

300615

17

2y



Universidad La Salle

Escuela de Ingeniería Civil

Incorporada a la U.N.A.M.

**Procedimiento Constructivo y Control de
Calidad de los Materiales Empleados en
Terracerías**

Tesis Profesional

**Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL**

presenta

ALEJANDRO MIER Y TERAN MARQUEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1988



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.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
DEFINICIONES	3

C A P I T U L O 1

ESTUDIO Y EXPLORACION DEL SUELO

I.1	Origen de los Suelos	7
I.1.1	Intemperismo	
I.1.2	Suelos Transportados	
I.1.3	Suelos Residuales	
I.1.4	Suelos Orgánicos	
I.2	Relaciones Volumétricas y Gravimétricas	10
I.3	Tamaño y Forma de las Partículas que Constituyen una Terracería.	15
I.3.1	Análisis Mecánico e Granulométrico	
I.3.2	Límites de Atterberg	
I.4	Clasificación de Suelos	22
I.4.1	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)	
I.4.2	Sistema de Clasificación de la Public Road Administration (P.R.A.)	
I.5	Exploración del Suelo	33
I.5.1	Penetrómetros	
I.6	Datos Complementarios de Campo para lograr una buena Exploración	37
I.6.1	Influencia del Tamaño del Proyecto sobre el Programa de Exploración	

C A P I T U L O II

ESTUDIO DE LOS ESFUERZOS A QUE SE ENCUENTRAN SOMETIDOS LAS SUPERFICIES DE RODAMIENTO

2.1	Disposición de las Sub-bases, Bases y Pavimentos para Resistir los Esfuerzos.	42
2.1.1	Resistencia al Movimiento y Esfuerzo de Tracción	
2.2	Esfuerzo de Presión e Impacto	44
2.3	Esfuerzos Tangenciales	51
2.3.1	Esfuerzos Tangenciales Longitudinales	
2.3.2	Esfuerzos Tangenciales Transversales	
2.4	Esfuerzo de Frenado	53
2.5	Esfuerzo de Succión	55
2.6	Características de las Sub-bases, Bases y Pavimentos para Resistir los Esfuerzos.	56

C A P I T U L O III

CONTROL DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE TERRACERIAS

3.1	Introducción	63
3.2	Alcances del Sistema Constructivo	65
3.3	Limpieza y Desbrozamiento	66
3.3.1	Limpieza para el Camino en Zonas Metropolitanas.	
3.4	La Terracería (Construcción)	69
3.5	Excavación	69
3.5.1	Cortes	
3.6	Criterios para el Acarreo de los Materiales	75

3.7	Deslizamientos y Desprendimientos	74
3.7.I	Sobreacarreos	
3.7.2	El Diagrama de Masas	
3.8	Material de Préstamos y Desperdicios	79
3.8.I	Construcción de Rellenos y Terraplenes	
3.9	Control de la Construcción de Terraplenes	83
3.9.I	Practica General para la Construcción de terraplenes	
3.10	Compactación del Relleno de Zanjas y Trincheras	85
3.10.I	Espesor de las Capas del Suelo	
3.10.2	Compactación del Terreno Natural	
3.II	Pagos por Construcción de Terraplenes	87

C A P I T U L O I V

P A V I M E N T A C I O N

4.1	Materiales Pétreos, Sus Características y Comportamiento	89
4.1.I	Asfaltos, Origen de los Asfaltos,	
4.2	Asfaltos Rebajados y Cementos Asfálticos	95
4.3	Recas Asfálticas	97
4.4	Diferentes tipos de Carpetas Asfálticas	97
4.5	Pavimentos de Concreto Hidráulico	99
CONCLUSIONES		101
BIBLIOGRAFIA		103

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.- ABERTURAS DE MALLAS DEL SISTEMA TYLER

TABLA 2.- SISTEMA DE CLASIFICACION DEL PUBLIC ROADS
ADMINISTRATION

TABLA 3.- CLASIFICACION DE SUELOS DE LA AASHO

TABLA 4.- REQUERIMIENTOS MINIMOS RECOMENDADOS PARA LA
COMPACTACION DE TERRACERIAS Y SIPRASANTES

INDICE DE GRAFICAS

- FIG.- 1 VOLUMEN DEL SUELO
- FIG.- 2 CLASIFICACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DEL SUELO
- FIG.- 3 GRAFICAS TRIANGULARES PARA CLASIFICACION DE SUELOS POR SU GRANULOMETRIA
- FIG.- 4 CARTA DE PLASTICIDAD
- FIG.- 5 TIPOS DE MUESTREADORES
- FIG.- 6 PENETROMETROS
- FIG.- 7 ESPECIFICACIONES DE CAMIONES DE CAJAS CERRADAS O REDILAS
- FIG.- 8 ESPECIFICACIONES DE AUTOBUSES
- FIG.- 9 ESPECIFICACIONES DE SEMIREMOLQUES
- FIG.- 10 DISTRIBUCION DE LA PRESION ESTATICA EN PAVIMENTOS
- FIG.- 11 GRAFICA DE EVALUACION DE PRESIONES
- FIG.- 12 GRAFICA DE FUERZAS EQUILIBRADAS EN LA TERRACERIA
- FIG.- 13 ESFUERZO DE FRENADO Y ADHERENCIA
- FIG.- 14 SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAMINO
- FIG.- 15 DIAGRAMA DE MASAS Y PERFIL

I N T R O D U C C I O N

La infraestructura carretera, debido al perfeccionamiento constante del automóvil y dada las características geográficas y socioeconómicas del país, constituye el sustento principal del sistema de transporte para lograr la integración de nuestro territorio, responder a la demanda del crecimiento económico e inducir un desarrollo regional y social más equilibrado.

A consecuencia de esto se presenta toda una serie de transformaciones básicas, medidas entre la moderna carretera, de trazas y pendientes impecables, con bases sólidas, capaces de resistir los esfuerzos del tráfico automovilístico pesado, y la antigua calzada polvorienta llena de baches.

En la construcción de caminos es de gran importancia tener en cuenta siempre los factores determinantes como son las propiedades mecánicas de los suelos precedida por la obtención de muestras representativas en el campo, el estudio de los bancos de préstamo para la construcción de terraplenes, bases e pavimentos y la calidad de los materiales empleados (tan considerable tratándose de obras de carácter público de cierta envergadura) y ligada a este es la importancia de la conservación y reparación de los caminos.

La seguridad del tránsito exige que la superficie de un pavimento (rígido o flexible), pesa y conserve ciertas características como son la rugosidad, resistencia y dureza.

El procedimiento constructivo incluye desde la limpieza del lugar hasta completar la infraestructura (cimentación, -- terracería y pavimentos), los métodos de pago por los trabajos realizados, la aplicación de los principios de mecánica de -- suelos a la construcción de terracerías y el control de calidad de los materiales para obtener una vía rápida de construir, eficiente y segura.

D E F I N I C I O N E S

Conviene desde luego, dar definiciones exactas y precisas de lo que es un camino y de las partes que lo constituyen.

Camino: Es el acomodamiento de la tierra de la corteza terrestre para permitir un fácil rodamiento de los vehículos sobre ella; también es el medio físico mediante el cual se transportan mercancías diversas y pasajes a costos muy bajos acortando distancias de recorrido.

- Además:**
- + Crea en el usuario una conciencia de contribución mediante fórmulas que permiten la conservación del vehículo.
 - + Permite canalizar remanentes hacia obras del mismo tipo.
 - + Derivan remanentes para la creación de una infraestructura turística.
 - + Ayudan a integrar al país especialmente a Baja California y la Península de Yucatán.

En la estructura de un camino cabe distinguir:

- 1) Cimentación
- 2) Terracerías (Base y Sub-base)
- 3) Pavimento (Carpeta)
- 4) Drenaje

Cimentación: La cimentación en un camino es la propia corteza terrestre sobre la cual se apoya directamente la estructura. No tiene más que un requisito que llenar: "CAPACI--

DAD DE CARGA*.

Terracerías: Para hacer el acomodamiento de las partículas de la corteza terrestre, tenemos que hacer rellenos de -- hondonadas y cortes; incluiremos pues, en la denominación de terracerías, tanto terraplenes como cortes. Una base es la ca pa que se encuentra inmediatamente por debajo de la superficie de desgaste, ya sea que la superficie sea bituminosa o de concreto.

Las condiciones que necesitan llenar las terracerías son las siguientes:

- 1) Capacidad para soportar cargas.
- 2) Resistencia a la desintegración por intemperismo.
- 3) Mínimo cambio de volumen por variación de humedad.

Pavimentos: Llamamos pavimentos a la parte del camino -- que colocamos sobre la terracería y que debe llenar los si--- guientes requisitos:

- 1) Capacidad de carga.
- 2) Superficie uniforme.
- 3) Resistencia al desgaste.
- 4) Adherencia con la rueda.
- 5) Resistencia a la desintegración por intemperismo o -- per efecto del agua del subsuelo.

La carpeta de un camino es la capa de espesor determinada, construida sobre la base, con materiales pétreos de tamaños especificados y un producto asfáltico, un cemento asfáltice o un cemento hidráulico y agua, que se utiliza como superficie de rodamiento.

La corona es la superficie terminada de un camino con pavimento, comprendida entre las aristas superiores de los taludes de un terraplén o entre las cunetas de un corte. La proyección vertical del desarrollo del eje de la corona de un camino recibe el nombre de Rasante.

Drenaje: Es el recoger, conducir y evacuar el agua superficial que se acumula sobre o cerca de los caminos o que fluye en corrientes que cruzan o bordean los mismos. El fracaso de un camino puede ser por un drenaje incorrecto. Puede ser llevado a cabo por tubos, alcantarillas, cunetas, contracunetas, canales o algún otro sistema que garantice la eliminación del agua del camino.

El drenaje puede ser longitudinal y en este caso se verifica por el bombeo del camino, las cunetas que recogen el agua que cae sobre el pavimento y las contracunetas, o transversal, que se verifica por medio de tubos y alcantarillas.

El bombeo de un camino es la pendiente transversal descendente que se da a la corona o sub-corona de un tramo en tangente, a partir de su eje y hacia ambos lados.

C A P I T U L O I

ESTUDIO Y EXPLICACION DEL SUELO

I.1 ORIGEN DE LOS SUELOS

El suelo es considerado como el manto de material relativamente suelto, producto de la desintegración y descomposición de las rocas de la corteza terrestre, originada por la acción de varios factores naturales, los cuales se llaman agentes de intemperismo. De la intensidad con que éstos actúan dependen, en gran parte, las propiedades físicas y químicas del suelo resultante. Para efectos de terracerías los materiales así formados (al natural o por trituración), los utilizaremos en conjunto sin impartir la diversificación de tamaños y sometiéndoles exclusivamente a un proceso de compactación prefijado en el proyecto.

I.1.1 INTemperismo

Los agentes de intemperismo ejercen una acción mecánica o química la cuál actúa de las siguientes maneras:

a) Agentes Mecánicos:

- El calor del sol (Exfoliación), al actuar sobre la superficie de las rocas, calienta su exterior más que el interior, induciendo diferencias de expansión que generan esfuerzos cortantes muy considerables, los cuales producen la fractura de la capa superior de la roca y el desprendimiento de dicha capa.

- El Agua, actúa mecánicamente, arrastrando los fragmentos angulosos de roca desde las partes altas provocando la fricción de unos contra otros, hasta hacerlos de formas redondas.

- El Viento, desarrolla una acción abrasiva al arrastrar arenas; los glaciares actúan de igual manera al arrastrar grandes masas de fragmentos de roca.

b) Agentes Químicos:

- Oxidación, se presenta cuando el oxígeno del aire en presencia de humedad, reacciona químicamente en algunas, - rocas, principalmente las que contienen hierro.

- Carbonatación, el bióxido de carbono (CO_2), en unión con el agua, forma ácido carbónico, el cual ataca las - rocas que contienen hierro, calcio, magnesio, sodio o potasio provocando que las rocas ígneas, que en su mayoría contienen estos elementos, puedan ser descompuestas por el CO_2 .

- Hidratación, se presenta con el incremento de agua en los minerales de una roca.

I.1.2 SUELOS TRANSPORTADOS

Los agentes de intemperismo actúan con frecuencia simultáneamente y los productos de la desintegración y descomposición son, casi siempre, acarreados de las partes altas de -- las montañas hasta ser depositados en las partes bajas por -- los diferentes agentes de transporte: fuerzas de gravedad, -- agua en movimiento, viento e glaciares. Los suelos así depositados los llamamos "Suelos Transportados", o de acarreo.

Los suelos transportados, se clasifican según el agente de transporte que los condujo y depositó.

Por gravedad ---- Talus

Aluviales abanicos aluviales

Per el agua --- Lacustres

Marines

Per el viento - Eólicas Leess

Dunas

Per glaciars - Depósitos glaciars

Los trozos de roca desintegrada que ruedan por gravedad sobre las laderas de las montañas y se detienen al pie de éstas, formando depósitos reciben el nombre de "Talus", los cuales están constituidos por partículas gruesas y angulosas, de muy diversos tamaños.

Entre los suelos transportados y depositados por el agua se distinguen aquellos arrastrados por los ríos o suelos aluviales; los cuales varían dependiendo de las características de la corriente y de la topografía del cauce.

En el fondo de los lagos se forman depósitos de materiales muy finos (arenas finas, limos y arcillas) acarreados por los ríos que desembocan a ellos o por la acción del viento. - Muchas depósitos lacustres que en la actualidad se encuentran libres de agua son, en realidad fondos de lagos desecados.

El viento es capaz de transportar grandes cantidades de polvo constituido en su mayoría por limos y arenas finas o mediana, que van a depositarse en lugares donde la velocidad del viento disminuye. Los suelos denominados "Leess" son de origen eólico y tienen propiedades muy importantes desde el punto de vista de la construcción, porque están formados por partículas finas, de tamaño muy uniforme y son sumamente permeables.

I.1.3 SUELOS RESIDUALES

Este tipo de suelos es el resultado de la desintegración y descomposición de las rocas sobre las que descansan, sus características, son por lo general, menos variables de un lugar a otro de su formación que la de los suelos transportados. Frecuentemente están constituidos por partículas finas.

El espesor de los estratos de suelos residuales depende fundamentalmente de las condiciones climáticas y del tiempo de exposición a las mismas y en algunos lugares alcanza a variar decenas de metros. En zonas templadas, los suelos residuales son generalmente firmes y estables.

I.1.4 SUELOS ORGANICOS

Al ser descompuestos los restos de la vegetación y otros restos orgánicos por la acción de micro-organismos, para su propia nutrición, dejan como residuos partículas finas de tamaño coloidal, denominadas "humus"; éste se mezcla en diferentes proporciones con las partículas minerales, produciendo así, los Suelos Orgánicos.

Para el Ingeniero Civil el reconocimiento de este tipo de suelos es de gran importancia, por sus propiedades mecánicas indeseables, como son su gran compresibilidad y baja resistencia, que nos obligan a considerar precauciones especiales en el sistema constructivo.

I.2 RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS

De manera simplificada podemos considerar un suelo cons-

titud por partículas sólidas, agua y aire. En la figura No. I, se representa esquemáticamente la manera como puede considerarse integrado el volumen de un trozo de suelo. Siendo V el volumen total, V_v el volumen de los huecos que dejan las partículas entre sí, y V_s el de las partículas sólidas.

Partiendo de esto podemos deducir la siguiente ecuación:

$$(A) V = V_v + V_s$$

Por otra parte, hay que considerar que el volumen de los huecos, denominado volumen de vacíos, está a su vez ocupado por gases, V_g , y por agua, V_a , de manera que la ecuación (A) la podemos escribir de la siguiente manera:

$$(B) V = V_g + V_a + V_s$$

De los conceptos anteriores obtendremos las relaciones volumétricas de mayor uso en la Mecánica de Suelos, aplicada a la construcción de vías terrestres.

- Porosidad (n), es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo. Si expresamos la porosidad en porcentaje, la denominaremos porcentaje de vacíos.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100$$

En la disposición más suelta posible, "n" es igual a --- 47%, y en la más densa posible a 26%. La gran influencia que sobre la porosidad ejerce la forma de los granos y el grado de uniformidad, hace que la porosidad por sí misma no proporcione una indicación de si un suelo es suelto o denso.

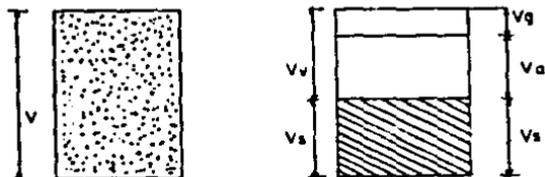


FIG. 1

2	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.005				
GRAN	AREN	ARENA	ARENA	ARENA	L I M O	A R C I L L A				
F I N A	G R U E S A		F I N A	M U Y F I N A						
U S B U R E A U O F S O I L S										
2	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002		
GRUESA	MEDIANA	FINA	GRUESO	MEDIANO	FINO	GRUESA	MEDIANA	FINA	(COLLOIDAL)	
G R A V I L L O S			L I M O			A R C I L L A				
C L A S I F I C A C I O N D E L M I T										

FIG. 2

- Relación de Vacíos, es la relación entre el volumen de los vacíos y el volumen de los sólidos.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v}$$

La relación de vacíos y la porosidad las podemos relacionar de la siguiente manera:

$$n = \frac{V_v}{V_v + V_s} = \frac{V_v/V_s}{V_v/V_s + V_s/V_s}$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad e = \frac{n}{1 - n}$$

- Grado de Saturación, es la relación del volumen de agua al de vacíos.

$$S = \frac{V_a}{V_v} \times 100$$

El suelo saturado es aquel que esta bajo el nivel freático es donde todo es agua; el suelo parcialmente saturado esta entre 0 y 100%.

Las Relaciones Gravimétricas se establecen considerando los pesos de las fases líquida y sólida:

- Contenido de Agua, si W_a es el peso seco de las partículas sólidas y W_a al del agua, el contenido de humedad se expresa:

$$W = \frac{W_a}{W_s}$$

- Pese Volumétrico Seco, es el peso del suelo seco, por unidad de volumen total y se expresa:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V}$$

- Pese Volumétrico Humedo, se considera igual que el peso volumétrico seco pero considerando el peso del agua:

$$\gamma_h = \frac{W_s + W_a}{V} = \frac{W_s + W W_s}{V} = \gamma_s(1+W)$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V} \quad W = \frac{W_a}{W_s}$$

- Compacidad Relativa, para los suelos constituidos principalmente por partículas gruesas (arena o grava) es importante conocer su grado de compacidad, el cual queda definido como "Compacidad Relativa".

$$C_r = \frac{e_o - e}{e_o - e_{min}}$$

e_o = Relación de vacíos del suelo en su estado más suelto.

e_{min} = Relación de vacíos en el estado más denso posible que puede obtenerse en el laboratorio.

e = Relación de vacíos del suelo natural en el terreno.

1.3 TAMAÑO Y FORMA DE LAS PARTICULAS QUE CONSTITUYEN UNA TERRACERIA

Los materiales que componen las terracerías pueden dividirse, teniendo en cuenta la dimensión de sus partículas, de la siguiente manera:

- a) Fragmentes de Reca (7.6cm-2.0m)
 - a.1 De a cuerde a la naturaleza de las recas:
 - a.1.1 Recas Igneas
 - Pireclástica
 - Vitrea
 - Afanítica
 - a.1.2 Recas Sedimentarias
 - Clástica
 - Orgánica
 - Cristalina
 - a.1.3 Recas Metamerficas
 - Gnesita
 - Esquistosa
 - Graneplástica
 - a.2 Per el tamaño del material los fragmentes de reca pueden ser:
 - a.2.1 Fragmentes Grandes (0.75cm-2.0m)
 - a.2.2 Fragmentes Medianos (0.20cm-0.75cm)
 - a.2.3 Fragmentes Chicos (0.076cm-0.20cm)
- b) Gravas (0.005cm-0.076cm)

Más de la mitad del material se retiene en la malla No.4.

c) Arenas

c.1 Per el tamaño de sus partículas

c.1.1 Grano Grueso (0.25mm-2.0mm)

c.1.2 Grano Fino (0.02mm-0.25mm)

c.2 Per la Forma, las partículas minerales de las gravas, que siempre son equidimensionales, se diferencian en grupos:

c.2.1 Redondas, partículas prácticamente esféricas, lo que las hace poco estables y con tendencia a la licuación, son arenas clásicas de ríos e playas.

c.2.2 Subredondeadas, partículas con aristas romas, estables.

c.2.3 Subangulosas, partículas cúbicas, crean suelos estables.

c.2.4 Angulosas, partículas con vértices y aristas aguzadas, forman suelos estables son típicas de piedra triturada, arenas residuales y arenas volcánicas cristalizadas.

d) Limos, más de la mitad del material pasa - la malla No. 200 y exhibe propiedades plásticas. Per la cantidad de minerales, materia orgánica, así como su plasticidad, los

líneas pueden concentrarse en los siguientes grupos:

- d.1 ML - Líneas inorgánicas, ligeramente plásticas.
- d.2 OL - Líneas orgánicas de baja, plasticidad.
- d.3 MF - Líneas inorgánicas, micáceas y elásticas.
- d.4 OH - Líneas orgánicas plásticas.

e) Arcillas, material cohesivo que presenta propiedades de plasticidad, más de la mitad del material pasa la malla No. 200. -- Per la cantidad de mineralen, materia orgánica, así como su plasticidad, las arcillas pueden concentrarse dentro de los siguientes grupos:

- e.1 CL - Arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad.
- e.2 CH - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad con límite líquido hasta de 500.
- e.3 OH - Arcillas orgánicas de alta plasticidad.
- e.4 OL - Arcillas orgánicas de baja a mediana plasticidad.

1.3.1 ANALISIS MECANICO O GRANULOMETRICO

Al proceso de separar un agregado de suelo en sus diferentes fracciones; cada una conteniendo granos de tamaños distintos, dentro de ciertos límites es lo que llamamos Análisis Granulométrico. Por este tipo de estudio nos hemos de dar cuenta que la mayoría de los suelos naturales contienen granos de dos o más tamaños.

El Análisis consiste en hacer pasar una porción de suelo a través de una serie de mallas o tamices de aberturas conocidas, en donde en cada una de ellas se irán deteniendo partículas cuyo tamaño es mayor que la malla que los retiene y menor que la inmediata superior; de esta manera podemos establecer la proporción relativa, en peso, de los diversos rangos de tamaño que constituyen al material en estudio. Cuando tenemos dichas proporciones para un suelo dado se dice que conocemos su "Granulometría" o textura. Comúnmente utilizamos los términos "grava, arena, limo y arcilla", para designar distintos rangos de tamaños, cuyos límites son puramente convencionales en la fig. 2, se muestran dos de estas convenciones.

Un suelo que contiene una baja proporción de partículas finas (limo y arcilla) o carece de ellas, podremos determinar su granulometría en el laboratorio simplemente con el empleo de las mallas o tamices del Sistema Tyler (tabla I). Pero si se presenta el caso contrario en que el limo y la arcilla forman una parte considerable del suelo mayor de 5 o 10% será necesario que lavemos con agua los materiales en las mallas, recogiendo el lavado que contiene a las partículas finas.

La determinación de la granulometría de la porción fina,

ABERTURA DE MALLAS DEL SISTEMA TYLER

TABLA. I

M A L L A	ABERTURA	ABERTURA
	pulg.	m m.
—————	3.0	76.2
—————	2.0	50.8
—————	1.050	26.67
—————	0.742	18.85
—————	0.525	13.33
—————	0.371	9.423
3	0.263	6.680
4	0.185	4.699
6	0.131	3.327
8	0.093	2.362
9	0.078	1.981
10	0.065	1.651
14	0.046	1.168
20	0.0328	0.833
28	0.0232	0.589
48	0.0116	0.295
60	0.0097	0.246
100	0.0058	0.147
150	0.0041	0.104
200	0.0029	0.074

o sea aquellas partículas que pasan a través de la malla No. 200, del sistema Tyler; cuya abertura es de 0.074mm., se realiza en el laboratorio basándose en la Ley de Stokes que da la velocidad con que cae una esfera de peso específico y diámetro conocidos, a través de un líquido viscoso.

1.3.2 LIMITES DE ATTERBERG

Es el estudio de las variaciones de la consistencia de los suelos finos con los cambios de humedad; a este concepto le llamamos "Límites de Consistencia o de Atterberg".

a) Límite Líquido (L.L.)

Si le agregamos a un suelo fino agua en suficiente cantidad puede convertirse prácticamente en un líquido, es decir, fluye fácilmente bajo el efecto de un pequeño esfuerzo cortante. Si se permite que el agua se evapore parcialmente, llega un momento en que el suelo empieza a ofrecer resistencia al esfuerzo cortante y se comporta como un material plástico. El contenido de agua, expresado en porcentaje por peso del suelo seco, en este momento, es el "Límite Líquido". Es pues el contenido de agua que divide los estados líquido y plástico de un suelo.

La diferencia entre el límite líquido y el plástico se llama "Índice de Plasticidad (Ip)".

b) Índice de Plasticidad (Ip)

Tomaremos en cuenta todos los contenidos de hume

dad para los cuales un suelo es plástico; por medio del índice de plasticidad obtendremos una ayuda para medir la cohesión de un suelo.

Los suelos de alto índice plástico son afectados notablemente por la variación en su contenido de humedad, aumentando de volumen con los incrementos de humedad y contrayéndose cuando éste disminuye.

c) Límite de Contracción (L.C.)

Una característica distintiva de los suelos arcillosos es la reducción o aumento de volumen que experimentan cuando se disminuye o se incrementa, respectivamente, su contenido de agua. Si del límite plástico continuáramos reduciendo la humedad, el suelo sigue reduciendo su volumen, hasta que llega un momento en que el contenido de humedad es tal, que una pérdida mayor de ésta ya no produce ninguna contracción. El contenido de agua en este momento lo llamamos "Límite de Contracción", y es el que separa el estado sólido del semi-sólido. La diferencia entre el límite plástico y el de contracción se llama "Índice de Contracción" (I.C.), y nos señala el rango de humedad, para el cual el suelo tiene una consistencia semi-sólida.

En el límite de contracción, las partículas están lo más cerca posible unas de otras, aunque entre sus vacíos haya aún agua.

d) Contracción Línea (C.L.)

Es la disminución de una dimensión expresada como--

porcentaje de la dimensión original que sufre una masa de suelo, cuando el contenido de humedad se reduce hasta el límite de contracción. La contracción lineal la podemos determinar directamente en el laboratorio ó calcularse si partimos de la contracción volumétrica.

La correlación entre los límites de Atterberg, la consistencia del suelo y los correspondientes índices se observan en el siguiente cuadro:

	Líquida	
	Límite Líquido	
	Plástica	I.P.
Consistencia	Límite Plástico	
	Semi-Sólida	I.C.
	Límite Contracción	
	Sólida	

1.4 CLASIFICACION DE SUELOS

Si tomamos en cuenta los diferentes tipos de suelos, es de esperarse que las propiedades de los suelos sean muy variables de un lugar a otro, en virtud del gran número de combinaciones que pueden resultar de la acción conjunta de los agentes de intemperismo, de transporte y biológicos.

De aquí la importancia de disponer de uno o más sistemas de clasificación que nos permitan catalogar los suelos en grupos de propiedades semejantes, para poder lograr de cada uno, sus aplicaciones prácticas adecuadas; y principalmente para la Ingeniería de Vías Terrestres que trata con suelos formados en muy diversas condiciones geológicas, climatológicas y topográficas. Las primeras clasificaciones estuvieron basadas

fundamentalmente en la textura del suelo, bajo la suposición de que los suelos de igual granulometría tendrían siempre propiedades muy semejantes, para este tipo de clasificación basta determinar los porcentajes por peso de arena, limo y arcilla y con estos datos localizar un punto en una carta de ejes triangulares, en la fig. 3 se muestran dos de estas cartas.

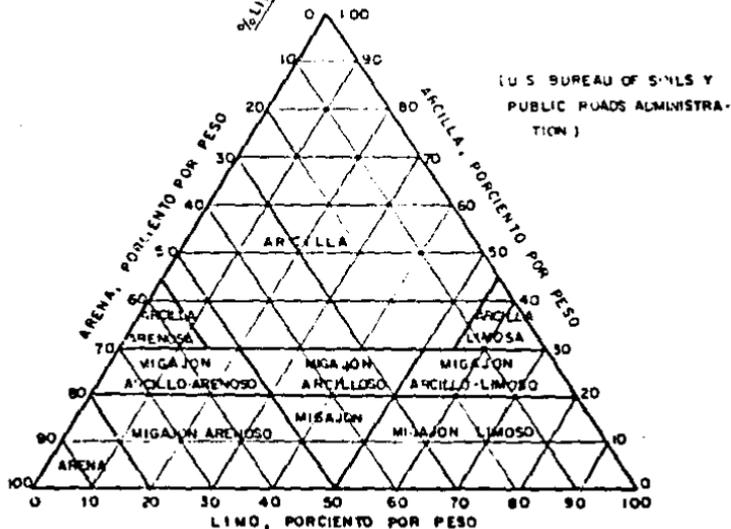
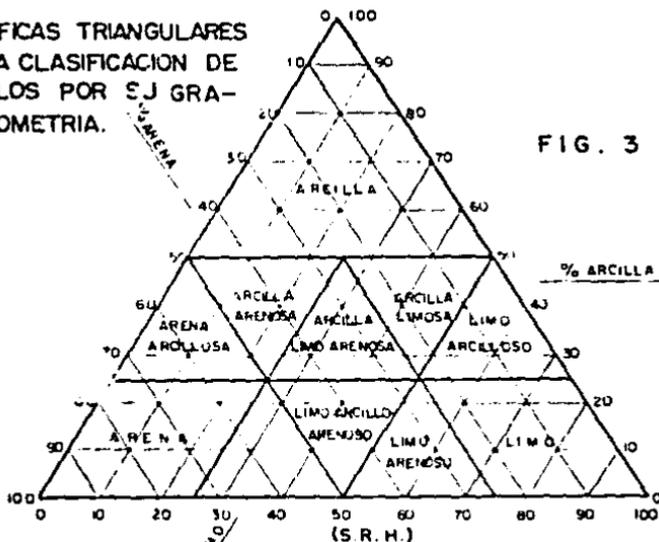
I.4.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

Originalmente con el nombre de "Sistema de Clasificación de Suelos para Aeropuertos", sufrió algunas modificaciones -- realizadas, por el "U.S. Army Corps Engineers" y el "U.S. Bureau of Reclamation" para adaptar el sistema a usos de caminos, presas de tierra y cimentaciones; actualmente se conoce con el nombre de "Sistema Unificado". Este sistema ofrece una doble ventaja de ser fácilmente adaptable al campo y al laboratorio, requiriendo de poca experiencia y algunas pruebas -- sencillas para determinar el grupo al cual pertenecen los suelos; por tomar en cuenta la granulometría, la graduación y -- las características de plasticidad, describe a los suelos de tal manera que es fácil, con un poco de criterio, asociar a cada grupo de suelo el orden de magnitud de las características mecánicas más importantes y, por consiguiente, su adaptabilidad a diversos usos en la construcción.

El Sistema Unificado se basa en unos principios sencillos con los que comienza por dividir los suelos en dos grandes categorías: "SUELOS GRUESOS Y SUELOS FINOS". Los primeros son aquellos constituidos, por mas de 50% de partículas gruesas, tomando como tales a las retenidas en la malla No. 200 -

GRAFICAS TRIANGULARES
 PARA CLASIFICACION DE
 SUELOS POR SU GRA-
 NULOMETRIA.

FIG. 3



en los segundos las partículas finas, limo y arcilla, constituyen más del 50%.

Los suelos gruesos o "granulares", se subdividen en "Gravas y Arenas", según el porcentaje de sus partículas retenidas en la malla No.4.

Las gravas se clasifican según su graduación, su porcentaje de finos y las características de plasticidad de éstas, en cuatro grupos, cada uno de los cuales se representa por un símbolo formado por dos letras.

Gravas bien graduadas (Gb): Son las que contienen menos de 5% de finos y poseen buena graduación. La buena graduación queda definida por los coeficientes de uniformidad (Cu), y de curvatura (Cc) ambos obtenidos de la curva granulométrica del suelo; una grava se considera bien graduada cuando cumple las siguientes condiciones.

$$\begin{aligned} Cu &> 4 \\ 1 &< Cc < 3 \end{aligned}$$

Gravas mal graduadas (Gm): Son las que contienen menos del 50% de finos y su curva granulométrica revela una mala graduación.

$$\begin{aligned} Cu &< 4 \\ 3 &< Cc < 1 \end{aligned}$$

Gravas limosas (Gl): Contienen más de 12% de finos no plásticos.

Gravas Arcillosas (Gb): Tienen más de 12% de fines plásticos.

Las Arenas quedarán clasificadas al igual que las gravas en cuatro grupos.

Arenas bien graduadas (Ab): Están formadas con menos de un 5% de fines y cumplen con los siguientes parámetros de uniformidad.

$$Cu > 6$$

$$1 < Cc < 3$$

Arenas mal graduadas (Am): Poseen menos del 5% de fines, con los siguientes requisitos de uniformidad.

$$Cu < 6$$

$$3 < Cc < 1$$

Arenas limosas (Al): Contienen más del 12% de fines no plásticos.

Arenas arcillosas (Ab): Contienen más del 12% de fines plásticos.

Para las gravas y arenas hay ecaciones en que los materiales presentan contenido de fines entre 5% y 12%; para estos casos les identificaremos con un símbolo doble separado por un guión.

Los suelos fines, se subdividen, según sus características de plasticidad, en dos grupos: Suelos de baja compresibilidad y Suelos altamente compresibles. La compresibilidad se

asocia al límite líquido, aceptándose como frontera arbitraria entre los dos grupos un LL-50%; siendo los del primer grupo aquellos que exhiben un límite menor.

Los materiales fines de baja compresibilidad se clasifican de la siguiente manera.

Limos poco compresibles (Lp): Formados por partículas minerales cuyas características de plasticidad, representadas en la carta de plasticidad nos dan puntos localizados abajo de la línea A y a la izquierda de la línea B.

Arcillas poco compresibles (Bp): Son suelos minerales cuyas características de plasticidad dan puntos arriba de la línea A y a la izquierda de la B.

Suelos orgánicos poco compresibles (Op): Limos o arcillas minerales con alto contenido de humus y nos dan puntos bajo la línea A y a la izquierda de la B.

Entre los suelos altamente compresibles se distinguen 3 tipos:

Limos de alta compresibilidad (Lc): Son suelos minerales cuyas características de plasticidad quedan representadas por puntos abajo de la línea A y a la derecha de la B.

Arcillas altamente compresibles (Bc): Arcilla inorgánica con alto contenido de coesiles que nos dan puntos arriba de la línea A y a la derecha de la B.

Suelos inorgánicos altamente compresibles (Oc): Limos o arcillas minerales que contienen una fuerte can

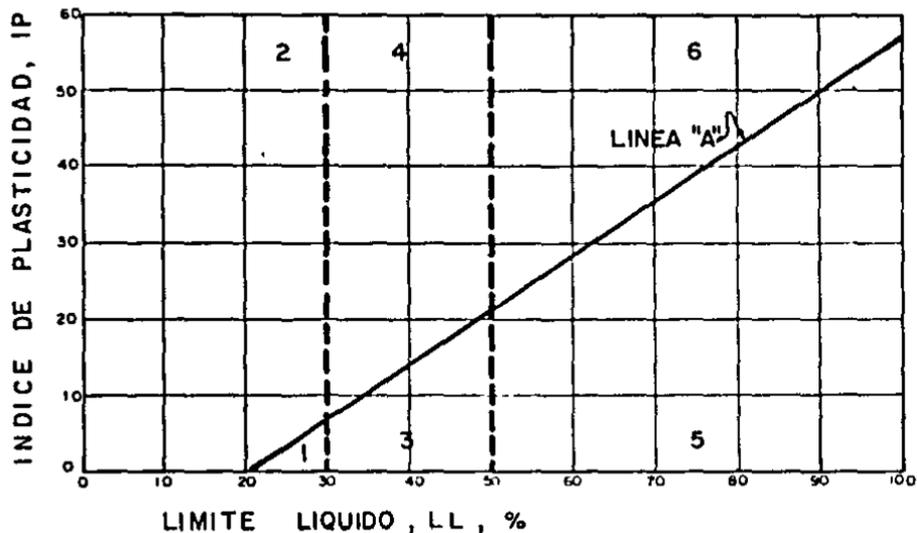
tividad de humus orgánico y sus características de plasticidad - se representan por puntos bajo la línea A y a la derecha de - la B. En la fig. 4, se muestra la Carta de Plasticidad.

1.4.2 SISTEMA DE CLASIFICACION DE LA PUBLIC ROADS ADMINISTRATION (P.R.A.)

Este sistema toma en cuenta para la clasificación de sue los su estabilidad bajo la carga de una rueda cuando se les - emplea como superficie de rodamiento; dividiendoles en ocho - grupos denominados A-1, A-2, A-3, A-8. El grupo A-1 - corresponde a los suelos gruesos de muy buena graduación y el último a los suelos de turba. En la tabla 2 se muestran las - características generales de los distintos grupos; así como - el tratamiento que requieren durante la construcción y su com portamiento bajo condiciones de trabajo. El P.R.A. sufrió al gunos cambios (1945) por parte de la American Association of State Highway Officials (A.A.S.H.O.), algunas de estas modifi caciones manteniendo esencialmente las mismas denominaciones, pero estableciendo denominaciones subdivisionales en cada uno de los grupos. Mientras que el P.R.A. considera solamente las partículas de tamaño menor que la arena gruesa, o sea aquella que pasa la malla No. 10 (2.0mm), el sistema A.A.S.H.O. toma en cuenta el efecto de las partículas de mayor diámetro. Además en este nuevo sistema se requieren conocer solamente la - granulometría y los límites líquido y plástico de los suelos. En la tabla 3 se muestran los distintos grupos y sus caracte- rísticas generales.

CARTA DE PLASTICIDAD DE A. CASAGRANDE

FIG. 4



- 1-Limos inorgánicos de baja compresibilidad.
- 2-Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
- 3-Limos orgánicos y limos inorgánicos de compresibilidad media
- 4-Arcillas inorgánicas de plasticidad media
- 5-Limos inorgánicos de gran compresibilidad y arcillas orgánicas
- 6-Arcillas inorgánicas de alta plasticidad

TABLA. 2

SISTEMA DE CLASIFICACION DEL PUBLIC ROADS ADMINISTRATION.

G R U P O	A - 1	A - 2		A - 3	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	A - 8
		FRIABLE	PLASTICO						
PROPIEDADES GENERALES DE ESTABILIDAD	Altamente estable en todo tiempo	Estable cuando está seco puede desmoronarse	Material de buena estabilidad	Estabilidad ideal cuando está confinado	Satisfactoria cuando está seco, pierde estabilidad cuando se humedece o se hiele	Difícil de compactar, estabilidad dudosa	Buena estabilidad cuando se compacta correctamente	Buena estabilidad cuando se compacta correctamente	Inestable
CONSTANTES FISICAS									
FRICCION INTERNA	Alta	Alta	Alta	Alta	Variable	Variable	Baja	Baja	Baja
COMESION	Alta	Baja	Alta	Mala	Variable	Baja	Alta	Alta	Alta
CONTRACCION	No perjudicial	Insignificante	Perjudicial cuando está mal graduado	Insignificante	Variable	Variable	Perjudicial	Perjudicial	Perjudicial
EXPANSION	Nula	Nula	Alguna	Liger a	Variable	Alta	Alta	Perjudicial	Perjudicial
CAPILARIDAD	Nula	Nula	Alguna	Liger a	Variable	Alta	Alta	Alta	Perjudicial
ELASTICIDAD	Nula	Nula	Alguna	Nula	Variable	Perjudicial	Nula	Alta	Perjudicial
CLASIFICACION POR TEXTURA	Graduado uniformemente grueso a fino	Pobre graduación	Graduacion pobre	Material grueso solamente, no cementante	Arena fina, limo sin cohesión y arcilla fríasble	Mixto y diatomáceo	Arcillas cohesivas defloculadas	Arcillas flocculadas permeables	Turba y suelos turbosos
GRADUACION GENERAL	cementante excelente	cementante pobre	cementante inferior						
LIMITES APROXIMADOS DE GRANULOMETRIA									
ARENA, %	70-85	55-80	55-80	75-100	55 (máx)	55 (máx)	55 (máx)	55 (máx)	55 (máx)
LIMO, %	10-20	0-45	0-45	%	Alto	Medio	Medio	Medio	Insignificante
ARCILLA, %	5-10	0-45	0-45	%	Bajo	Bajo	30 (mín)	30 (mín)	Insignificante
CARACTERISTICAS FISICAS									
LIMITE LIQUIDO	14-35	35 (máx.)	35 (máx.)	N. P. +	20-40	35 (mín)	35 (mín)	35 (mín)	35-400
INDICE DE PLASTICIDAD	4-9	N.D. - 34	3-15	N. P. +	0-15	0-60	18 (mín)	12 (mín)	0-60
EQUIVALENTE DE HUMEDAD DE CAMPO	No es necesario	No es necesario	No es necesario	No es necesario	30-(máx)	30-120	50 (máx)	30-100	30-400
EQUIVALENTE DE HUMEDAD A LA CENTRE	15 (máx)	12-25	2.5 (máx)	12 (máx)	No es necesario	No es necesario	No es necesario	No es necesario	No es necesario
LIMITE DE CONTRACCION	14-20	15-25	25 (máx)	No es necesario	20-30	30-120	6-14	10-30	30-120
RELACION DE CONTRACCION	1.7-1.9	1.7-1.9	1.7-1.9	No es necesario	1.5-1.7	0.7-1.5	1.7-2.0	1.7-2.0	0.3-1.4
CAMBIO DE VOLUMEN	0-1.0	0-6	0-16	Nula	0-16	0-16	17 (mín)	17 (mín)	4-200
CONTRACCION LINEAL	0-3	0-2	0-4	Nula	0-4	0-4	5 (mín)	5 (mín.)	1-30
CARACTERISTICAS DE COMPACTACION									
PESO SECO MAXIMO (Kg/m ³)	2100 (mín.)	1920-2100	1920-2100	1920-2100	1760-1920	1260-1600	1280-1760	1280-1760	1440 (máx.)
HUMEDAD OPTIMA (porcentaje del peso seco; optimo)	9	9-12	9-12	9-12	12-17	22-30	17-28	17-28	

* Porcentaje que pasa la malla N°200 0-10 + N.P. Sin plasticidad.

CLASIFICACION DE SUELOS DE LA AASHO.

TABLA. 3

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasan la malla n°200)						MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (mas del 35% pasa la malla n°200)						
GRUPOS DE CLASIFICACION*	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5 A-7-6		
ANALISIS DE MALLA, % QUE PASA N° 10 N° 40 N° 200	50máx. 30máx. 15máx.	50máx. 25máx.	51mín. 10máx.	35máx.	35 máx	35 máx	35 máx	36mín	36mín	36mín	36mín		
CARACTERISTICAS DE LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N°40 LIMITE LIQUIDO INDICE DE PLASTICIDAD	6 máx		NP	40máx 10 máx	41mín 10 máx	40máx 11mín	41mín 11mín	40máx 10máx	41mín 10máx	40máx 11mín	41mín + 11mín		
INDICE DE GRUPO**	0		0	0			4 máx			8máx	12máx	16máx	20 máx
TIPOS USUALES DE CONSTITUYENTES PRINCIPALES	Fragmentos de piedra gruesa y arena		Arena fina	Gravas limosas o arcillosas y arena				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CLASIFICACION COMO MATERIAL DE SUBRASANTE	EXCELENTE A BUENO					MEDIA A POBRE							

+ El índice de grupo deberá mostrarse entre paréntesis después del signo correspondiente; Ejem. A-2-6(3), A-4(5), A-6(2).
 * Procedimiento Disponiendo de los datos necesarios de laboratorio, procédase de izquierda a derecha en la carta anterior y se encontrará el grupo correspondiente por eliminación. El primer grupo en el que acomodados datos de laboratorio proporciona la clasificación correcta.
 + El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual a menor que el límite líquido menos 30. Para el subgrupo A-7-6 es mayor que el límite líquido menos 30.

Un aspecto importante que considera el sistema (AASHO), es el "Índice de grupo", que es un número empírico con el cual se relaciona el comportamiento de muchos suelos como material de caminos; con el podremos predecir en forma un poco más precisa el comportamiento que puede esperarse de un suelo dado y se le emplea en el diseño de pavimentos para determinar el espesor total de la base y pavimento que se requieren para el suelo en cuestión.

El índice de grupo se define por la siguiente ecuación empírica:

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

En donde: a = Es la fracción del porcentaje que pasa por la malla No. 200 y que excede a 35% pero menor de 75%, expresada como un número que varía de 1 a 40.

b = Es aquella fracción del porcentaje que pasa por la malla No. 200, mayor del 15% y menor de 55%, puede variar de 1 a 40.

c = Es la parte del valor del límite líquido que excede a 40% y es menor de 60%, puede variar de 1 a 20.

d = La porción del índice de plasticidad mayor de 10 y menor de 30, varía de 1 a 20.

I.5 EXPLORACION DEL SUELO

No sería posible efectuar un proyecto de una manera inteligente y satisfactoria, a menos que tengamos como mínimo una concepción razonable de las propiedades físicas de los suelos que debemos considerar. Las investigaciones del terreno y las de laboratorio necesarias para obtener esta información esencial, constituyen lo que denominamos: "Exploración del Suelo".

De acuerdo con nuestro proyecto, obtendremos distintos tipos de muestras de suelo sobre el cuál trazaremos nuestro camino, vía o aeropista; empleando diferentes procedimientos de exploración.

Las muestras que obtengamos de las vías construidas o de los acopios naturales de los suelos que van a emplearse en la construcción de la vía, deben ser representativas del suelo o suelos de que se trate. Las muestras podrán ser de dos clases alteradas e inalteradas.

Las "inalteradas" son aquellas que conservan la misma estructura que el suelo correspondiente en estado natural, mientras que las "Alteradas" solo pueden identificarse a veces su contenido natural de agua y el tipo de suelo. Cuando no sea preciso conocer las propiedades mecánicas de los suelos en su estado natural, como resistencia, compresibilidad o valor relativo de soporte, se recurre al empleo de muestras inalteradas. Si solamente se deseara conocer las características generales de los distintos estratos de suelo para su identificación, o bien pretendemos emplear los suelos bajo estudio para la construcción de un terraplén, una base o un relleno, nos -

bastará con obtener muestras alteradas.

La cantidad de material para las muestras alteradas no será menor de 25Kg, en muestras inalteradas las dimensiones de las mismas deberán ser cúbicas y de 40cm. por lado.

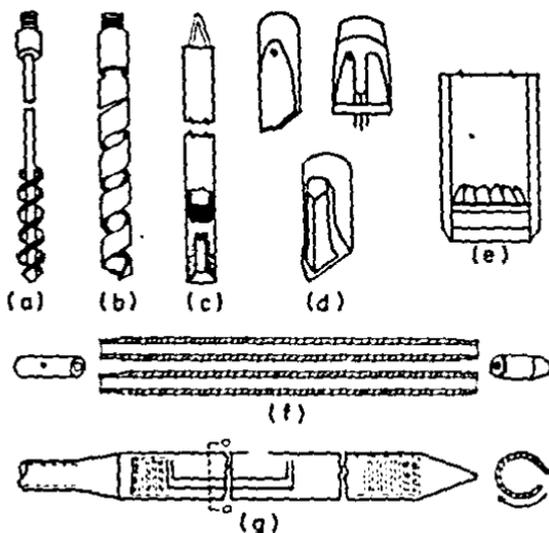
En el caso de bancos de préstamo se empleara equipo de excavación capaz de cortar varias capas de diversos materiales, dando por resultado una mezcla de todas, las muestras alteradas que obtengamos de la exploración de los préstamos deberán cumplir esa condición, una muestra que satisfaga este requisito se denomina "Muestra Integral". Si por el contrario el equipo de exploración del que disponemos solo es capaz de obtener el material en capas delgadas la determinación de las propiedades pertinentes de los materiales deberá estar basada en muestras individuales de cada uno de los estratos de suelo tales especímenes se conocen como "Muestras Parciales".

En la actualidad se cuenta con gran variedad de aparatos para muestreo, adaptables a distintos tipos de suelo y de muestras. Algunos dispositivos se ilustran en la fig. 5.

Las diversas clases de barrenos son adaptables a exploraciones preliminares en suelos cohesivos; no son recomendables para muestrear arenas, debido a que si éstas no tienen algún cementante, se escapa fácilmente de la barrena. Para estos casos recurriremos a los muestreadores formados por un tubo terminado en punta y con una ranura lateral, y otro con un tubo provisto en su extremo inferior de una zapata afilada y de una trampa que bien podría ser de muelles de acero o simplemente una válvula check.

TIPOS DE MUESTREADORES

FIG. 5



(a) y (b) Taladros.

(c) De percusión

(d) Perforadores de percusión

(e) Tubo muestreador con trampa de muelles

(f) Tubo muestreador partido

(g) Muestreador de ranura para arenas.

