación de tamaños de partículas.

Así mismo, en función de la forma de sus partículas, la arena se puede clasificar en angular, subangular o redondeada.

En general, la arena se considera como material conveniente para la construcción, y por lo común, los suelos arenosos como adecuados para apoyar cimentaciones. En la Biblia se critica injustificadamente a la arena, ya que solo en algunas circunstancias puede llegar a plantear problemas, y casi siempre debido al agua. Por ejemplo, los depósitos de arena demasiados cercanos al mar o los ríos, pueden deslavarse debajo de las cimentaciones de los edificios.

Por otro lado, el agua que asciende por un depósito arenoso, debido al flujo artesiano o a otras causas, puede crear inestabilidad en el suelo. Con frecuencia a este depósito se le denomina "arenas movedizas". En los sitios "secos", la arena constituye un buen material de cimentación, y tiene menos probabilidad de que haya asentamientos inadecuados y puede decirse que es un buen material de construcción.

El agua no se deposita en la arena, sino que circula libremente a través de ella. Cualquier arena que retenga agua contiene una mezcla de otros materiales de

grano más fino que la tapona; Cuando una capa de arena esta cerrada en su parte inferior por suelos de limo o arcilla, el agua puede quedarse estancada en ella. Por lo común esto se conoce como agua alslada.

En general, las excavaciones en arena son inestables; Las excavaciones en seco se desploman por lo común y pendientes de 1-1/2 horizontal 1 vertical; sin embargo la arena mojada puede sostenerse en laderas mas pronunciadas incluso verticales, durante periodos breves. No obstante, las excavaciones en arena con mayor pendiente que 1:1, tienden a desplomarse en unos cuantos días o unas semanas, deslizándose hasta llegar a una pendiente menos pronunciada que será de más o menos 1-1/2 a 1. Este último se denomina ángulo de reposo.

LIMO

En general el limo se encuentra en las llanuras en que hay inundaciones o en torno a los lagos. Este lo depositan las tolvaneras o las corrientes de agua. Se compone de fragmentos de rocas finamente molidas y es inorgánico. A veces, se llama limo o material inorgánico negro.

Por lo común, una porción seca de limo se puede romper fácilmente con la mano. El material es seco y polvoriento.

El limo retiene bien el agua, y en general, es blando cuando esta húmedo. Una porción de limo húmedo, al sostenerlo con la mano y sacudirlo hacia delante y hacia atrás se aplana, como masa de pastel, y parece movedizo. Brilla cuando el agua sale a la superficie.

Con frecuencia se encuentra limo mezclado con arena fina o mediana. Muchas veces la "arena sucia" es una mezcla de limo y arena. Por lo común, el limo no es un buen material de construcción, en lo que se refiere a las cimentaciones, a menos que se comprima y se endurezca como formación de rocas limosas, o cuando se ha desecado por completo. Hay limo en muchos valles y fondos de ríos; Casi siempre está: suelto y húmedo, y en general es fácil que se comprima bajo cargas ligeras de cimentación, provocando un asentamiento de los edificios.

Resulta difícil usar el limo como material de construcción en terraplenes compactados; No se mezcla bien con el agua. Así mismo, tiende a desmenuzarse cuando se seca o ceder bajos los equipos de compactación, cuando esta ligeramente húmedo.

Algunos limos se componen de partículas en forma de agujas o plaquetas planas. Estos limos se comportan de manera similar a la arcilla; sin embargo otros tipos de limos se componen de partículas angulares, que se parecen a la arena de grano muy fino. Cuando se permite un drenaje lento, sus características de resistencia pueden ser similares a la de la arena fina.

ARCILLA

La arcilla se compone de partículas rocosas extremadamente finas, que pueden ser redondeadas, planas, en forma de agujas o de otros tipos; Un trozo de arcilla es seco y duro, y difícil de romper con la mano. La arcilla mojada puede amasarse y moldearse, como sucede con la arcilla del alfarero.

Las características de la arcilla se pueden determinar en función del tamaño de las

partículas. Por lo común los suelos arcillosos contienen cierta cantidad de agua, que va del 10 al 50 % por peso.

El agua tiende a mantener unidas las partículas del material, y por otra parte, posee tensión superficial, por lo que actúa como pegamento ligero. Cuando la capa de agua se hace muy delgada, aumenta la tensión superficial y se hace mayor el efecto de adherencia. Los pedazos de arcilla casi seca se vuelven muy duros.

Aunque la fuerza de tensión superficial del agua es muy pequeña con relación a la arcilla, esta resulta grande debido a las enormes áreas superficiales que posee. Las partículas pequeñas se mantienen literalmente unidas, se desaguan lentamente y se comprimen, cuando se colocan cimentaciones sobre ellas. Es difícil usarlas como materiales de construcción, porque seden y fluyen bajo los equipos de compactación, además de que se desaguan con mucha lentitud. Las excavaciones en arcilla suelen ser estables. Emparedes altas y muy pendientes, las arcillas firmes no se desploman. El exceso de altura o verticalidad provoca deslizamientos de tierras.

Una de las primeras causas de estos deslizamientos es la adición de agua a la arcilla y la reducción consiguiente de la tensión superficial en las pequeñas partículas de arcilla.

MEZCLAS DE ARENA, LIMO Y ARCILLA.