Este tipo de muestreadores los hincamos a golpes, para lograr que penetre con la trampa de muelles a una profundidad de 30cm esto es un índice de la compacidad del suelo y constituye un método práctico para determinar, en forma aproximada, la compacidad relativa de las arenas en su estado natural.

La obtención de muestras inalteradas en suelos blandos - la podremos llevar a cabo con un mínimo grado de alteración - mediante el uso de un tubo de lámina de acero, delgada y sin costuras, el cual está provisto de filo en el extremo inferior y se hince en el suelo a una velocidad más o menos constante. Este muestreador recibe el nombre de "Tubo Shelby".

Para las arenas y las gravas que carecen de finos cohesivos constituyen un serio problema para que podamos obtener de estos materiales muestras inalteradas, debido a la falta de adherencia entre las partículas; por esto cuando deseamos obtener especímenes representativos de las propiedades naturales de éstos suelos recurriremos a otro tipo de procedimiento.

Si el material por explorar se encuentra bajo el agua se procede a congelarlo y extraer nuestra muestra de material -- congelado por medio de una máquina rotatoria.

I.5.1 PENETACMETROS

Cuando se hacen exploraciones de grandes áreas, en las que se requiere conocer en forma más o menos detallada las variaciones que presentan los diversos estratos de suelo de un lugar a otro, dentro de nuestra área de proyecto, resultaría antieconómico realizar perforaciones de las que se obtuviera

muestras inalteradas ó alteradas, en un número suficiente para obtener esa información detallada.

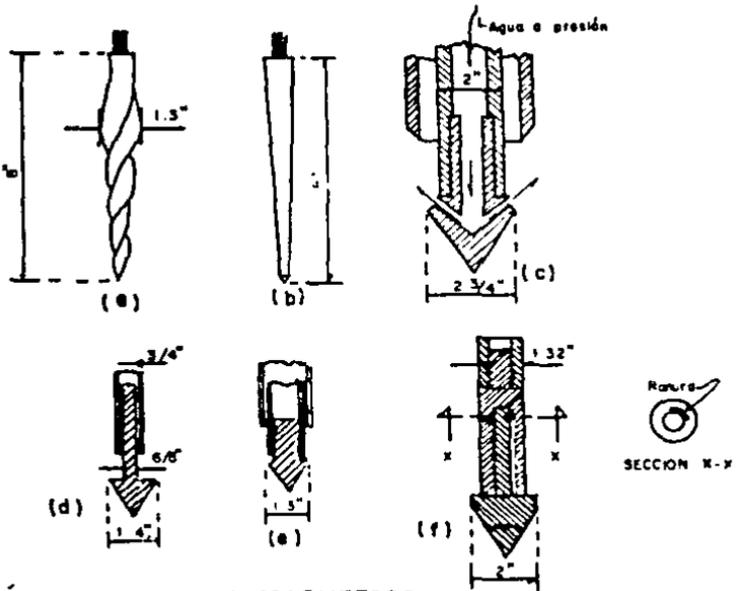
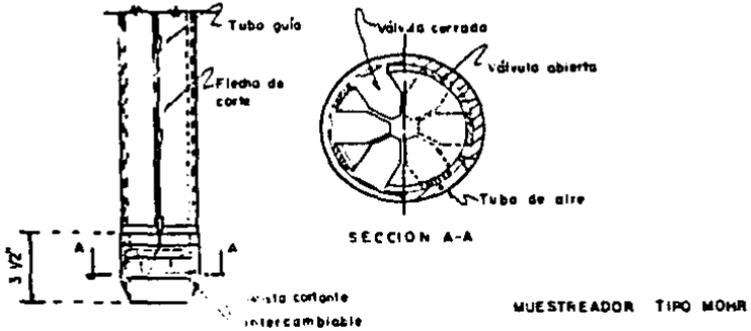
En tales casos el "Penetrómetro", constituye una herramienta de exploración indispensable. El penetrómetro puede diferir mucho en su funcionamiento, desde un simple tubo o varilla que se hince registrando el número de golpes, hasta un cono que se hace penetrar en el suelo mediante el uso de un gato hidráulico, a la vez que vamos introduciendo una tubería para de esta manera ademar la zona que ya ha sido atravesada por el cono. La fig. 6, muestra varios tipos de penetrómetro.

Los resultados que obtengamos al final de la muestra, -- por sí solos nunca los tomaremos como base para predecir las propiedades mecánicas de los suelos, por que nos pueden conducir a soluciones completamente erradas, pero si las correlacionamos con sondeos previos en los que dispongamos de muestras inalteradas, nos sera de gran utilidad y reduciremos considerablemente el costo de las exploraciones.

I.6 DATOS COMPLEMENTARIOS DE CAMPO PARA LOGRAR UNA BUENA EXPLORACION

Los datos de las operaciones de muestreo deben ser claros y precisos; a las notas de campo debemos incluirles datos adicionales como la fecha en que se realizó el trabajo, la localización de los sondeos se debe referir a un sistema permanente de coordenadas, la elevación de la superficie en el punto explorado con respecto a un banco de nivel permanente, la elevación del nivel freático, la elevación de la frontera supe--

FIG. 6



a) PENETROMETRO SUECO; b) PENETROMETRO DANES; c) DE CHORRO; d) HOLLANDES; e) SUIZO; f) CONICO

rior de cada estrato de suelo o roca, una clasificación de -- campo de los estratos identificados, así como los valores de la resistencia a la penetración u otras medidas de consistencia que se hayan obtenido.

El tipo de herramienta que se utilizó cualquier cambio de ésta, la profundidad a que se hizo el cambio y las razones para hacerle; los métodos empleados para estabilizar las paredes de la perforación ó cualquier otro dato que se considere de importancia lo deberemos incluir en nuestro reporte de campo.

I.6.1 INFLUENCIA DEL TAMAÑO DEL PROYECTO SOBRE EL PROGRAMA DE EXPLORACION

En la preparación del programa de exploración debemos -- considerar la magnitud de la construcción por desarrollar; de tal manera que si la construcción que nos proponemos ejecutar nos implica un gasto ínfimo no debemos incluir en nuestra investigación más que un pequeño número de perforaciones de reconocimiento, y unos pocos ensayos de clasificación sobre --- muestras representativas de los suelos; la falta de una información exacta con respecto a las condiciones del subsuelo la compensamos usando en nuestro proyecto un coeficiente de seguridad mayor.

Si por el contrario contáramos con el caso opuesto, es decir tenemos que ejecutar una construcción de iguales características, pero de gran volumen, aun el costo de una investigación completa y elaborada es generalmente pequeño, compara-

da con las economías que obtendremos y que pueden efectuarse - utilizando sus resultados en el proyecto y en la construcción o comparado con los gastos que se originarían por una falla - debida a la hipótesis erróneas del proyecto. Per esto principalmente en proyectos de importancia las investigaciones minuciosas del subsuelo se justifican económicamente.

C A P I T U L O I I

ESTUDIO DE LOS ESFUERZOS A QUE SE ENCUENTRAN
SOMETIDOS LAS SUPERFICIES DE RODAMIENTO

2.1 DISPOSICION DE LAS SUB-BASES, BASES Y PAVIMENTOS PARA REGISTAR LOS ESFUERZOS

Los esfuerzos a los que se encuentran sometidos los elementos constitutivos de una carretera en su operaci3n son de gran inter3s para determinar las caracter3sticas constructivas de las mismas.

2.1.1 RESISTENCIA AL MOVIMIENTO Y ESFUERZO DE TRACCI3N

La resistencia debida a la fricci3n en un veh3culo, se descompone en el rozamiento de las ruedas en sus cojinetes y el que tiene lugar entre las llantas y la superficie de la carretera. En los veh3culos, el incremento de la resistencia en las curvas puede despreciarse, porque no siendo las ruedas solidarias al eje, se adaptan facilmente a las diferentes longitudes de los caminos que deben recorrer a distintas velocidades, en las ruedas traseras ocurre lo mismo gracias al diferencial.

La potencia del motor de combusti3n interna, est3 fijada en caballos de fuerza al freno (b.h.p.) en el volante, o en pies libras del motor, si est3 dada en revoluciones por minuto (r.p.m.). El esfuerzo de tracci3n (T.E.) que se desarrolla en t3rminos de caballos de fuerza es el siguiente:

$$T.E. = \frac{375 \text{ v b.h.p.}}{v}$$

En donde "v" es un factor de eficiencia, por la p3rdida de energ3a entre el volante y la rueda motora (generalmente es un valor de 0.90 para los autom3viles y 0.80 a 0.85 para -

los camiones); "v" es la velocidad del vehículo en millas por hora.

La resistencia al rodamiento generalmente se expresa en libras por tonelada del peso total del vehículo. La resistencia a la tracción está dada por la resistencia al rodamiento más la resistencia del aire en más o menos grado. En caminos con superficies duras y en buenas condiciones, esta resistencia varía de 20 a 30 libras por tonelada, existiendo un valor bajo para los vehículos ligeros a bajas velocidades y un alto valor para los vehículos pesados a altas velocidades. En caminos de grava con superficies rugosas la resistencia puede ser hasta de 50 libras por tonelada y en los caminos de tierra atascosos puede ser hasta de 100 libras por tonelada.

La resistencia total del aire está expresada por la fórmula: KAV^2 , donde K= A un coeficiente que depende de la forma del vehículo (decrece en las formas aerodinámicas). A= Al área proyectada del vehículo en pies cuadrados, normal al movimiento. V= A la velocidad relativa del aire en millas por hora (velocidad del vehículo, corregida por aire de cabeza o de cola). El valor de K generalmente se puede usar alrededor de 0.0012 para carros de pasajeros y 0.0020 para camiones.

Para las pendientes la resistencia se conoce en libras por tonelada y es igual a 20G; en la cual G= Al grado de la pendiente en porcientos.

La resistencia de las pendientes es mayor en las ascendentes y menor en las descendentes; la fuerza de aceleración es positiva cuando ésta, es en exceso del esfuerzo de trac---

ción, y es mayor que la resistencia negativa (deceleración), cuando el esfuerzo de tracción es menor que la resistencia.

El principal objeto de conocer el esfuerzo del motor de un vehículo de tracción mecánica y sus resistencias, es para determinar la habilidad de ascensos de los camiones en las pendientes.

2.2 ESFUERZO DE PRESIÓN E IMPACTO

El peso total del vehículo (peso propio más la carga) se transmite a la carretera por medio de las ruedas. La presión específica, esto es, la presión por unidad de superficie (centímetro cuadrado o pulgada cuadrada) es el cociente de la carga que actúa sobre cada rueda, dividida por la superficie de apoyo de la misma, en la superficie de rodamiento; obteniéndose así:

$$P = \frac{W}{S}$$

W = a la carga total sobre cada rueda.

S = a la superficie de apoyo.

La presión así determinada es un esfuerzo estático, en general la rueda no se encuentra en reposo, sino que esta en constante movimiento producida por una velocidad que llega a ser muy grande.

Por otra parte la superficie de la carretera no llega a ser lisa, sino que, aún en las superficies más perfectas, está llena de desigualdades y cubierta de grandes y pequeñas depresiones.

La superficie de apoyo "a", de una rueda sobre el suelo, depende de la anchura de la llanta y de la longitud de la lí-

nea de contacto de la misma sobre la superficie de rodamiento la cual a su vez depende del diámetro de la rueda.

Para poder analizar las cargas por rueda de los vehícu-
les, es necesario conocer las cargas por ejes en primer lugar
por lo que trataremos este aspecto en diversos tipos de vehí-
culos: Distribución de cargas por eje en un camión de radi-
las o de caja cerrada (fig.7), en autobuses (fig.8), y semi-
trailer (fig.9).

Las cargas en los trailer se determinan en la misma for-
ma que para los camiones, (fig.7). De tal forma que:

TW = Pese del trailer y la carga.

TZ = Distancia del centro de la quinta rueda -
al centro de la carrocera del trailer.

TL = Distancia del centro de la quinta rueda -
al centro de la rueda trasera del trai-
ler.

Per lo tanto: $TW \times \frac{TZ}{TL}$ = Carga del --
eje trasero
del trailer.

TW = Pese en la rueda trasera del trailer = --
A pese en la quinta rueda.

Con este ultimo pese "W", que obtuvimos lo sustituimos en
la fórmula de la fig.7, para determinar la distribución de --
cargas en el tractor.

La carga que toma cada rueda la obtendremos dividiendo -
la carga por eje entre el número de ruedas. Las ruedas duales
las consideramos como una sola rueda y una gran área de con-
tacte, si la separación entre centros de las llantas es menor

CAMIONES DE CAJAS CERRADAS O REDILAS

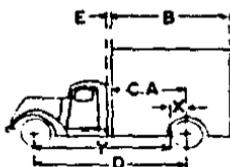


FIG. 7

- CA = Distancia de la espalda de la cabina al centro de línea del eje trasero.
 B = Longitud de la carrocería en pulgadas.
 E = Separación entre la cabina y la carrocería en pulgadas.
 W = Peso del camión vacío más la carga útil, uniformemente repartida.

Se tiene:

$$X = (C.A. - E) - \frac{B}{2}$$

$$D - X = Y$$

$$W \frac{Y}{D} = \text{carga en el eje trasero.}$$

$$W - \text{carga en el eje trasero} = \text{carga en el eje delantero.}$$



AUTOBUSES

FIG. 8

Asiento delantero de pasajero

Asiento posterior de pasajero

- CA = Distancia del asiento del primer pasajero al frente, al centro línea del eje trasero.
 B = Longitud de la carrocería a partir del asiento del primer pasajero al frente.
 W = Peso del autobús vacío, más el número de pasajeros por 150 lbs. de peso.

$$\therefore X = C.A. - \frac{B}{2}$$

$$D - X = Y$$

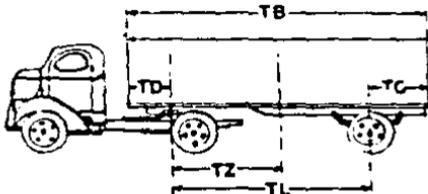
$$W \frac{Y}{D} = \text{carga en el eje trasero}$$

Para camiones con ejes traseros en tandem.

Se considera como el caso N.º 1, con la única salvedad que la longitud B se toma al punto medio entre los ejes traseros.

SEMIREMOLQUE

FIG. 9



de 90cm.

Las superficies de apoyo de las llantas, permaneciendo -
estáticas, afectan la forma elipsoidal; por lo que para el es-
tudio general de las presiones podemos considerar a 3 tipos -
de vehículos:

Tipo de Vehículo	Carga por Rueda	Presión Estática	Área de Contacto
Con carga máx.	5443 Kg	6 a 7 Kg/cm ²	910 a 790cm ²
De pasajeros	4530 Kg	5.8-6.4Kg/cm ²	790 a 710cm ²
De turismo	1820 Kg	4.2-5.3Kg/cm ²	430 a 345cm ²

La distribución de la presión estática se realiza en el -
pavimento, bases, sub-bases y terracerías en ángulos de 45° -
como se observa en la fig.10. Este ángulo variara de acuerdo
con la clase de materiales constitutivos de los elementos for-
mativos de los pavimentos, bases, sub-bases y para cuestiones
prácticas tomaremos el ángulo de 45° y el área que cubre di-
cha presión la consideramos como un círculo que tiene un radio -
igual al espesor total de lámina compactada t, para repartir-
sus presiones a las terracerías.

Para poder evaluar estas presiones usaremos la fórmula -
de Gray, en la cual la huella del neumático se considera circu-
lar, en lugar de la forma elíptica que adopta, pero relacio-
nándolas en sus áreas de contacto como se indica en la fig.11

Siendo la presión específica en libras por pulgada cua-
drada igual a la carga de la rueda en libras, dividida entre-
el área de contacto de la llanta en pulgadas, obtenemos:

FIG. 10

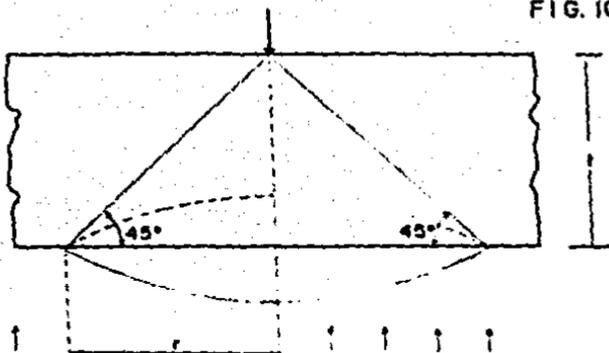
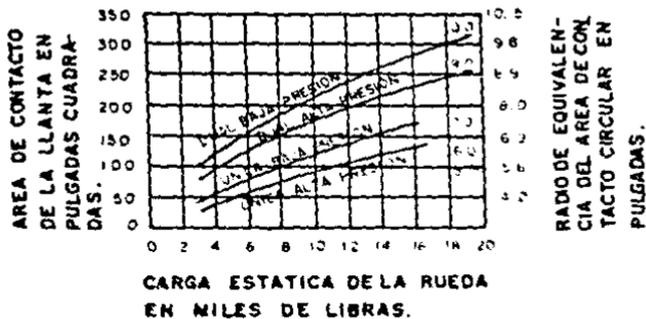


FIG. 11



$$\text{Fórmula de Gray: } t = 0.564 \sqrt{\frac{W}{S}} - a$$

a = Al radio de equivalencia del área de contacto circular.

t = Espesor del pavimento flexible más bases.

W = Carga estática en libras.

S = Valor soporte de las terracerías o sub-bases, determinadas por las pruebas de California (C.B.R.), en libras por pulgada cuadrada, las cuales están basadas en la intensidad de la presión en las terracerías, que varían en forma inversa con el espesor del pavimento y bases.

Si observamos la fig.12 es lógico que para obtener en equilibrio las fuerzas indicadas, la resistencia de las terracerías tiene que ser mayor o cuando menos igual a la carga transmitida a ella.

$$W = 3.1416 \times r^2 S$$

$$r = t + a$$

$$W = 3.1416 (t+a)^2 S$$

$$t = 0.564 \sqrt{W/S} - a$$

$$\text{Para alguna área en particular: } S = \frac{W}{3.1416 r^2}$$

De la fórmula anterior podemos determinar la repartición de la presión específica, en cualquier plano que deseemos; o si conocemos el valor de soporte, podemos calcular el espesor del pavimento y bases.

FIG. 12

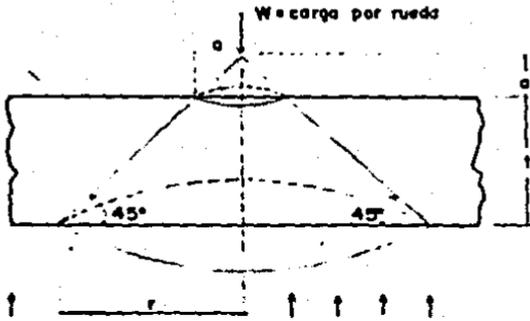
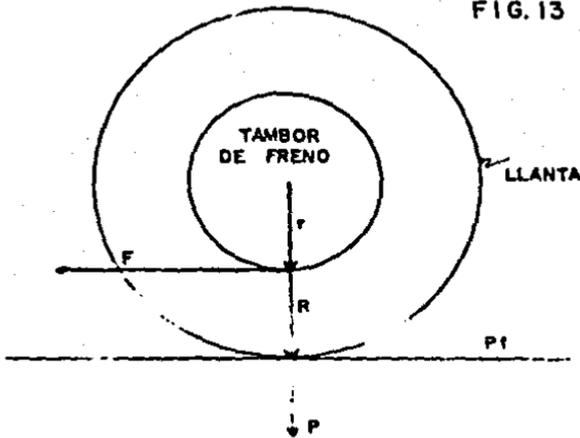


FIG. 13



ESFUERZO DE FRENADO Y ADHERENCIA

Aplicando la fórmula anterior, obtendremos el espesor de la base y pavimento, conociendo:

Carga por rueda = $W = 12,000\text{Lbs}$

Area de contacto = 133pulg^2

Poder de soporte de la terracería = 20Lbs/pulg^2

$$\text{Presión estática} = \frac{12,000}{133} = 90.0\text{Lbs/pulg}^2$$

$$a = \sqrt{133/3.1416} = 6.5 \quad \text{El valor de } a \text{ se puede obtener mediante el gráfico 5.}$$

$$t = 0.564 \sqrt{12,000/20} = 6.5 = 7.5\text{pulg}$$

La presión específica que acabamos de demostrar es partiendo de la base que los esfuerzos a los cuales la carretera va a estar sometida, son producidos por llantas que tienen como máximo la presión interior del aire, recomendadas por el fabricante; pero debemos tomar en cuenta que esta condición no se cumple, pues habrá ocasiones en las cuales las llantas rodarán con menor presión interior y otras en las cuales su presión sea superior, provocando con esto mayores o menores cargas, por aumentar o disminuir su área de contacto.

2.3 ESFUERZOS TANGENCIALES

Los esfuerzos tangenciales son particularmente intensos en el caso de los vehículos que ruedan a gran velocidad.

Estos esfuerzos tienden a desplazar los elementos superficiales de la carretera y deben ser contrarrestados por la tenacidad y cohesión de los pavimentos; los análisis demuestran

que las cuarcitas, basaltos y granitos son el tipo de piedra que resiste mejor los esfuerzos. Los esfuerzos tangenciales se presentan en dos formas: Longitudinal y Transversalmente.

2.3.1 ESPUERZOS TANGENCIALES LONGITUDINALES

Este tipo de esfuerzos se desarrollan principalmente en el plano de las ruedas y son producidos por las ruedas motoras, dirigiéndose en sentido contrario del movimiento. Son debidos al par motor que actúa sobre las ruedas motrices y producen el movimiento del vehículo, cuando no sobrepasen la adherencia entre las ruedas y la superficie de rodamiento. Cuando esto ocurre las ruedas patinan.

Si designamos por E.T. el esfuerzo tangencial, W el peso que actúa sobre las ruedas motrices y por U el coeficiente de fricción entre las llantas y la superficie de rodamiento tendremos:

$$E.T. = wU$$

Si la fuerza tangencial no sobrepasa la adherencia, aceptando para U el valor medio de 0.16; podremos deducir la fatiga máxima:

$$F_{máx} = \frac{ET}{A}$$

A = A la superficie de apoyo de la rueda al suelo.

2.3.2 ESPUERZOS TANGENCIALES TRANSVERSALES

Estos esfuerzos son producidos perpendicularmente al plano de las ruedas del vehículo, son en las curvas como consecuencia de la acción de la fuerza centrífuga, el viraje de --

los vehículos en superficies sin sobreelevación, en caminos -
con vientos muy violentos transversales.

$$(P_c) \text{ Fuerza Centrífuga} = \frac{Wv^2}{gr}$$

W = Peso del vehículo

V = Velocidad en M/S

g = Fuerza de gravedad

r = Radio de curvatura en m

Si la velocidad se da en Km/hr:

$$P_c = \frac{Wv^2}{g \times r \times 3.6 \times 3.6}$$

La fatiga máxima por unidad de superficie es:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{P_c}{A} \quad A = \text{Superficie de apoyo de la llanta al suelo.}$$

El esfuerzo transversal debido a la fuerza centrífuga debe ser absorbido por la carretera.

$$P_c = Wu \quad u = 0.16$$

2.4 ESFUERZO DE FRENADO

Si un vehículo rueda sin la acción del motor, se detendrá por sí mismo al cabo de cierto tiempo; debido a que la fuerza viva inicial es absorbida por el trabajo desarrollado por la resistencia del aire, la resistencia al movimiento y los diversos frotamientos mecánicos. Por lo que estas resistencias son de 10 a 50Kg. por rodamiento, de 0 a 80Kg por ---

aire, y de 50 a 200kg. por resistencia del motor.

Un primer modo de frenar consiste en utilizar la resistencia del motor, la cual resulta de variar la velocidad de rotación del motor, este esfuerzo retardatorio no lo podemos considerar mayor del 20 a 25% del esfuerzo positivo del funcionamiento.

Si acumulásemos todas estas resistencias, encontrásemos una nueva fuerza retardatoria, que ha sido evaluada en $0.008P$ (siendo P el peso del vehículo), para una velocidad de 80km/hr

Esto nos corresponde a una desaceleración de :

$$g = 0.008g \quad (0.78 \text{ m/seg}^2)$$

Estos esfuerzos deberán absorber rápidamente la fuerza viva hasta obtener la detención del vehículo; para lo cual utilizásemos los frenos, que están compuestos de un aparato frictor que se aplica sobre un tambor ligado a la rueda.

Si considerásemos como P el esfuerzo tangencial desarrollada al contacto de la zapata del tambor, r al radio del tambor R al radio de la rueda, habrá un rodamiento sin deslizamiento en tanto que:

$$P \frac{r}{R} < Pf$$

Donde P es la carga por rueda y f el coeficiente de fricción entre la rueda y el suelo. (fig.13).

La adherencia representa también el máximo de frenada aplicable antes de que el deslizamiento comience.

La fuerza de rozamiento de la llanta con el suelo, debe ser inferior a la adherencia para poder conseguir la disminu-

ción del coeficiente de fricción f .

Para poder encontrar la distancia óptima de frenado y -- considerando frenos en las cuatro ruedas tenemos:

$$Wfd = \frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2$$

W = Peso total del vehículo

f = Coeficiente de fricción

d = Distancia mínima de parada

g = Fuerza de gravedad

v = Velocidad del vehículo por segundo

$$d = \frac{v^2}{2gf} = \frac{v^2}{25.92-fg} = \text{En metros}$$

v = Km/hr

Si designamos E_f el esfuerzo de frenado Wf tenemos:

$$E_f \times d = \frac{W}{2g} v^2$$

Determinando el valor máximo de E_f , debemos partir de -- nuevo del valor máximo de la presión unitaria, que sera $P_{\text{máx}}$.

$$P_{\text{máx}} = \frac{E_f}{A} \quad A = \text{Superficie de contacto}$$

Aceptando para el coeficiente de fricción 0.16 se ha encontrado en promedio que el esfuerzo tangencial para neumáticos es de 2.5 kg/cm^2 .

2.3 ESFUERZO DE SUCCION

Este tipo de esfuerzo se puede engendrar por tres maneras distintas y, sea consecuencia del movimiento dependiendo en --

gran medida de la velocidad.

Se produce un esfuerzo de succión por la compresión de las llantas elásticas sobre la superficie de la carretera por la acción de las cargas. En los pequeños poros de la superficie, se produce por esta causa un vacío y por consiguiente -- una absorción, que en el límite, puede tener un valor de una atmósfera = 1Kg/cm^2 , pero en la práctica llega escasamente a la mitad, de modo que si la resistencia a la tracción del aglutinante usado, es inferior a 0.5Kg/cm^2 , corre el peligro de ser arrancado de la superficie.

Este efecto es el más peligroso para la conservación de las carreteras, pues empieza por descarnar y acaba por descomponer completamente las superficies de rodamiento.

2.6 CARACTERISTICAS DE LAS SUB-BASES, BASES Y PAVIMENTOS PARA RESISTIR LOS ESFUERZOS

Los esfuerzos deben ser absorbidos por la estructura interna de la carretera y distribuidos en las mayores áreas posibles para obtener las menores fatigas en las terracerías, - las cuales siendo su volumen factor importante en la construcción del camino, trataremos en lo posible economizarlas, usando los elementos constructivos más próximos a la obra, mejorándolos bajo ciertos aspectos en la compactación, con el objeto de obtener de dichos materiales las resistencias más altas, para poder soportar las cargas a que se encuentra sometido el camino, para tratar de evitar deformaciones, asentamientos o fallas que sean perjudiciales a las superficies de

redamiento. Esto lo realizaremos naturalmente dentro de los límites económicos, ya que por las características de los caminos que atraviesan innumerables lugares y suelos y en las -- que su desarrollo la calidad de los materiales que encontramos pueden ser desde pésimos a excelentes, es de mucha importancia para nosotros los Ingenieros el contar con un buen criterio para determinar hasta que punto resulta económico contactar e ejecutar obras de mejoramiento para aumentar el valor de soporte de los suelos, o para incrementar el espesor de los materiales granulados seleccionados que forman los pavimentos.

En términos generales y en condiciones normales, es más económico el tratar superficialmente las terracerías, que el incremento de los espesores de los pavimentos.

Para identificar las capas superficiales de la terracería de la cama del camino, tomaremos la clasificación de los suelos realizada por la Public Roads Administration relacionándola con el valor soporte obtenido por el método de California (C.B.R.), Tabla 2.

La función de la sub-base es:

- 1) Servir de capa de drenaje al pavimento
- 2) Controlar o eliminar en lo posible los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subbase.
- 3) Controlar la ascensión capilar del agua provenientes de las capas freáticas o de otras fuentes, protegiendo así al pavimento del efecto de

las heladas (hinchamiento del mismo), este efecto es debido al congelamiento del agua capilar - fenómeno que se observa principalmente en las -- suelas limosas en donde la capilaridad es gran-- de.

El material que emplearemos en la sub-base debe ser se-- leccionado y tener mayor capacidad de soporte que el de la -- subrasante compactada.

Si una de las funciones principales de la sub-base es la de servir de capa de drenaje al pavimento, el material que se emplee debe ser granular y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase por la malla No.200 no debe ser mayor al- 8%; sus índices de plasticidad y contracción lineal, bajo con- dición de humedad excesivas serán los siguientes:

	I.P.	C.L.	Expansión	Valor Soporte
Cuando pase por la malla # 200 de 5 a 10%	Máx. 12	Máx. 4	Máx. 2.5%	Mín. 30%
Cuando pase por la malla # 200 de 10 a 25%	Máx. 10	Máx. 3.5	Máx. 2.5%	Mín. 30%

El material de la base tiene por objeto absorber los es- fuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base, la cual a su vez lo hará a la subrasante.

El material que se emplee en la base debe llenar los siguientes requisitos:

- 1) Ser resistentes a los cambios de humedad y temperatura.
- 2) No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- 3) El porcentaje de desgaste, según la prueba de los Angeles debe ser inferior a 50 ó menos de 6 con la máquina de Deval.

Sus índices de plasticidad y contracción lineal, bajo condiciones de humedad excesivas serán los siguientes:

	I.P.	C.L.	Expansión	Valor Separte
Cuando pase por la malla # 200 de 5 a 10X	No más de 8	No más de 2.5	No más de 1.0X	No menos de 60X
Cuando pase por la malla # 200 de 10 a 25X	No más de 6	No más de 2	No más de 1.0X	No menos de 60X

La granulometría de los materiales, utilizados para bases y sub-bases deben quedar comprendidos dentro de los límites siguientes:

X que pasa la malla de 2"	-100 -	-	-
X " " " " " 1-1/2"	- 70 -	-	-
X " " " " " 1"	- 55 - 100 -	-	-

% que pasa la malla de 3/4"	- 50 - 85 - -
% " " " " " 3/8"	- 38 - 65 - 100 -
% " " " " " #4	- 30 - 50 - 80 -
% " " " " " #10	- 20 - 35 - 60 - 100
% " " " " " #20	- - - 45 - 90
% " " " " " #40	- 10 - 20 - 35 - 70
% " " " " " 100	- - 14 - - 40
% " " " " " 200	- 5 - 10 - 13 - 25

Las carpetas deben considerarse en términos generales como superficies de desgaste, salvo en el caso de concretos asfálticos y carpetas de más o menos espesor y en los cuales -- absorben parte de los esfuerzos provocados por el tránsito; -- estas constituyen el elemento más costoso de una carretera, -- en su elección seremos sumamente cuidadosos para lograr el tipo más económica dentro de las funciones a que está destinada.

La superficie de un buen pavimento, debe presentar las siguientes características:

- 1) Su impermeabilidad al agua: El agua es el peor enemigo de los pavimentos flexibles, la humedad no sólo produce el reblandecimiento de la infraestructura, especialmente en el caso de una terracería margosa o arcillosa, sino que la destruye más o menos rápidamente, especialmente si con la humedad coinciden las heladas. Por consiguiente debe construirse de tal modo que el agua fluya rápidamente a la cuneta y se desagüe sin es--

tancarse en la superficie.

- 2) Dureza y tenacidad: Los elementos básicos de un pavimento deben ser lo suficientemente resistentes a las acciones de desgaste y choque a que están expuestos; con objeto de que su desgaste sea lento y uniforme.
- 3) Resistencia y compacidad: El pavimento debe resistir las presiones que una carretera soporta, debido al tránsito, sin descomponerse o triturarse y transmitir estas presiones a las bases.
- 4) Rugosidad: La seguridad del tránsito exige que la superficie de un pavimento posea y conserve cierta rugosidad, el cual no debe ser deslizante ni aún en tiempo húmedo.

C A P I T U L O I I I

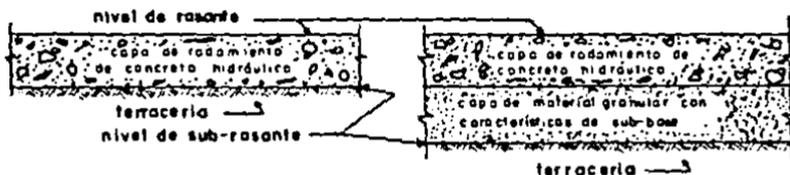
CONTROL DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE TERRACERIAS

3.1 INTRODUCCION

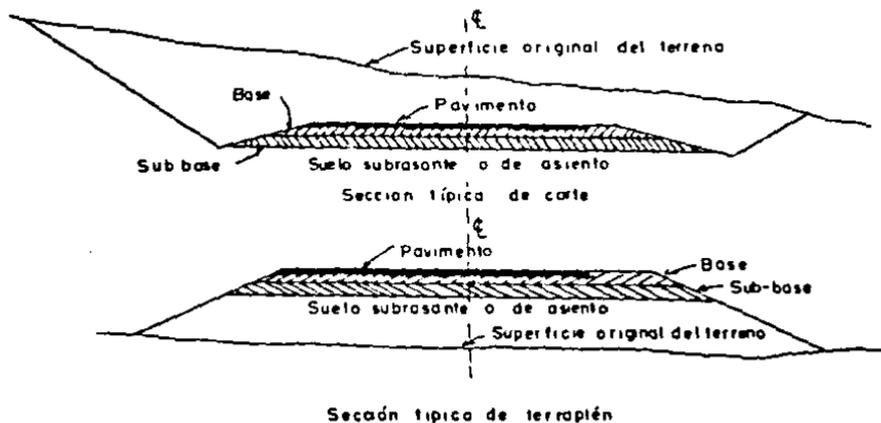
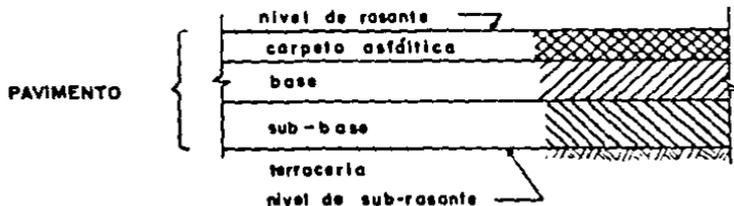
La infraestructura de las carreteras (o suelo base), la podemos definir como la estructura soporte sobre la cual el pavimento y sus caras inferiores especiales descansan. En los desmontes el suelo natural que queda por debajo de las capas especiales lo denominaremos infraestructura. En los terraplenes, la infraestructura la construiremos sobre el terreno natural y consistira en los materiales aportados de desmontes cercanos al camino o de canteras de préstamos.

Anteriormente se le brindaba una gran importancia a los pavimentos y a otras capas de desgaste, en cambio radica una gran indiferencia hacia los materiales que formaban la infraestructura, a la manera de colocarlos y a su compactación. En estos aspectos fueron cambiando rápidamente debido a las propias necesidades de los automoviles que al ser más veloces -- produjeron demandas de normas mejores de alineación y rasantes, que a su vez propiciaron desmontes más profundos y terraplenes más altos; paralelo a esto se presenta el incremento en peso y cantidad de vehículos lo que propicio un aumento de cargas sobre la superficie del camino. En muchos casos, estos excesos originaron hundimientos y aun fallas totales; al realizar un estudio sobre estas fallas los resultados indicaban que la capa que fallaba era la infraestructura y no la superficie de rodamiento. La construcción de las terracerías no solo se limita a un buen desmonte y procedimiento constructivo, sino que tomaremos muy en cuenta la investigación de las propiedades de los suelos de la infraestructura. En la fig. 14, se presenta la seccion transversal típica de un camino.

FORMAS TÍPICAS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO:



DE PAVIMENTOS FLEXIBLES:



SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS DE UN CAMINO

FIG. 14

3.2 ALCANCES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

El procedimiento incluye desde la limpieza del lugar hasta completar la infraestructura, los métodos de pago por los trabajos realizados y la aplicación de los principios de mecánica de suelos a la construcción de terracerías.

Actualmente el 90% de los trabajos que se realizan dentro de la construcción son efectuados por contratistas independientes en la base de propuestas bajo concurso; otras constructoras de caminos comúnmente completan la mayoría de sus proyectos bajo arreglos similares; es muy usual que se requiera de acuerdo con la ley efectuar el trabajo mediante un contrato. El procedimiento de pago a los contratistas se realizará bajo la base de precios unitarios, esto es determinando la suma de los productos de las unidades de trabajo por los precios unitarios correspondientes.

Al calcular el costo aproximado de los proyectos es muy común tomar en cuenta principalmente los precios unitarios aplicados a otros proyectos anteriores en condiciones similares; por lo que debemos tomar en cuenta que existe riesgo en tener demasiada confianza en esas estimaciones anteriores, ya que determinadas peculiaridades del proyecto, competencias en el mercado de materiales de construcción y otros factores, pueden influir en los precios, más aún, comúnmente trataremos de balancear las proposiciones de los conceptos, modificando sus precios unitarios. El propósito de esto es el de ascender los verdaderos costos para asegurar pagos mayores con anticipación en el proyecto, o para proteger la sobreganancia cele-

cándela en conceptos no variables.

3.3 LIMPIEZA Y DESEMOZAMIENTO

La limpieza del lugar antecede a todas las operaciones de terracería, este trabajo consiste únicamente en el retiro de la vegetación existente dentro del derecho de vía, las áreas de construcción, zonas de préstamos y bancos de materiales de a cuerdo con lo fijado en el proyecto.

Comprende la ejecución de cualesquiera de los trabajos siguientes:

- a) Tala, que consiste en certar los árboles y arbustos, tomando las providencias necesarias para no dañar las que se conserven.
- b) Roza, que consiste en quitar la maleza, hierba, zacate e cualquier otra clase de residuos vegetales al nivel del terreno.
- c) Desenraice, que consiste en sacar los troncos e techos, incluyendo su raíz.
- d) Limpia y Quema, consiste en retirar el producto del desmante al lugar apropiado para estibarlos y quemar lo no utilizable.

Para fines del desmante consideraremos los siguientes tipos de vegetación:

- a) Región de Bosque, es la constituida predominantemente por árboles típicos de las zonas altas del clima templado e frío; como pines, abedules, encinos y eucaliptos.

- b) Región árida, está constituida predominantemente por árboles de poca altura con diámetros reducidos y por arbustos; como mezquites, pirules y tejocotes.
- c) Región desértica, es la constituida predominantemente por cactáceas, plantas de sembradio y zacatales respectivamente; como nopales, magueyes y sembradios de maíz, trigo y arroz.

El procedimiento de pago por los trabajos de limpieza y desbrozamiento es por especificaciones que se establecen claramente antes de iniciar los trabajos para evitar confusiones posteriormente.

Se requiere la eliminación de prácticamente todo el material vegetal del lugar del camino o del material de relleno, ya que puede producir huecos que provocan asentamientos; también se requiere limpiar las áreas adyacentes según sea necesario.

En las áreas muy boscosas, la limpieza representa un costo considerable y requiere de una excelente mano de obra para realizar el trabajo. Prestaremos especial atención a no provocar incendios cuando estemos realizando la quema de tocones, arbustos y matorrales, de ser necesario contaremos con un equipo especial contra incendios.

En caso de que los árboles sean adecuados para la madera es necesario especificar que los tocones se corten en longitudes comerciales y los colocaremos en un lugar apropiado para su transportación.

Una mala planeación en los trabajos de limpieza nos provocara una tardanza en la construcción, de preferencia las operaciones de limpieza las estableceremos como contratos especiales de invierno o estación húmeda.

3.3.I LIMPIEZA PARA EL CAMINO EN ZONAS METROPOLITANAS

Una limpieza de terreno en estas condiciones presenta un problema completamente diferente al que se encuentra en los trazados de campo. Las casas, los pavimentos, las banquetas y otros obstáculos deben ser eliminados; los servicios superficiales, como las líneas telefónicas y eléctricas que viajan paralelamente o que cruzan el derecho de vía, las debemos reubicar para proporcionar el espacio libre que requiere la construcción.

En el caso de una vía en rasante inferior, el problema de espacio libre se vuelve extremadamente complicado; aquí realizaremos reacomodo tanto de instalaciones superficiales como de servicios subterráneas, tales como tuberías y conductos de alambre, los cuales en muchas ocasiones deberemos colocarlos fuera del camino, esta operación lleva tiempo y su costo es elevado. Es recomendable que todo tipo de servicios los excluyamos de los derechos de vía de las carreteras e los coloquemos en un túnel o conducto común por fuera del pavimento para contar con acceso libre a los servicios.

Los métodos de pago para este tipo de limpieza son complicados, la eliminación del pavimento y las banquetas se pagan a precio de presupuesto por metro cuadrado o metro cúbico

de material eliminado en una base de precio alzado, entre tipo de trabajos los pedemos pagar en base unitaria, como el precio propuesto por metro de tubo o conducto eliminado e reemplazado.

3.4 LA TERRACERIA (SU CONSTRUCCION).

Emplearemos el término terracería para describir las operaciones de construcción entre la limpieza del lugar y el pavimento del camino (las actividades de excavación, arrastres, dissemination y consolidación están incluidas en el término).

Para la construcción se tomaran muy en cuenta las inconveniencias tales como polvo y suciedad que las actividades de construcción traigan a los ocupantes de las propiedades adyacentes a la construcción; planearemos cuidadosamente las desviaciones, señales y operaciones de modo que el tránsito fluya lo más libremente posible. En áreas sumamente congestionadas, especificaciones del mismo proyecto nos pueden limitar a trabajar en horas cuando el volumen de tránsito sea bajo. En ocasiones será necesario interrumpir el acceso a las propiedades privadas adyacentes a la obra, procuraremos en lo posible que sea el menor tiempo.

3.5 EXCAVACION

Es el procedimiento de remover y extraer la tierra o roca de su lugar original en un desmonte y transportarla a un terraplén o a un depósito, la selección del equipo que utilizaremos para este trabajo dependera de la naturaleza del te-

rrene, de la distancia de transporte y del método de deshacerse del material no utilizable, de acuerdo con estas tenemos 3 formas de realizar la excavación:

- a) Excavaciones a mano
- b) Excavaciones a máquina
- c) Excavaciones mixtas

En la ejecución de las excavaciones consideraremos los siguientes casos:

- a) En seco
- b) Eliminando el agua de la excavación mediante drenes auxiliares o por bombas, en cuyo caso la excavación se considerará en seco.
- c) En agua ejecutada con máquina, cuando no sea posible eliminarla económicamente por bombas o drenes auxiliares.
- d) En material saturado o lodoso, es aquel que por su elevado contenido de agua se adhiere o se escurre de la maquinaria o la herramienta utilizada para su extracción reduciéndose la eficiencia del trabajo.

Para la ejecución de las excavaciones en general, se deberán tomar en cuenta los estudios de mecánica de suelos y las condiciones de la zona en cuanto a instalaciones existentes y construcciones cercanas, con el objeto de no causar daños a estas.

Con respecto a las instalaciones solicitaremos a las de-

pendencias correspondientes información y se entregará al contratista los planos de localización de las instalaciones exigentes y de proyecto, coordinando la supervisión necesaria -- con el fin de evitar interferencias en el proceso de la obra.

Para las construcciones cercanas, en caso de existir éstas, y que sean susceptibles de daños y con el fin de deslin-
dar responsabilidades, se solicitará de la dependencia co---
rrespondiente un dictamen por escrito de las condiciones ---
existentes de las mismas, realizando revisiones periódicas -
que se llevarán en un registro durante el proceso de la o---
bra. Al término de la misma se hará la inspección final y se
indicará lo que proceda.

El tipo de material que nos podemos encontrar al reali-
zar las excavaciones se denomina comúnmente como "roca", "ro-
ca suelta" o "terreno ordinario"; la roca fija la mayoría de-
las veces debe ser perforada y volada, para posteriormente --
ser cargada con equipo mecánico a los camiones u otras unida-
des de arrastre.

La roca volada puede ser movida o acarreada a cortas distancias mediante una conformadora (bulldozer), que es en rea-
lidad una gran lámina montada en un tractor.

La roca suelta incluye materiales como la roca de intem-
perie o rota, tierra mezclada con piedras, y frecuentemente -
su procedimiento de extracción es a base de palas mecánicas -
sin voladuras previas. Sin embargo, a veces una remoción ulte-
rior por medio de voladuras puede permitir una carga más rá-
pida y la disminución del desgaste del equipo, con una conse-

cuenta reducción del costo total.

Las palas mecánicas excavan fácilmente el material ordinario sin velarlo.

3.5.I CORTES

Sea excavaciones ejecutadas a cielo abierto en terreno natural para formar la sección de un camino, en rebajas de la cresta en cortes y terraplenes existentes, en ampliaciones, en escalones y en extracción de derrumbes.

Cuando sea necesario se despalmará el sitio de los cortes y se ejecutará siguiendo un sistema de ataque, que facilite su drenaje natural, construyendo las cunetas y contracunetas con la oportunidad necesaria y en tal forma que su desagüe no cause perjuicio a los cortes ni a los terraplenes; con los materiales obtenidos de los cortes se formará los terraplenes y se quitarán todas las piedras flojas y los materiales sueltos en taludes.

Al ejecutar los cortes particularmente cuando se empleen explosivos, se evitará hasta donde sea posible aflejar el material de los taludes más allá de la superficie teórica fijada en el proyecto.

Antes de iniciar los cortes en los tramos de terracerías compensadas, la construcción de alcantarillas y muros de sostenimiento, siempre deberán haberse terminado dentro de los 500 metros contiguos adelante de cada frente de ataque, y antes de efectuar préstamos para ajustes supuestos, se vaciarán totalmente los cortes y se formarán los terraplenes con el ma

terial utilizable.

3.6 CRITERIOS PARA EL ACARREO DE LOS MATERIALES

La selección del equipo más adecuado para el acarreo está en función del volumen, la distancia y el costo del transporte.

Cuando se necesita del acarreo de los materiales a una distancia aproximada a los 60 metros o hacia abajo de un cerro inclinado, el transporte más adecuado será un tractor con orugas o ruedas.

Para el caso de acarreos moderados y de mayor distancia lo ideal es utilizar escrementos autocargables con llantas de hule y ayudadas mediante el empuje de tractores de orugas.

Los transportes a larga distancia, o sobre caminos públicos en donde la carga por eje está limitada, es más barato el empleo de camiones de volteo cargados con palas mecánicas.

El movimiento de tierras ha demostrado tener muchas variables como el tamaño y la complejidad del contrato, del proyecto, de la naturaleza del material, condiciones de clima y de la habilidad y experiencia de los operadores y supervisores; por lo que resulta complicado la elección óptima del equipo a utilizar.

Comúnmente el pago de la excavación se realiza a precio de presupuesto por m^3 medido en el lugar, en el espacio originalmente ocupado.

Este precio unitario incluye los pagos para la remoción y carga de los materiales, transporte de los mismos a cual---

quier distancia menor del límite de "acarreos libres" el cual puede ser entre 300 y 500 metros; es muy frecuente que las constructoras establezcan diferentes límites de acarreo libre para distintos terrenos y materiales. El pago para limpieza y desbrozamientos ligeros, para excavar cortes y hacer taludes también se encuentra incluido en el precio unitario para la excavación. Algunas veces la consolidación de terraplenes también se carga en la partida de excavación.

La excavación la mediremos comúnmente en su posición original no alterada. El lugar y el método de medida deben ser cuidadosamente establecidos en las especificaciones, debido a que casi todos los materiales cambian de volumen al moverse del corte al relleno. Estos cambios de volumen se denominan "abundamientos y contracciones".

3.7 DESLIZAMIENTOS Y DESPRENDIMIENTOS

Los taludes de todos los cortes son más pronunciados que la superficie natural del terreno. Los taludes para los terraplenes elevados frecuentemente se hacen tan pronunciados como lo soporta el material a fin de reducir el terraplen. En cualquier caso pueden ocurrir deslizamientos durante la construcción o en un momento posterior, cuando la carretera se encuentra en servicio. Las partes que amenazan con deslizamientos persistentes deben ser evitadas en lo posible en el trazado de la vía. Los deslizamientos pueden resultar de flujos de lodo, ajustes en las pendientes o movimientos ocasionados por las aguas freáticas o por el corte inferior de un estrato ro-

cese.

El material seco presenta deslizamientos que se pueden evitar por medio de paredes de antepecho en el pie de las pendientes. La caída de una roca suelta ocasional o piedra hacia abajo de la pendiente y hacia el camino, la podemos evitar --tratando la superficie con una lechada espesa de cemento, o puede interceptarse mediante una pared o cerca pesada a lo largo del interior del camino.

Los desprendimientos ocurren en los desmontes en roca --cuando el material por fuera de las contrapendientes apiladas se suelta y cae o es arrancado junto con la excavación pretendida. Suceden a causa de que las superficies de fractura de la roca quedan en ángulos inconvenientes o debido a una detonación excesiva, y son incontrolables en gran parte.

Un desprendimiento imprevisto, hasta un porcentaje predefinido se paga generalmente a un precio unitario prefijado por m^3 . Si se provocan desprendimientos por negligencia o por error del contratista, no se hace ningún pago.

3.7.I SOBRECARRERO

Cuando es necesario mover el material excavado más allá de la distancia de "acarreo libre" se presenta un sobrecarreo. La unidad en la cual se paga el sobrecarreo se calcula en la "estación metro" (una estación metro es $1m^3$ de material excavado movido a una distancia de 100m). Para transportes --excesivos a largas distancias se utiliza el metro cúbico-kiló metro como unidad de transporte extra.

3.7.2 EL DIAGRAMA DE MASAS

Si la conformación de un proyecto incluye sobreacarreos se acostumbra trazar un "diagrama de masas", que ofrece un medio conveniente para estudiar el acarree y el sobreacarreo.

En un perfil que tiene las estaciones topográficas como abscisas y las elevaciones como ordenadas el ajuste para poner las cantidades de excavación y terraplén en una base común, puede hacerse empleando un "factor de contracción o de abudamiento", definido como el volumen ocupado en el terraplén por el material que ocupa un metro cúbico antes de que fuera excavado. Para material uniforme es conveniente aplicar el ajuste a las cantidades de terraplén, dividiéndolas entre el factor de contracción o de abudamiento. Entonces las ordenadas de la curva masa estén en función del volumen excavado.

La contracción y el abudamiento frecuentemente se expresan como "tanto por ciento de contracción" o "tanto por ciento de esponjamiento", que representa el porcentaje del cambio de volumen entre el corte y el terraplén. El volumen ocupado en el corte siempre se considera como la unidad; así 1m^3 de excavación forma un montón de 1.20m^3 en el terraplén, el abudamiento por ciento es igual a $(1.20-1)\times 100$, es decir 20%. Si 1m^3 de excavación se convierte solamente en 0.80m^3 en el terraplén, la contracción por ciento es igual a $(1-0.80)\times 100$, es decir 20%.

Algunas características de la curva masa debemos comprenderlas para utilizarla satisfactoriamente, estas son:

- 1) Una curva de masa que se eleva indica excava-

ción en ese punto del camino; una curva que -
baja indica terraplén. Cuando el camino queda
sobre la ladera de una montaña el mismo per-
fil, transversal frecuentemente muestra exca-
vación y terraplén. En este caso una curva --
que se eleva indica un exceso de excavación y
una que baja indica exceso de terraplén.

- 2) Las inclinaciones pronunciadas de la curva ma
sa reflejan grandes cortes o terraplenes; las
inclinaciones pequeñas indican cantidades de-
sevivimiento de tierras.
- 3) Los puntos de pendiente cero de la curva re-
presentan puntos en donde el camino pasa de -
corte a terraplén, o viceversa. Estos puntos-
altos o bajos sobre la curva pueden no venir-
en la estación exacta en la curva del perfil-
cambia de corte a terraplén.
- 4) La diferencia en ordenada entre dos puntos de
la curva representa el exceso neto de excava-
ción con respecto al terraplén entre estos --
puntos e inversamente, el exceso neto de ter-
rraplén con respecto a la excavación.
- 5) Si una línea horizontal corta a la curva, en-
dos puntos iguales, la excavación y el terra-
plén están compensados.

En la fig.15, se presenta un perfil y un diagrama de ma-
sas típico.

3.8 MATERIAL DE PRESTAMOS Y DESPERDICIOS

Los prestamos son excavaciones ejecutadas en los lugares fijados en el proyecto a fin de obtener materiales para rellenos e para formar los terraplenes que no se construyan con material producto de cortes (terracerías no compensadas).

En la terracería de un camino, frecuentemente debe llevarse material "de préstamo", desde fuera del prisma de la vía. De tal manera en terreno llano, frecuentemente es conveniente elevar la superficie del camino en 1.22 a 1.25m sobre el nivel freático, o por encima del alcance de las aguas de inundación. Las aproximaciones a puentes principales forman levadas terraplenes en una distancia considerable. Con frecuencia, se coloca una capa de tierra de 15.24cm o más de profundidad sobre los cortes en roca. Todos los materiales transportados se clasifican comúnmente como "de préstamos". El material para terraplenes en terreno llano frecuentemente puede obtenerse como "préstamo lateral", y se ejecutarán a distancias no mayores de 100m del eje del camino a uno u otro lado de él. La superficie excavada será sensiblemente rectangular con su eje mayor paralelo al del camino y proyectada sobre dicho eje, ninguno de sus extremos distará más de 20m del correspondiente extremo del terraplén que pueda construirse con el material extraído. El acarree es libre y por lo tanto no se medirá, este tipo de préstamo lo utilizaremos solamente cuando podamos mantener una sección transversal segura y bien drenada.

Los grandes préstamos actualmente provienen de grandes -

79
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

"fases de préstamo", de fuera del casero en secciones ampliadas del mismo en ciertas adyacentes.

El pago por los préstamos usualmente lo realizárese por m³ medido en el espacio originalmente ocupado en la fase de préstamo, en la medición se tomara en cuenta su clasificación por: dureza, profundidad y el grado de dificultad en su ejecución dependiendo de la zona A, B y C en que se divide la ciudad de México. Zona A es la que no está poblada. Zona B es la que tiene servicios municipales de agua potable y alcantarillado. Zona C es la poblada con instalaciones y servicios.

3.8.I CONSTRUCCION DE LOS RELLENOS Y TERRAPLENES

Los rellenos siempre estarán localizados en zonas de excavación entre el fondo de la misma y la subsecuente. Los materiales que se usen en estos rellenos serán los indicados en el proyecto y deberán cumplir con lo siguiente:

1) Material producto de la excavación: Estos se usarán en lugares fuera de los arroyos, excepto en casos de que el proyecto indique lo contrario y se deberá tender en capas de 25cm sueltas, compactadas al 90%.

2) Material producto de banco o mina:

Natural

Cal

Mejorado Cemento

Pétreos

Natural: Este material producto de banco o mina no llevará ningún tratamiento especial y podrá emplearse si cumple con lo específico

cado en el proyecto en rellenos de zonas de arroyos y en cualquier otro lugar que indique el proyecto.

Mejorado: Estos materiales llevarán un -- tratamiento especial mezclándose con cal, cemento o pétreas.

La A.A.S.H.O. recomienda densidades mínimas en los terraplenes y subrasantes de acuerdo con la tabla 4.

El hecho de que se requieran mayores densidades en la -- subrasante bajo el sistema del pavimento que en la parte más profunda del terraplén, demuestra el gran efecto de la fuerza e intensidad así como la consolidación bajo el tránsito.

Las recomendaciones del subcomité unido sobre compactación de terracerías A.A.S.H.O.-A.R.B.A., reportadas en American Road Builder pueden indicar la tendencia de los requisitos de compactación, los cuales son:

- 1) Los suelos granulares o aquellos con sólo un ligero grado de plasticidad, deberían compactarse de 95 a 100% de la densidad - A.A.S.H.O., modificada. Esto se acerca al máximo de su compatibilidad.
- 2) Los suelos de grano fino que tengan un -- grado bajo de plasticidad, deberían compactarse 100% aproximadamente de la A.A.S.H.O., modificada, a un contenido de humedad cercano al óptimo de laboratorio.

REQUERIMIENTOS MINIMOS RECOMENDADOS PARA LA COMPACTACION DE TERRACERIAS Y SUBRASANTES

(Basado en AASHO Designation M57-55)

Clase de Suelo (AASHO M45-49)	Requerimiento de Densidad Relativa*		
	Terracerias		
	Menor de 16m alto	Mayor de 16 m	Sub- rasante †
A-1, A-3	95	95	100
A-2-4, A-2-5	95	95	100
A-2-6, A-2-7	95	‡	95 a
A-4, A-5, A-6, A-7	95	‡	95 a

* Las densidades pueden determinarse ya sea bajo la Designación AASHO T-99 (con martillo de 2.5 Kg) o bajo la Designación T-180 (con el martillo de 454 Kg)

† La Designación AASHO M45-60 define la subrasante (cementación del suelo) como la parte preparada y compactada del suelo inmediatamente abajo del sistema del pavimento y tan profunda que podrá afectar el sistema estructural.

‡ El empleo de estos materiales requiere atención especial para diseñar la construcción.

a La compactación a 95% con el contenido óptimo de humedad

TABLA. 4

- 3) Las densidades para suelos que tengan de moderada a alta plasticidad, deberían ser tan grandes como para conducir a un hinchamiento subsiguiente. Los procedimientos de compactación no deberían hacer exceder el esfuerzo - cortante en los suelos, produciendo así una orientación de las partículas en paralelo.

3.9 CONTROL DE LA CONSTRUCCION DE TERRAPLENES

Existen dos procedimientos de control básicamente diferentes para asegurar una densidad apropiada en los terraplenes. El primero consiste en especificar el resultado deseado, estableciendo un valor mínimo aceptable para la consolidación relativa y asegurarse, mediante pruebas de campo para determinar la densidad y ver si es la especificada.

El segundo procedimiento es establecer la forma y el método para construir el terraplén. En esta caso se predeterminan los espesores de las capas, el control de humedad y el número de los pasos de apisonadoras de tipo especificado y el peso de las mismas.

Teóricamente, el control de la construcción del terraplén no es difícil, pero desde el punto de vista práctico ofrece varios problemas. Frecuentemente no pueden separarse los tipos de suelo durante la construcción, tal como puede hacerse en el laboratorio. La manipulación de materiales malesuchas veces resulta difícil, los suelos buenos pesados, por lo general, no son satisfactorios como material para terraple

nes y deben ser colocados profundamente en el terraplén o bajo las taludes en donde soportaría muy poca carga, y las operaciones de construcción deben ser planeadas consecuentemente con la anterior.

3.9.I PRACTICA GENERAL PARA LA CONSTRUCCION DE TERRAPLENES

Las prácticas de construcción de terraplenes es ahora en capas delgadas consolidadas, el procedimiento constructivo es generalmente el mismo, pero los detalles específicos pueden variar, de acuerdo con lo especificado en el proyecto.

Requerimientos de Densidad: Los terraplenes para la mayoría de los proyectos deben ser solidificados a una consolidación relativa mínima establecida; en otros casos se requerirá una consolidación "a satisfacción del Ingeniero".

Control de Humedad: El suelo en su estado natural, en los depósitos o en las fajas de préstamo, es mucho más húmedo que su contenido de humedad óptimo y lo deberemos secar si requerimos obtener una consolidación satisfactoria. En otras zonas el suelo es demasiado seco y debe añadirse agua por medio de camiones rociadores, en cualquier situación, el control exacto del contenido de agua es muy complicado.

Compactación: Los rodillos u otros dispositivos de compactación aumentan la densidad del suelo expulsando el aire de los huecos del suelo y obligando a los granos a ponerse en más íntimo contacto. El agua ayuda como un lubricante hasta el contenido óptimo de humedad.

Existe un límite práctico para la compactación que puede obtenerse con una apisonadora determinada, ya que la consolidación adicional obtenida en cargas repetidas pronto se vuelve muy pequeña. La retención de la carga es particularmente efectiva para aumentar la densidad de los suelos de grano fino, pero tiene un menor efecto en los materiales de grano grueso. Entoncez las apisonadoras más pesadas e un método diferente más bien que muchas repeticiones de carga, pueden ofrecer una mejor forma para producir densidades mayores. Sin embargo las apisonadoras pesadas no son una panacea para los problemas de compactación. El costo y los molestias de mover el equipo rodante pesado sobre las carreteras de una obra a otra, pueden impedir su utilización en pequeños proyectos.

Los compactadores incluyen rodillos de pata de cobra, de ruedas neumáticas, de ruedas de acero, compactadores de placas segmentadas, de rejillas, compactadores vibratorios en la forma de ruedas de acero o neumáticas y finalmente el equipo mismo de acarres y extendido del material. En casi todos los tipos de compactadores se dispone de varios pesos o se toman medidas para poder cambiar el peso a voluntad.

3.10 COMPACTACION DEL RELLENO DE ZANJAS Y TRINCHERAS

Esta compactación es importante, ya que el asentamiento posterior producirá asperezas en el camino terminado, aunque las áreas de relleno están normalmente confinadas para el empleo de equipo de gran escala. Para lograr satisfacer estas necesidades existe una gran variedad de compactadores manuales propulsados mediante aire comprimido, o electricidad.

Los principios de compactación se aplican igualmente a los problemas de relleno, excepto que la escala de operación sea diferente. Por lo regular se requiere que los rellenos -- sean compactados. Es muy recomendable el empleo de materiales granulares de relleno para aquellos lugares en que se dificulta la compactación de los rellenos con materiales de la misma trinchera.

3.10.1 ESPESOR DE LAS CAPAS DEL SUELO

El espesor ideal de las capas debe ser el que obtenga la densidad requerida con el menor tiempo y costo. Las variables son el costo de colocación y de distribución del material, la corrección de su condición de humedad y la compactación del mismo con una apisonadora del tipo y del peso apropiado.

Cada uno de estos costos sería diferente para cada tipo de suelo, actualmente el espesor máximo permisible de las capas antes de su compactación varía entre 15 y 60cm.

3.10.2 COMPACTACION DEL TERRENO NATURAL

Actualmente se requiere que el terreno original sea compactado antes de que las capas superficiales sean colocadas. En la mayoría de los casos la compactación se realiza mediante rodillos, sin estipular la profundidad de la compactación ni el agregado de agua.

Algunos estudios sobre fallas en los pavimentos revelan que muchas de ellas ocurren en los cortes e en los terraplenes bajos, y se originan porque los materiales de poca densi-

dad quedan muy cerca de la superficie del pavimento. Podemos deducir que una especificación que solamente requiera la compactación de la infra-estructura no es suficiente; en lugar de lo anterior, la compactación de la infraestructura debe estar relacionada con la profundidad por debajo de la superficie -- del pavimento,

3.II PAGOS POR CONSTRUCCION DE TERRAPLENES

En algunos casos se especifica que el precio por m^3 de excavación o de material prestado incluye todos los cargos -- por compactación, para agua según se requiera, o para aerear el suelo. En otras se paga separadamente un precio de presupuesto para instalar un suministro de agua más el precio presupuestado por millar de litros de agua, según se requiera. -- También se podrá pagar por apisonado con una apisonadora aceptable o a un precio de presupuesto por m^3 de material. Casi -- en ningún caso se paga por aeración u otras métodos de secado a menos que se hagan convenios especiales en los contratos.

C A P I T U L O I V

PAVIMENTACION

4.1 MATERIALES PETROOS. SUS CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO.

Podemos comprender fácilmente que las piedras naturales, por sus condiciones de dureza, tenacidad y por la posibilidad de trabajarlas con herramientas elementales son los primeros materiales utilizados para los revestimientos de carreteras.

En la elección de los materiales apropiados tiene la mayor importancia, tanto el aspecto técnico como el económico.

Por lo que respecta al concepto técnico, es necesario considerar que estos materiales deben resistir las fuerzas que actúan en las bases y transmitir a al terreno.

Naturalmente, las rocas tienen diferentes aplicaciones en la construcción de carreteras.

4.1.1 ASPALTOS. ORIGEN DE LOS ASPALTOS.

Asfaltos Naturales: La teoría volcánica, admite que los hidrocarburos naturales son producidos en la masa interna del globo, por su combinación directa del carbono y del hidrógeno, bajo la influencia de la presión y de la alta temperatura. Estos productos sólidos, líquidos o gaseosos en seguida aparecen en la superficie terrestre, en el curso de las erupciones volcánicas y están mas o menos condensados.

La teoría hullera, atribuye a los asfaltos y al petróleo un origen vegetal, análogo al de la formación de la hulla, los productos de descomposición de los vegetales, resultante de la destilación y transformación en el interior

de la tierra, aparecen en la superficie a favor de las erupciones volcánicas y de plizamientos de la corteza terrestre.

La teoría orgánica, considerada actualmente como la más probable, atribuye al petróleo un origen orgánico, principalmente animal; descomposición de organismos inferiores-
acumulados en el curso de sedimentación y consta en efecto, que la mayor parte de los grandes yacimientos de petróleo, se encuentran en las regiones sedimentarias. Existen por otra parte ciertos asfaltos nativos que seguramente provienen de una alteración especial (asfaltización) de petróleos por polimerización y parte por deshidrogenación al contacto del aire y sobre todo de aguas sulfurosas o sulfatadas--
con parte de los aceites ligeros.

Cualquiera que sea el origen del producto en bruto es posible depurarlo por medio del refinado. Después de su extracción, la depuración consiste en someter el producto a una fusión simple por el calor, que le separa el agua y una fracción de las materias extrañas.

El producto así obtenido es muy duro para los usos a los cuales se destina. Se corrige esta característica con la incorporación de un solvente o flux, esta incorporación se hace al mismo tiempo que el refinado para dejarlo listo para su uso. Los fluxes más usados en los asfaltos son aceites de esquistos.

El conocimiento del asfalto, tiene un gran interés por ser poderoso aglutinante, fácilmente adhesivo, muy impermeable y duradero. Es una substancia plástica e imparte una flexibilidad a sus mezclas muy controlables. No lo atacan la mayor parte de los ácidos, alcalis, y sales, aunque es un material sólido o semisólido a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente calentándolo o disol-

viendolo en destilados de petróleo volátiles o no, ó bien-- en aceites residuales, su color generalmente es negro o café obscuro.

La mayor parte del asfalto que se produce y se usa es refinado del petróleo. El asfalto refinado se produce en una variedad de tipos y calidades que varían desde los sólidos, duros y quebradizos, hasta líquidos casi tan fluidos-- como el agua. La forma semisólida, conocida como cemento asfáltico, es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del-- petróleo. Siendo la destilación el proceso principal para-- obtener asfalto del petróleo y sus componentes básicos son:

	Asfalto duro
Petróleo Crudo	Aceites no volátiles
	Aceites de volatilización lenta
	Aceites volátiles
	Asfalto duro
Aceite resi- dual asfáltico	Aceites no volátiles
	Aceites de volatilización lenta
	Asfalto duro
Cemento Asfál- tico	Aceites no volátiles
Asfalto duro	Asfalto duro

Los productos asfálticos líquidos, que muy pronto de-- sarrollan un alto poder cementante al usarse, y que provie-- nen de la destilación del petróleo crudo se dividen en tres

grupos:

- 1) **Emulsiones:** El asfalto se encuentra emulsionado en un líquido, por medio de algún agente emulsificador. Según sea la calidad de dicho agente se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido.

- 2) **Asfaltos Rebajados:** En los cuales el asfalto se hace manejable por medio de un solvente, que proviene de destilados volátiles del petróleo, según sean dichos solventes, así es el tipo del asfalto fluxado en cuanto su fraguado. Si usamos como solvente diesel, obtendremos fraguados lentos, que contienen en su composición, cemento asfáltico, aceites de volatilización lenta y aceites no volátiles. Si se usa como solvente kerosina, se obtienen fraguados medios, que contienen en su composición cemento asfáltico y kerosina; si usamos gasolina obtendremos fraguados rápidos que contienen cemento asfáltico y gasolina.

- 3) **Cementos Asfálticos:** Consisten en hacer manejable exclusivamente por temperatura el asfalto.

EMULSIONES ASPALTICAS.

Se da el nombre de emulsión a la dispersión de un líquido con otro, con el cual no se mezcla, formándose lo que conocemos con el nombre de fenómeno de dos fases. Una de estas fases está formada por gotas microscópicas de uno de los líquidos y ésta recibe el nombre de fase dispersada, y el otro líquido en el cual no se observa división alguna y sólo sirve de medio a la suspensión recibe el nombre de fase continua.

Para formar una emulsión, se agitan juntos violentamente dos líquidos que no se mezclan, al agitar los líquidos—uno de ellos se subdivide en gotas muy pequeñas, pero tiende luego a flotar el líquido menos denso y en poco tiempo sobreviene la separación.

Las Emulsiones Asfálticas son líquidos de color chocolate casi tan fluidos como el agua, de la cual contienen—de un 40% a un 50%, éste al parecer elevado porcentaje de una sustancia que no se aprovecha como aglutinante, tiene en realidad un papel muy importante, pues permite la aplicación del asfalto en frío, permite cubrir el material pétreo de los pavimentos con partículas más delgadas que las obtenidas con los asfaltos calientes, facilita la penetración del asfalto, porque las emulsiones no se coagulan en contacto con el material pétreo húmedo y en tiempo de frío.

Cuando las emulsiones asfálticas se aplican al material pétreo, el agua usada en su manufactura se elimina por absorción y por evaporación.

Como en la mayoría de los casos, las emulsiones se aplican lejos del lugar de producción y serán transportadas en camiones o ferrocarril, usando distintos envases, fácil-

mente se comprende que la estabilidad de las mismas, es un requisito indispensable, es decir su resistencia a la coagulación o sedimentación que traería serios trastornos para su uso.

El porcentaje de asfalto con que deben contar las emulsiones deberá ser entre el 50% y el 55% el cual es un límite muy razonable, en el que la riqueza se obtiene sin sacrificar la fluidez, la que principia a disminuir muy rápidamente en las emulsiones que tienen mayor contenido de asfalto.

La calidad del asfalto, tiene tanta importancia si se aplica en forma de emulsión, como si se usa en asfaltos--- fluxados, pero independientemente para la fabricación de--- las emulsiones tendremos que hacer una cuidadosa elección--- de los asfaltos que posean todas las características indispensables, para producir un buen pavimento, la penetración de las emulsiones no dependerá de la penetración de los asfaltos usados en su ejecución y tan fluida puede ser una--- emulsión de asfalto de 100 de penetración, como otra cuyo--- contenido de asfalto sea de 250 de penetración.

La penetración del asfalto usado en las emulsiones es de 180 a 200, con tendencias en mayores penetraciones en--- pavimentos para los climas fríos o cuando se utiliza material pétreo con más de 5% de polvo, en cuyo caso es conveniente el usar asfalto de penetración de 250 a 300.

La velocidad del fraguado de una emulsión asfáltica dependerá de la mayor o menor rapidez con que se separa el agua de la misma dejando al contacto del material pétreo una capa de asfalto que no puede emulsionarse de nuevo con el agua, al iniciarse el fraguado su color cambia de chocolate claro a negro, pero el proceso durará algunas horas.

Las diferentes velocidades de coagulación han dado origen a tres tipos principales de fraguado: rápido, medio y lento.

Las emulsiones de fraguado rápido, las usaremos para riegos superficiales y profundos.

Las emulsiones de fraguado medio y lento para mezclas y estabilizaciones.

Las especificaciones a las cuales deberán sujetarse--- las emulsiones serán las siguientes:

	F r a g u a d o		
	Rápido	Medio	Lento
Contenido de agua.	42-43%	40-43%	40-42%
Contenido asfalto 180 penetración.	57-58%	58-60%	58-60%
Agente emulsificador máximo.	1.0%	2.0%	3.0%
Cenizas máx.	0.5	0.5	0.5
Viscosidad Seybolt-furo125° C	100"	100"	100"
Gravedad específica	1.02	1.02	1.03
Retención malla No. 20	0.1%	0.1%	0.1%
Demusibilidad	No+30%	No+30%	-
Miscibilidad con cemento	Nopasa	Nopasa	Pasa
Sedimento 5 días	No+3%	3.0%	3.0%
Miscibilidad con agua	--	pasa	pasa

4.2 ASPALTOS REBAJADOS Y CEMENTOS ASFÁLTICOS

El material asfáltico que es soluble en bisulfuro de carbono se define como bitúmen, el cual se aplica a sustancias naturales, de color, dureza y volatilidad variables--- compuestos principalmente de hidrocarburos, de origen pirógeno o combinación de ambos, este material se clasifica co-

mo sólido, semisólido o líquido. Los cementos asfálticos - son materiales sólidos o semisólidos que no están pulverizados y que requieren calor para su manejabilidad.

Los bitúmenes asfálticos fluidos pueden dividirse en - dos clases:

- 1) Los aceites asfálticos para caminos, que son - obtenidos por la destilación directa de los aceites del petróleo; contienen una mezcla de - bitúmen asfáltico con otros productos petrolíferos más ligeros tales como tractolina, petróleo, éstos productos son siempre menos volátiles que la Kerosina.

Los aceites asfálticos están compuestos de hidrocarburos saturados de alto peso molecular; a temperaturas ordinarias son líquidos viscosos o semilíquidos, su color es café, son poco aglutinantes o cohesivos.

- 2) Asfaltos rebajados, es un bitúmen asfáltico - proveniente de la destilación del petróleo o - una mezcla del mismo con aceites volátiles, - por lo que se puede considerar como disolución del bitúmen asfáltico con un solvente volátil. Al exponerlo a las condiciones normales, se evapora el solvente, quedando como residuo el - bitúmen asfáltico, generalmente los empleamos calientes.

Los asfaltos rebajados se conocen con los nombres de: F.L. (en los cuales se usan como solventes diesel y por lo tanto su volatilidad es lenta). F.M. (en los cuales se -

usara como solventes kerosina y su volatilización es media).—
P.R. (en los cuales se usa como solventes gasolina y su vo-
latización es rápida).

Estas letras estan seguidas de una cifra que varia de-
0 a 5, y que indican la viscosidad del producto.

El control de la consistencia de un material asfáltico
es importante como constituyente para el acabado de un cami-
no o pavimento, y de su adaptabilidad para usarlo de acuer-
do con un método dado de aplicación o manejo.

4.3 ROCAS ASPALTICAS

Son areniscas o calizas naturalmente impregnadas de as-
falto. Su contenido de asfalto puede variar desde muy bajo-
2 ó 3% a muy alto 15% o más. El asfalto que se encuentra in-
pregnado en las rocas asfálticas puede o no ser apropiado--
en cantidad y consistencia para usarse directamente en tra-
bajos de pavimentación.

Este tipo de material se utiliza eventualmente en Méxi-
co por carecer de yacimientos de este tipo.

4.4 DIFERENTES TIPOS DE CARPETAS ASPALTICAS

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos—
flexibles se pueden clasificar de la siguiente manera:

- | | |
|--------------------------------|--|
| | Simple o de un riego |
| a) Tratamientos superficiales. | Doble o de dos riegos |
| | Triple o de tres riegos |
| b) Macadam Asfáltico | |
| Mezcla en el lugar | Elaborado con motoconformadora o mezcladora ambulante. |

- | | |
|-----------------------|---|
| d) Mezcla en planta | Dosificada por volumen |
| | Dosificado por peso en - |
| e) Concreto Asfáltico | planta, y empleando cemento asfáltico, y agregados calientes. |

Antes de iniciar la construcción de la carpeta asfáltica debemos contar con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca.

El riego de impregnación consistirá en lo siguiente:

Estando la base seca, se barre para retirarle el material suelto y el exceso de polvo de la superficie. Inmediatamente se le da un riego de producto asfáltico de fraguado medio a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, esperando - unos dos días para que penetre y seque. El número del fraguado medio a emplear depende de la textura de la base.

Tratamientos superficiales:

Simple, el cual consiste en dar un riego de producto asfáltico sobre la base del pavimento ya conformada, compactada, impregnada y seca, a razón de 1.5 a 2.0 litros por metro cuadrado, e inmediatamente se cubre con material pétreo a razón de 6 a 8 litros por metro cuadrado, pudiendo a brirse al tránsito unos días después, debiendo barrerse de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que - vaya a ayudar a formar ondulaciones en la carpeta.

Doble, su procedimiento constructivo es similar al tratamiento simple, con la diferencia de que en este se requiere un segundo riego 2 o 3 días después de haber concluido - el tratamiento simple.

El macadam asfáltico es una carpeta asfáltica que con-

siste de capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acua mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

4.5 PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

Los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos como también se les designa, difieren de los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles, primero, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, y segundo, en que son afectados grandemente por los cambios de temperatura. Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a) Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b) Esfuerzos directos a compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c) Esfuerzos de compresión y tensión que resulten de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Debido a los esfuerzos a los que se encuentran sometidos los pavimentos rígidos es necesario que tomemos en cuenta para su diseño los siguientes aspectos:

- a) Volumen, tipo y peso del tránsito a servir en la

actualidad y en un futuro previsible.

- b) Valor relativo de soporte y características de la sub-rasante.
- c) Clima de la región.
- d) Resistencia y calidad del concreto a emplear.

Si en el proyecto de estos pavimentos no se toma en cuenta alguno de los puntos mencionados, el pavimento no será económico.

El conocimiento del volumen y las características del tránsito actual y del previsible son necesarios para poder fijar el número y el ancho de las vías requeridas para satisfacerlo, y el peso de las cargas por rueda son imprescindibles para el cálculo de los espesores de las losas. La mención de estos factores señala la obligación que asiste al proyectista de hacer los mayores esfuerzos para reunir los datos del tránsito, siendo de particular importancia la obtención de datos relativos a las cargas de rueda, especialmente a las predominantes, en la forma más exacta posible, por cuanto de ello dependerá el acierto de su proyecto.

Los esfuerzos de flexión debidos a las cargas son los más importantes en las losas. Tanto los estudios teóricos como los ensayos de losas han demostrado que el punto crítico de una losa de espesor uniforme, es decir, aquel en que para una carga dada se desarrollan esfuerzos más elevados, es el correspondiente a la esquina de la misma, o sea el ángulo formado por un borde exterior y una junta transversal.

CONCLUSIONES

Los valores límites obtenidos de las pruebas de laboratorio nos permiten opinar sobre la calidad de un material para construir terracerías, la A.A.S.H.O., nos proporciona los valores siguientes:

- + El límite líquido no debe ser mayor que 65.
- + El índice plástico no debe ser mayor de 20 en regiones áridas, ni mayor de 15 en regiones húmedas.
- + El límite de contracción no debe ser mayor de 6 en regiones áridas y no mayor de 4 en regiones húmedas.
- + La granulometría no tiene curva propiamente dicha, pero el material no debe ser menor que los tamaños máximos que da la malla #60.
- + El peso volumétrico aparente seco no debe ser menor de 900 Kg/m^3 .

Para poder construir una terracería estable y de buena calidad es necesario llevar al extremo estas especificaciones y probablemente en muchos casos nos veríamos en la necesidad de transportar material de buena calidad, desde largas distancias. Esto naturalmente contribuiría a aumentar el costo de la obra y en muchos casos nos resultara más conveniente llevar a cabo una rigurosa compactación.

Además debemos seguir como norma principal el aprovechamiento mayor posible del material que se encuentra en el lugar de la obra.

Señ raros los casos en que hay que transportar desde lejos el material necesario y únicamente se hace cuando el que se encuentra a mano es verdaderamente pésimo.

Los sistemas constructivos empleados de una manera conveniente, en general, nos llevan a que cuando tratemos de mover pequeños volúmenes, es más conveniente la construcción a mano con ayuda de pala y pico, y cuando tratemos de mover grandes volúmenes, resulta mucho más económico y rápido el empleo de maquinaria especial.

Una vez construídas la terracería, es necesario construir una superestructura que cumpla con ciertas especificaciones para que el tráfico se pueda hacer con comodidad, economía y seguridad. Esta superestructura es el "pavimento" y ha de ser la más precisa y estará determinada por las pendientes y la naturaleza del tráfico que predomine.

Es necesario que comprendamos que el pavimento más barato no será precisamente el más económico; si el pavimento barato no es el más adecuado para el tráfico que ha de soportar se destruirá rápidamente y será necesaria una elevada conservación si pretendemos, que el pavimento conserve sus características.

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

- 1.- Tamez Enrique, MECANICA DE SUELOS APLICADA A LA CONSTRUCCION DE VIAS TERRESTRES, (UNAM). México D.F..
- 2.- Terzaghi, MECANICA DE SUELOS EN LA INGENIERIA PRACTICA I, México D.F.; Editorial Ateneo, 1963.
- 3.- Hewes y Ogleby, INGENIERIA DE CARRETERAS, México D.F.; - Editorial C.E.C.S.A., 1982.
- 4.- Crespe Carlos, VIAS DE COMUNICACION, México D.F.; Editorial Limusa, 1984.
- 5.- Hermosillo Jesús, PAVIMENTOS DE CAMINOS Y AEROPISTAS, -- (UNAM). México D.F..
- 6.- Nichols Herbert, MOVIMIENTO DE TIERRAS (MANUAL DE EXCAVACIONES), México D.F.; Editorial C.E.C.S.A., 1983.