Por lo común, los suelos son una mezcla de dos o más materiales: arena y limo, limo y arcilla o una mezcla de los tres. Por tanto, las características de esos suelos se modifican. Por ejemplo, la arena con cierto porcentaje de limo y arcilla puede compactarse bien y proporcionar un suelo muy firme; Así mismo, la permeabilidad puede ser muy baja, lo cual hace que ese material sea apropiado para el

recubrimiento de depósitos de agua. Los suelos que contienen granos grandes, medianos y finos se dice que están bien graduados, mientras que los suelos con partículas de un solo tamaño se dice que esta mal graduados.

LODO

En general, el lodo es limo, arcilla o una mezcla de los dos materiales con una gran cantidad de agua. Así mismo, puede contener materias orgánicas, incluso la arena con cierta cantidad de arcilla o limo puede denominarse "lodo", cuando está demasiado húmeda. Cuando los lodos se secan, se contraen y se agrietan mucho.

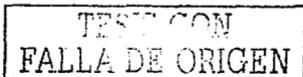
TURBA

En los bosques, pantanos, pastos densos y otros lugares de mucha vegetación, los materiales orgánicos muertos se acumulan en el terreno o bajo el agua, pudiendo formarse gruesos lechos de material orgánico en descomposición. Suelen ser de color café o negro y contienen cantidades diversas de tierra.

DEFINICIÓN Y PROCEDENCIA DEL ASFALTO

El asfalto puede definirse como un material de color oscuro, con cualidades aglutinantes, compuesto esencialmente de Hidrocarburo casi en su totalidad soluble en Bisulfuro de Carbono, sólido o semisólido a las temperaturas ambientes ordinarias y que se licua gradualmente al calentarse.

También es parte integrante de muchos petróleos en los cuales existe en solución. Cuando se refinan dichos petróleos para separar las fracciones volátiles el residuo que queda es el asfalto. El asfalto se encuentra mezclados con cantidades variables de



minerales, agua y otras sustancias. Los depósitos naturales en que el asfalto se presenta dentro de la estructura de una roca porosa se conoce con el nombre de asfaltos de roca o también como rocas asfálticas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ASFALTO

El asfalto es de particular interés al ingeniero porque es un material fuertemente cementante, altamente adhesivo, impermeable y durable. Es una sustancia termoplástica, que imparte flexibilidad controlable a las mezclas de agregados minerales con los cuales se combina. Es además muy resistente a la acción de la mayor parte de los álcalis, ácidos y sales. Puede ser licuado aplicándole calor, disolviéndolo en derivados del petróleo de distintiva volatilidad o bien, emulsificándolo con agua.

ASFALTOS NATURALES

Los asfaltos naturales se manifiestan en diversas formas, entre las que destacan,, las siguientes:

MANANTIALES ASFÁLTICOS. Se presentan en algunos lugares fuentes de las que fluye petróleo o asfalto liquido, generalmente en pequeña cantidad. Proviienen por lo común de depósitos de cierta importancia de materiales de este tipo con salida al exterior por alguna grieta de la roca.

LAGOS ASFÁLTICOS. A veces, manantiales como los descritos, pero de gran caudal, situados en el fondo de depresiones profundas, pueden dar lugar a la formación de lagos de asfalto, con sencillos procesos de refinación que le eliminan las sustancias perjudiciales. Se dice que Colón usó asfalto de este Lago Trinidad para calafatear sus barcos en su viaje de regreso a España. El Lago proporcionó

también la mayor parte del asfalto que se usó en Estados Unidos en los trabajos de pavimentación, antes de la producción en gran escala del asfalto derivado del petróleo.

EXUDACIONES. Se presentan en rocas muy porosas saturadas de asfalto, de las que éste fluye bajo los efectos del calor o de alguna presión interior.

IMPREGNANDO ROCAS. Son bastante frecuentes los yacimientos de rocas más o menos porosas en las que el asfalto se encuentra llenando parcial o totalmente los poros, pero sin llegar a exudar. La proporción de asfalto contenido en estas rocas puede variar dentro de límites amplios, siendo de más utilidad aquéllas cuya proporción de asfalto es mayor del 7%.

FILONES. Son intrusiones de asfalto en una masa rocosa, a través de grietas o fallas en alguno de sus estratos o bien, son simplemente la sedimentación alternada de capas de asfalto y otros materiales. El primer origen generalmente da lugar a filones inclinados o verticales y el segundo a filones horizontales. Es el caso de la llamada "gilsonita" que se encuentra en algunas regiones de los Estados Unidos formando filones verticales que se explotan a cielo abierto. Son famosos los filones de asfalto que se encuentran en el lecho del Mar Muerto. El asfalto contenido en ellos se denomina "asfaltites", caracterizándose por su elevado punto de fusión; cuando se desprende alguna cantidad de asfalto de esos filones, por efecto de terremotos u otras sacudidas, los trozos de asfalto, por su menor densidad, flotan en la superficie, donde pueden recogerse. Este asfalto no se explota industrialmente, ya que las cantidades que pueden obtenerse son muy pequeñas; su principal interés estriba en que fue una de las primeras fuentes de suministro de asfalto en la antigüedad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ing. Domingo Sánchez Rosado. Materiales Utilizados en la Pavimentación. Ed. Dirección General de Servicios Técnicos de la S.C.T.
2. Simposio sobre Geosintéticos: Memorias del Simposio Realizado en julio de 1990. Ed. Rodrigo Murrillo F. Y Soc. Mexicana de Mecánica de Suelos. 190 p.
3. Alfonso Rico Rodríguez y Herminio del Castillo. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Ed. Limusa, 1974.
4. Jesús del Río. Deformación Plástica de los Materiales: La Forja y la Laminación en Caliente. Ed. Gustavo Gill, S.A. 381. p.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN