

10
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON**

**"METODOS DE TRATAMIENTOS PARA LOS MATERIALES
A EMPLEARSE EN LA CONSTRUCCION DE
VIAS TERRESTRES"**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A :
JOSE ANGEL CARRASCO DELGADO**

ASESOR: ING. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO



ENERO 96

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

JOSÉ ÁNGEL CARRASCO DELGADO
PRESENTE

En contestación a su solicitud de fecha 16 de agosto del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "MÉTODOS DE TRATAMIENTOS PARA LOS MATERIALES A EMPLEARSE, EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS TERRESTRES", con fundamento en el punto 8 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 21 de agosto de 1995
EL DIRECTOR

En I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/ila

I N D I C E G E N E R A L

	página
Capítulo I "Introducción"	1
Capítulo II " Capas que constituyen la sección de una vía terrestre "	5
II.1.1.-Terracerías	5
II.1.2.- Para carreteras, puertos aeropuertos y ferrocarriles.	6
II.1.3.- Para caminos vecinales	9
II.1.4.- Deformabilidad en terracerías.	10
II.2.-Pavimentos	12
II.2.1.- Para la sub-base.	14
II.2.2.- Para la base.	20
II.2.3.- Para la carpeta	23
II.2.4.- Para el riego de sello	25
II.2.5.- Para los aeropuertos.	26
II.2.6.- Para puertos.	28
II.2.7.- Para ferrocarriles.	28
Capítulo III " Normas de calidad en los distintos tipos de materiales "	31
Materiales para terracerías	31
Materiales para revestimiento, sub-bases y bases de pavimento	31
Clasificación	31
Sub-base estabilizada con asfalto	35
Suelo modificado.	36
Suelo cemento	36
Suelo modificado antes de estabilizarse	36
Para aeropistas antes de estabilizarse.	37
Para bases	38
Para bases con cal, puzolana o cemento.	38
Base negra o asfáltica	39
Materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas	40
Productos asfálticos sus aditivos y mezclas asfálticas	43
Materiales para sub-balasto y balasto	49
Capítulo IV " Principales tipos de tratamientos para cumplir con las normas de S.C.T. "	50
IV.1.-Tratamientos y sus propiedades	51
IV.2.-Identificación de suelos para tratamientos	53
Cuadro IV.2.3 respuesta de los suelos al uso de las sales	55

IV.3.-Diversos tratamientos	57
Disgregado y cribado	57
Lavado	58
Trituración	58
Estabilidad mecánica	59
Estabilización química	62
con cal	62
con cemento	68
con asfalto	75
IV.4.-Pasos a seguir en la estabilización	79
Capítulo V " Descripción de los equipos emplea dos en estos tratamientos "	82
Cribas	82
Trituradoras	83
De quijadas	84
De rodillos	84
De impacto	86
De martillos	86
De cono	86
Capítulo VI " Análisis de los costos en estos tratamientos "	90
Para estabilización con cemento	92
Para estabilización con asfalto	92
Capítulo VII " Conclusiones "	93
Bibliografía	96

Capítulo I.- Introducción

Dado que en la República Mexicana, existe una diversidad de suelos que en su estado natural no son adecuados para la construcción de vías terrestres por no reunir las especificaciones que norman en la "S.C.T". El ingeniero debe de alguna manera - resolver este problema mediante los conocimientos de los principales tratamientos, que se aplican a los materiales como son; la disgregación, el cribado, lavado, trituración y estabilización química, que está basado en lo siguiente: "Cambiar las propiedades del material existente de tal manera que se obtenga otro que reúna en mejor forma las características deseadas".

En la ingeniería de vías terrestres el material que más se emplea es el suelo, porque tiene una gran variabilidad intrínseca presentando problemas muy serios como son; humedad, resistencia a la compresión o tensión, plasticidad, capilaridad, homogeneidad y granulometría, que ordinariamente no se encuentran en otros materiales como lo son; el acero, el concreto, ladrillos, rocas, madera, etc, etc, .

En la actualidad se sabe que estas propiedades del suelo, se pueden alterar para mejorar su calidad de muchas formas como son; drenaje, medios eléctricos, cambios de temperatura, medios químicos (adición de agentes estabilizantes), medios mecánicos (se les agrega algún cementante como el caliche). También se debe de tomar en cuenta que en las vías terrestres se utilizan grandes extensiones de terreno esto origina una variabilidad de suelos muy grande por lo consiguiente, cada método de tratamiento que se quiera utilizar resulta aplicable solamente a un número determinado de ellos, así tenemos que la cantidad y tipo de tratamiento estará gobernado por la cantidad, calidad y costos de los suelos que se quieran tratar. También es indispensable reconocer que el tratamiento no es una herramienta mágica-

que nos va a mejorar todas las propiedades de uno o varios suelos, por consiguiente se debe tener una apreciación de las propiedades del material que se quiera mejorar y tener definido hasta que especificación ("S.C.T." en México) se quiere llevar a éste, pues este requisito es un elemento muy importante para tomar la decisión correcta acerca del método a emplearse.

Para cumplir con los requisitos pedidos por "S.C.T." se debe tomar en cuenta las siguientes propiedades de un suelo que son:

- 1.-Estabilidad volumétrica (cambios de volumen).
- 2.-Resistencia mecánica (resistencia a la deformación).
- 3.-la durabilidad (que se puede definir como la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión).
- 4.-Permeabilidad (Aquí se presentan dos problemas que son la presión de poro y el flujo del agua a través del suelo).
- 5.-Compresibilidad (se puede definir como los cambios de volumen y dependen de los siguientes factores como son: tipo de carga aplicada estática o dinámica con respecto a la que el suelo soportaba anteriormente, tiempo de aplicación de la carga cuando se ha disipado la presión de poro, naturaleza química del líquido intersticial y otros más originados por el muestreo. Aclarando que los cambios en la estabilidad volumétrica se dan sin aplicación de cargas estos cambios obedecen a factores naturales como temperatura y humedad).

La elección del método de tratamiento lo deberá hacer un ingeniero experto en vías terrestres o de suelos por los comentarios del capítulo IV ref. IV, pues será el único que podrá estimar

la viabilidad del mejoramiento en base a sus conocimientos teórico-prácticos y no debe dejarse influenciar por ningún tipo de publicidad. Para esto se recomienda que haga un estudio completamente racional de las características del suelo con la aplicación del tratamiento propuesto, debe desde luego tomarse en cuenta la facilidad y economía con la que el tratamiento pueda llevarse a cabo en una planta o el campo.

Ya hemos mencionado el propósito de la tesis, así como las cualidades de los suelos y las normas que nos regiran. Ahora procederemos a describir el contenido de los capítulos que integran la tesis.

En el segundo capítulo trata de la sección transversal de las vías terrestres describiéndonos su función y características principales como son: límite líquido, límite plástico, valor cementante, contracción lineal, grado de compactación, dividiéndolo en sus dos capas estructurales que son terracerías y pavimentos también se hizo la siguiente subdivisión de terracerías para carreteras, caminos vecinales, aeropuertos, puertos y ferrocarriles ya que se proyecta y construye de la misma manera pero con diferente especificación. Se presentan algunos dibujos de las partes principales de diferentes terraplenes según el tipo de transporte que sea, ferrocarril, puerto, aeropuerto, carretera, camino vecinal. También se habla de la deformabilidad de las terracerías por ser un requisito básico del material para la aceptación o rechazo en esta capa.

De igual manera describiremos a las capas posteriores que son la sub-rasante, sub-base, base, carpeta y riego de sello.

En el capítulo tercero; se mencionan las normas de calidad en los distintos tipos de materiales por ser el parámetro de comparación en suelos tratados. En el cuarto capítulo hablamos de los diversos tratamientos como son: disgregación, cribado, lavado, triturado y estabilización mecánica así como química; en esta última incluimos una tabla de respuesta en los suelos con -

el uso de las sales, ácidos, resinas y polímeros, pero no vemos ejemplos de diseño debido a que se necesita la ayuda de un especialista.

El capítulo quinto describe tres tipos de cribas, así como el principio de trabajo de las trituradoras y la descripción de cuatro tipos de las mismas; también se anexa las características principales de un triturador de impacto, por tener una gran versatilidad para el trabajo, como son: tipos de cámara, capacidad para diferentes granulometrías y comodidad para transportarse. Para el capítulo sexto se hizo un análisis de los costos de estos tratamientos para compararlos posteriormente entre sí y ver que decisión conviene tomar en un momento dado.

En el capítulo séptimo se ve una comparación del cambio de granulometría y las conclusiones a las que se ha llegado, además se describen dos pruebas importantes que son: "Hubbard Field Modificada" y "Valor Relativo de Soporte Florida Modificada".

Capítulo II.- Capas que constituyen la sección transversal de una vía terrestre.

Las diferentes capas que forman la estructura de una vía terrestre las podemos dividir en dos partes que son terracerías y pavimentos. Haremos esto para ver las características de cada una de ellas, ya que por su proceso constructivo, tipo y calidad de los materiales, así como las especificaciones de LL, LP, IP, VRS CL, VC, GC, granulometría y espesores son diferentes.

II.1.1-Terracerías

Una terracería ya sea para camino, carretera, ferrocarril puer to o aeropuerto se proyecta y construye de la misma manera; es decir la altura de los terraplenes y la profundidad de los cortes estará regida por la línea subrasante y ésta a su vez está gobernada por la pendiente longitudinal de la obra, que en ferro carriles es mucho menor que en carreteras, sobre todo en terrenos de lomerío y montañoso lo que da lugar a puentes, tuneles, viaductos y en ocasiones a terraplenes muy altos. El trazo y la nivelación se determina en base a estudios socio-económicos y se obtiene la sub-rasante moviendo hacia arriba o abajo según sea el caso la línea horizontal, tomando en cuenta las especificaciones que como en el caso del ferrocarril es muy rígida (menor al 0.5%).

Las terracerías son los volúmenes de material que es necesario excavar en los cortes y que se utilizan como relleno para formar la sección de una vía terrestre, los materiales se pueden extraer en toda la línea de la obra y si este volumen se usa para la construcción de los terraplenes o relleno entonces se dice que es una terracería compensada, el volumen de corte que no se usa se denomina de desperdicio y si hace falta volumen entonces se necesita extraer material fuera de la obra o sea en zonas de préstamo; si esta zona está de 10-100m. a partir del centro de la línea se llama lateral y si está a más metros se denomina de banco.

II.1.2 Para carreteras, puertos, aeropuertos y ferrocarriles

Las terracerías son la parte más baja de la estructura de una vía terrestre ya sea carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril o camino vecinal, este último lo describiremos más adelante. La capa de terracería para cualquier estructura consta de dos partes que son: el cuerpo del terraplén y la capa sub-rasante ver fig.II.1, así tenemos que para el cuerpo del terraplén su función es proporcionar la altura requerida, ya que en corte no va esta capa y sus especificaciones las veremos en el capítulo IV.

Debido a las funciones de la capa sub-rasante que son; recibir y transmitir adecuadamente los esfuerzos del tránsito al cuerpo del terraplén; evitar que los materiales granulares del pavimento sean absorbidos por el cuerpo del terraplén en el caso que se usen fragmentos de roca (pedraplén), cuando sucede esto su granulometría debe ser intermedia entre los fragmentos de roca y los materiales granulares del pavimento; lograr que los materiales del pavimento no se contaminen con los finos plásticos de las terracerías; evitar las imperfecciones de la cama de los cortes en roca para que no se reflejen en la superficie de rodadura; economizar y uniformizar los espesores del pavimento al tener una capa de mejores características al del cuerpo del terraplén.

Por las funciones que realiza y para su construcción de la capa sub-rasante se debe tener en cuenta las siguientes características.

- a).- Tamaño máximo del agregado 7.5cms. (3").
- b).- Grado de compactación.
- c).- Las deformaciones.
- d).- Espesor de la capa 30cms. mínimo.
- e).- La resistencia.
- f).- Altura suficiente; para evitar la capilaridad y permitir el drenaje.

El propósito o función de las terracerías es resistir los esfuerzos del tránsito transmitidos por la capa de pavimento, transmitir los esfuerzos del pavimento adecuadamente al terreno natural y proporcionar la pendiente requerida por el trazo del camino (altura requerida) ver fig. II.1

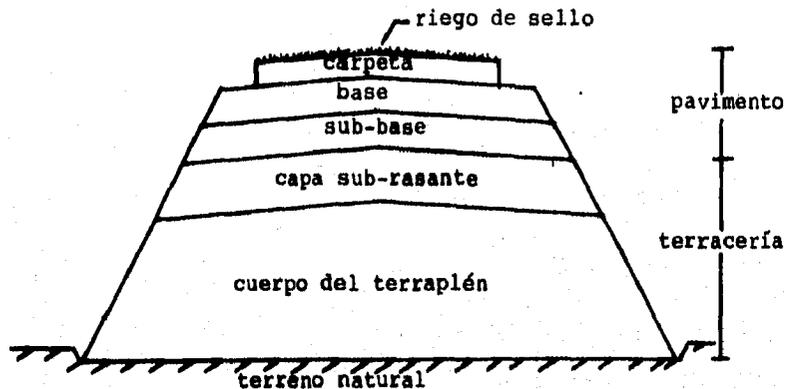


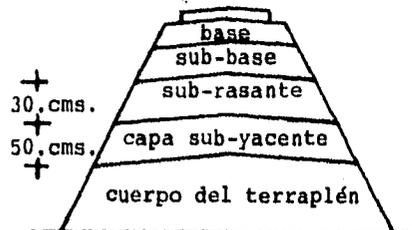
fig.II.1 sección transversal de una vía terrestre

Cuando las terracerías son en corte consta de una sola capa que se denomina sub-rasante con espesor mínimo de 15cm ver fig. II.2, pero cuando es en terraplén y el tránsito es de hasta 5000 vehículos diarios el espesor mínimo será de 30cms., sin embargo cuando el tránsito es mayor a 5000 veh. diarios lleva otra capa antes de la sub-rasante con nombre de "sub-yacente" de 50cms. de espesor como mínimo con material compactable ver fig.II.3

fig.II.2 terracería en corte



fig.II.3 terracería con capa sub-yacente



Los materiales que se pueden utilizar para la construcción del cuerpo del terraplén pueden ser de tamaños máximos hasta de 75 cms.(3") y no deben trabajarse materiales con más de 30% de partículas pasando por la malla num. 200. Estos que se utilizan en el terraplén se dividen en 2 compactables y no compactables (ref. 1), se dice que un material es compactable cuando después de disgregado al menos el 20% es retenido en la malla de 7.5cm s.(3") y menos del 5% se retiene en la malla de 15cms.(6"), los materiales que no son compactables son los que no cumplen con estas características.

Otro aspecto importante son los taludes, ya sea en terraplén o en corte se debe de proyectar de acuerdo con los materiales del terreno natural y los de relleno, así tenemos que para roca firme será 0; para pizarra, lutita, calizas que son materiales consolidados es de $\frac{1}{2}$:1 con hechados horizontales para que no exista peligro de estabilidad de talud; para tepetates, arcillas o rocas fisuradas será de $\frac{1}{2}$:1; sin embargo cuando se forman con arena de médano o playa es conveniente utilizar valores de 3:1 hasta 5:1, ya que el agua de lluvia las erosiona mucho. Cuando se tengan dudas es conveniente recurrir a los estudios de mecánica de suelos en pruebas triaxiales para determinarse y reconocer la resistencia al esfuerzo cortante, por ser la que determinará la pendiente de los taludes en corte o terraplén en último de los casos.

II.1.3 Para caminos vecinales

Se denominan caminos vecinales cuando el costo de la construcción se divide en tres partes gobierno federal, gob. estatal y los particulares interesados (ref. 2). Tomándose en cuenta las posibilidades actuales y futuras del tránsito, estos caminos tienen características medias, es decir no necesitan grandes especificaciones de alineamiento como son: grado de curvatura, sobreelevación, pendiente longitudinal, visibilidad, ancho de sección y superficie de rodamiento, derecho de vía, cargas de proyecto y espesor de revestimiento. Este último debería ser calculado por el laboratorio en función de la calidad de las terracerías y de los materiales de revestimiento disponibles, pero solo se debe hacer para los caminos de tipo especial que lo ameriten para justificar el gasto; en este caso ya no se tratarían de revestimiento sino como capas de sub-base y base. Los espesores de revestimiento varían de acuerdo con la clase de material de la terracería, granulometría y tipo, así tenemos que para un camino vecinal del tipo especial, primer, segundo, o tercer orden. Se debe contemplar los siguientes datos del cuadro II.1.3

Cuadro II.1.3 Clasificación de caminos vecinales

características	tipo			
	especial	1º orden	2º orden	3º orden
clase de terreno	plano, lomerío suave	plano, lomerío suave, montañoso	plano, lomerío suave montañoso, escarpado	
vel. máx. KPH.	80	60	40	30
drenaje	definitivo	semi-definitivo	provisional semi-definitivo	provisional
carga	H-20	H-15 mínimo	H-15	H-10
tránsito	100-40 v/d	50-100	50 máx.	25 o menos
superficie de rodamiento	petrolizada	revestida	revestida en lo necesario	la natural del terreno
sub-rasante	x	x		

II.1.4 Deformabilidad en las terracerías

A continuación veremos las causas del porqué se debe tomar en cuenta la deformabilidad en las terracerías: En base a esto podemos decir lo siguiente.

- 1.- La resistencia de los suelos al esfuerzo cortante no es un requisito fundamental en las terracerías pues el esfuerzo que se percibe en ellas es de menor valor, por la distribución de la capa de pavimento.
- 2.- La deformabilidad es un requisito básico para la aceptación o rechazo de un material de terracería y también el que condiciona su buen comportamiento como infraestructura de un pavimento, es decir el material a utilizar será poco deformable debido a que la calidad de los materiales juega un papel muy importante en dos casos extremos - que son:
 - a).- Cuando los materiales tienen gran abundancia de fragmentos grandes y medianos son deformables porque presentan dificultades constructivas que suele tenerse para darles acomodo necesario, esto hace que en muchas ocasiones se cometan graves descuidos durante la construcción, que tienen muy desfavorables repercusiones y serán más graves cuanto más alto y grande sea el terraplén. Otro caso es cuando el terraplén es muy bajo de altura los fragmentos quedan cubiertos por capas muy delgadas de suelo y esto será difícil de compactar y por lo tanto puede presentar grandes problemas de deformabilidad.
 - b).- A los materiales en que predomina los tamaños más pequeños que es probable encontrar en los suelos como son los arcillosos y compresibles, presentan características de deformabilidad tan desfavorables que su uso debe proibirse la "S.C.T." por ejemplo; prohíbe el uso en el cuerpo del terraplén de los materiales MH, OH y CH cuando su LL es mayor de 100%. También prohíbe el uso de materiales que en el "S.U.C.S." reciben el nombre genérico de "Pt" y en añadidura orgánicos. ver cuadro III.2 cap. III.
Una terracería deformable obligará al uso de pavimentos muy gruesos, para lograr que los esfuerzos transmitidos lleguen a niveles suficientemente bajos en lo cual involucra un problema, si la deformación se toma en cuenta en el diseño del pavimento, éste será antieconómico pues cuesta más el material de pavimento que el de terracería; si la deformación no se toma en cuenta como muchas veces ocurre, nunca se tendrá un pavimento con buen comportamiento por mejor que se construya y por más que se le dé conservación
- 3.- La acción climática se entiende como la variación estacional y es causa de repercusiones en la vía terrestre - parece que una vez construido un camino se alcanza al ca

bo de algún tiempo una condición de equilibrio, y que ésta es relativamente independiente de los cambios estacionales, por lo menos en México por no tener variaciones notables. Este equilibrio dependerá del clima, la conformación topográfica y geológica además de la relación que guarden estos accidentes con el trazo general de la vía.

II.2 Pavimentos

El pavimento se puede definir como el conjunto de capas que se colocan entre la terracería y la superficie de rodamiento - ver fig.II.1. Sus funciones son: proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados; ser capaz - de resistir la acción del tránsito, intemperismo y otros agentes perjudiciales; transmitir adecuadamente a las terracerías - los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito en una área mayor.

Un pavimento es la superestructura de la obra vial que hace posible el tránsito sin obstáculos de los vehículos, con la seguridad, comodidad y economía previstos en el proyecto. La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una infinidad de posibilidades que puede estar formado por una sola capa o por varias y éstas pueden ser de materiales naturales seleccionados, y en algunos casos sometidos a muy diversos tratamientos ver cap. IV.

Estas capas son diferentes dependiendo del tipo de pavimento ya sea flexible o rígido y son las que producirán la superficie de rodamiento. En caminos de escaso tránsito (menos de 200 veh. - diarios), las razones económicas impondrán el uso de superficies de rodamientos con bajos requerimientos, formados por fragmentos de roca o mezclas de éstos con suelos (revestimiento), - cuando el tránsito empieza a tener importancia se debe hacer referencia a los puntos adelante mencionados para recubrir la superficie de terracería.

- 1.- Ser estable ante los agentes de intemperismo.
- 2.- Resistir la acción de las cargas del tránsito.
- 3.- Tener textura apropiada al rodamiento y permeabilidad.
- 4.- Ser durable.
- 5.- Ser económica.

Para cumplir con los requisitos anteriores, se necesita de un -

material granular que no es posible obtener en forma natural y que sus partículas estén ligadas de algún modo artificialmente por lo tanto los suelos cohesivos tienen la adherencia necesaria pero no soportan la acción directa y prolongada producidos por los esfuerzos del tránsito; los materiales granulares (arenas) en su estado natural soportan la acción del tránsito, pero no tienen el cementante necesario. Podemos decir entonces que las capas que integran al pavimento debe ser una mezcla de estas características.

De hecho la superficie de rodamiento puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados. En la actualidad la tecnología contempla diversas secciones estructurales para que el proyectista pueda elegir la más apropiada que reúna las condiciones específicas del caso que se trate, tarea por cierto nada fácil para éste, y dependiendo del tipo de recubrimiento que se haya elegido llevará las siguientes capas ver figura II.1 para pavimentos flexibles (asfaltos, adoquín, empedrados); para pavimentos rígidos ver fig. II.2.1

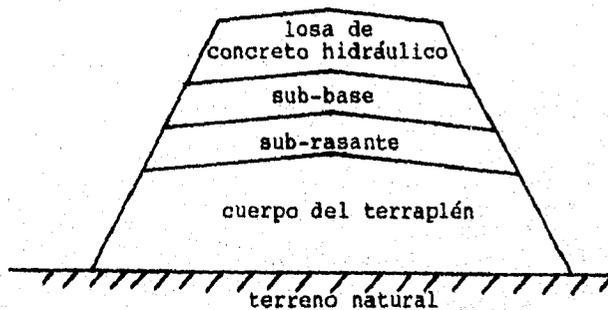


fig.II.2.1

Una vez escogido el tipo de recubrimiento se procede a la construcción de éste. Empezando por la capa de sub-base que por sus características y funciones son de mejor calidad que la sub-rasante y menores que la base. A continuación describiremos cada una de estas capas que son sub-base, base y riego de sello.

II.2.1 Para la sub-base

Esta capa la hemos dividido en dos incisos debido a sus diferentes usos y especificaciones, en los diferentes tipos de pavimento.

a).-En los pavimentos flexibles su uso es de carácter económico pues se trata de formar o tener el espesor requerido del pavimento con material lo más barato posible; otra función es servir de transición entre el material de base generalmente granular grueso y el de la sub-rasante que tiende a ser mucho más fino. La sub-base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la sub-rasante, además puede absorber deformaciones perjudiciales en la sub-rasante como son: cambios volumétricos debidos a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie de rodamiento una función más de la sub-base es que funciona como dren para desalojar el agua que se infiltre desde arriba e impedir la ascensión capilar hacia la base del agua procedente de la terracería.

Toda sub-base debe cumplir con la función estructural económica y con ciertos requisitos de calidad de los materiales, basados en dos cualidades principales que son: la resistencia friccionante y la capacidad drenante; la primera beneficiará la resistencia del pavimento y a la vez será garantía de un comportamiento en cuanto a la deformabilidad, pues un material que posea esa calidad de resistencia será poco deformable cuando esté bien compactado. la otra función es la de drenaje como se menciono anteriormente, para lograr esto, los materiales de sub-base deben cumplir con los requisitos de granulometría, plasticidad, equivalente de arena, valor relativo de soporte, grado de compactación y espesor mínimo que será de 12 a 15cms.. Así tenemos que en las normas de la "S.C.T." pide que la curva granulométrica además de estar comprendida en las zonas 1,2,3 tengan una forma semejante es decir, sin cambios bruscos de curvatura y la relación del porcentaje en peso que pasa la malla N°200 al que pase la malla N° 40 no deberá exceder de 0.65 del tamaño ma

ximo del material se limita a 51mm (2"). Cuando no cumplan estas cualidades la "S.C.T" establece una serie de posibilidades de estabilización con productos asfálticos, cemento o cal para cumplir con los requerimientos generales de plasticidad, básicamente con la prueba de equivalente de arena (ref. 4) y los límites de plasticidad.

b).-En los pavimentos rígidos sus funciones son las siguientes-

1.-Proporcionar apoyo firme a la losa de concreto; con esto queremos decir lo siguiente: para el trabajo correcto de las losas, deben de estar uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante la vida del pavimento; un buen apoyo debe incluir transiciones graduales en donde haya cambios abruptos en la capacidad portante del terreno, como sucede en las transiciones de corte a terraplén o viceversa como en las secciones en balcón.

2.-Incrementar la capacidad de carga de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa sub-rasante.

Los cambios volumétricos en el terreno de apoyo causados por los cambios en el contenido de agua, pueden ser causa importante para que las losas pierdan su apoyo uniforme. Especialmente si se compactan en el lado seco de los materiales con susceptibilidad a la expansión, tiene las mismas consecuencias si se permiten que se sequen en exceso por evaporación antes de ser cubiertos por la losa a los materiales que hayan sido compactados con un contenido de agua conveniente.

El colocar a los materiales con susceptibilidad a la expansión con contenido de agua demasiado altos conduce a problemas, pues la contracción posterior cuando el exceso de agua se pierda producirá pérdidas locales de apoyo en las losas principalmente en las zonas de borde, probablemente la humedad de compactación idónea

debe ser un valor comprendido entre el óptimo del campo y un mínimo de 1 ó 2 por ciento mayor, pero el valor más real será fijado por las condiciones climáticas y constructivas.

- 3.- Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que pueden tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la sub-rasante.

No solo la susceptibilidad a la expansión deberá vigilarse para ver si hay deformaciones, sino también en la utilización de pruebas de control de compactación con altos niveles de energía específica, así como cuando se utilizan menores valores de humedad óptima puede ser peligroso en suelos expansivos y cuando los ingenieros creen que el óptimo de compactación del laboratorio representa al contenido de agua que deba compactarse al suelo en el campo, pues en tal caso se obtendrán suelos cuyo contenido de agua aumentará notablemente durante la vida del pavimento con las correspondientes consecuencias.

El mejor criterio será siempre para referir al contenido de agua para la compactación, "al óptimo del campo y no a prueba alguna de laboratorio". En México se utiliza las pruebas Porter estándar y Proctor (30 golpes) "S.C.T." para determinar la humedad óptima y expansión dependiendo de su granulometría; pero, para darnos una idea de que cómo varía podemos referirnos al siguiente texto del ing. Rico R. que dice así: "Si no se pudiera tener una idea del contenido de agua óptimo de campo entonces una prueba de compactación tipo "AASHO estándar" será en el caso de los suelos expansivos mejor norma, que el óptimo de una prueba con mayor energía específica, tal como por ejemplo la 'AASHO MODIFICADA' ver fig.II.2.2 (ref. 4)": esta figura ilustra las ideas que se acaban de exponer, acordes con diversas discusiones que se han hablado. En la parte superior de ella se muestran las características de un suelo y las curvas de compactación obtenidas en las pruebas AASHO estándar y modificada. En las tres figuras inferiores se ve la expansión, la absorción y el valor relativo de soporte que tuvo

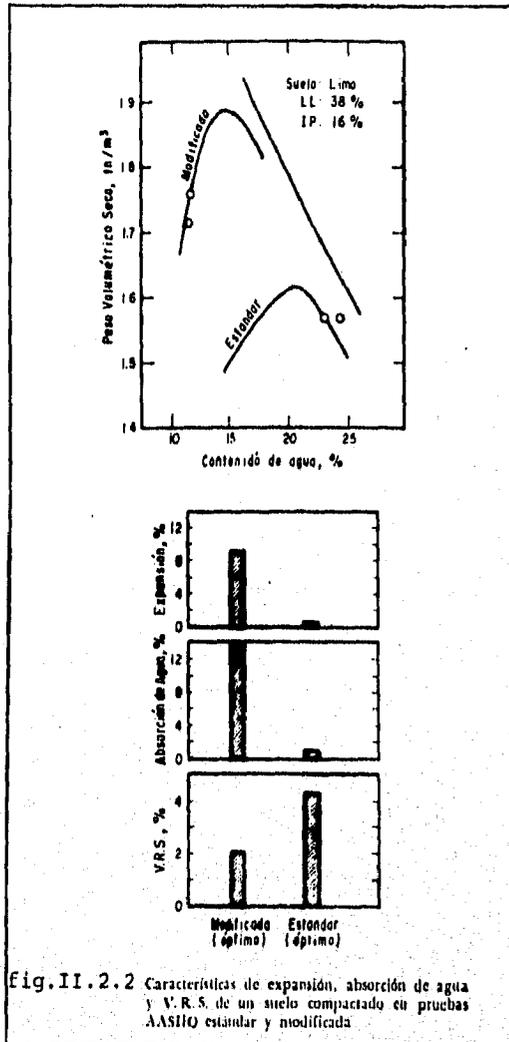


fig.II.2.2 Características de expansión, absorción de agua y V.R.S. de un suelo compactado en pruebas AASHTO estándar y modificada

después de construida u na sub-rasante

de ese suelo al alcanzar la condición de equilibrio - bajo las losas de un pavimento rígido. Una vez más de be notarse que el aumento indiscriminado de la compac tación puede llevar a resultados contraproducentes en este caso en suelos expansivos.

4.-Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa sub-base.

El congelamiento no constituye un problema en México y diremos que los suelos susceptibles a este fenómeno son las gravas limpias, las arenas gruesas o las mezclas de esos suelos, en tanto que las más problemáticas son: las arcillas, los limos y algunas arenas muy finas. El subdrenaje es una arma muy importante para proteger áreas sujetas a problemas de congelación.

5.-Evitar el bombeo.

Cuando el tránsito pasa sobre una junta de la losa y si el material de apoyo está humedecido o saturado y es material fino o sobre todo tipo "CH", además esta repetición de tránsito sea muy intensa entonces el agua bajo la losa tenderá a salir hacia la superficie creando un vacío bajo la losa, a este efecto se denomina "bombeo". Al final de este proceso se da la ruptura por la falta de apoyo, generalmente nunca un suelo CH-estará directamente abajo de una losa la explicación anterior es más bien para la fracción arcillosa que la sub-base pudiera contener en un alto porcentaje.

Si el suelo en que se apoya la losa no ha sido compactado suficientemente al 100% de la prueba AASHO ESTANDAR y si es CH,CL,MH,ML y el tránsito mayor a 400 veh. diarios puede producirse un fenómeno parecido al bombeo combinado con densificación de análogos efectos destructivos.

Para intensidades de tránsito superiores a 1000 veh./día pesados, se recomienda que la sub-base cumpla con los siguientes requisitos siempre y cuando sean de materiales no susceptibles al bombeo.

a).-El tamaño máximo de los materiales que lo conformen no debe ser mayor que 1/3 del espesor de la sub-base

- b).-La sub- base no debe contener más del 15% del mate -
rial que pase por la malla N°200
- c).-El índice de plasticidad debe ser menor que 6.
- d).-El límite líquido del material constitutivo debe ser
menor que 25%.

Bajo los pavimentos rígidos se han empleado sub-bases de granulometría uniforme, así como relativamente bien graduadas. los requisitos de granulometría que se requieren para sub-bases de pavimento rígido son los mismos que marca "S.C.T." para pavimentos flexibles de esto hablaremos en el cap.III.

Para las mezclas con granulometría de buena graduación en la práctica internacional se han utilizado arenas y limos con 17 a 20% de material menor que pasa la malla N°200 en lugares en donde no haya acciones de heladas. las gravas y las arenas de río proporcionan mezclas que se han comportado muy bien, con tamaños máximos de 2.5cms.(1") y con finos menores que la malla N° 200 no mayor que 10 a 15%. las sub-bases de materiales triturados, bien graduados se han utilizado con tamaño máximo hasta de 3.8cms. (1½"), con 25% como máximo de material que pasa la malla N° 200 aunque a veces este valor se reduzca al 15%; los resultados reportados son buenos, aunque los costos se incrementan en relación al uso de materiales sin tratamiento.

También es intensa la utilización de sub-bases estabilizadas con cemento. las mezclas de granulometría uniforme más usadas en diversos países incluyen a las arenas de médano o de otros bancos, con no más de 10% de material menor que la malla N° 200 mezclas de arena y grava con tamaño máximo de 2.5cms.(1") han tenido excelente comportamiento, si el porcentaje que pasa la malla N° 200 oscila del 5 al 10%; los materiales de banco formados por gravas, se especifican en tamaño máximo de 3.8cms.(1½") con un porcentaje de 6 a 8% pasando la malla N° 200

II.2.2 Para la base

Esta capa de la fig.II.1 es la parte más importante en los pavimentos flexibles por ser la capa intermedia entre la carpeta y la sub-base, cuando se trata de pavimento rígido será entre la sub-rasante y la losa de concreto. Su función es la siguiente; recibir, resistir y transmitir adecuadamente las cargas del tránsito a las terracerías, impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad y en el caso que exista alguna introducción de agua por la parte superior, permitir que ésta descienda hasta la capa sub-rasante por efecto de bombeo o sobre-elevación y sea desalojada al exterior. Estas dos últimas funciones solo se dan en los pavimentos rígidos ya que en éstos se utiliza una sub-base con propiedades de base. Las propiedades de una base dependen de los materiales que la integran así podríamos decir que tenemos dos tipos, que a continuación se describen:

- 1).-Base granular Son las de grava triturada con mezcla natural de agregado y suelo, en ésta la estabilidad interna del material depende de la fricción interna y de su cohesión. Una alta fricción interna se da con agregados bien graduados de forma irregular y una pequeña cantidad de finos arenosos, ésta es la que más comunmente se construye porque los tratamientos no son muy minuciosos ni costosos, ya que solo se necesita que cumpla con las especificaciones del cap. siguiente.
- 2).-Base estabilizada De suelos con cemento portland, cal o asfalto las características de estos materiales se dan en el cap. IV. Debido a que las bases, sobre las cuales se construye una carpeta de concreto asfáltico o hidráulico, deben tener un módulo de elasticidad semejantes entre la base y la carpeta o losa, conviene estabilizarlas mezclándoles cal hidratada, cemento portland o asfalto. Esto es para aumentar el V.C. y así nos proporcione la resistencia adecuada.

Se debe hacer la aclaración que las normas marcan una granulometría en forma semejante a la que marcan las fronteras 2,3 (la realidad no tiene importancia) si se cumplen las otras condiciones; sin embargo si estas características no se cumplen y se mejora la granulometría; con una estabilización mecánica se puede mejorar la resistencia, esto quiere decir que la granulometría nos sirve como un índice para elegir el tipo de tratamiento que deba darse a un material para mejorar sus condiciones. Para este inciso lo hemos dividido en dos partes refiriéndonos al material estabilizador: a sí podemos decir que tenemos bases cementadas y bases mejoradas con cemento portland, cal o asfalto.

a).-Bases cementadas

Para caminos con menos de 3000 vehículos diarios que no tengan suficiente valor cementante y vayan a utilizarse en sub-bases y bases, pueden estabilizarse mecánicamente mezclándoles materiales de baja plasticidad, con Límite líquido menor a 18% y contracción lineal menor a 6%. Cuidando que la estabilización no disminuya su resistencia ni aumente la plasticidad más de lo indicado.

b).-Bases mejoradas

Cuando se quiere incrementar el módulo de elasticidad se utiliza suelo-cemento portland, cal-hidratada, suelo-asfalto: En el primero se alcanza una resistencia mayor, aunque es posible que aparezcan agrietamientos semejantes a los del concreto hidráulico, formando cuadros de 5 a 7 m por lado que se reflejan en la losa de concreto lo cual en sí no es una falla: para este caso el riego de sello se dará después que se presente este agrietamiento para obtener un buen calafateo y u-

na suficiente adherencia con las llantas de los -
vehículos y además sirva como superficie de des -
gaste de esta última.

Cuando se utiliza el procedimiento de suelo mejo -
rado se tienen menos problemas aunque la resisten -
cia de la base es menor que en el caso anterior, -
ésto se toma en cuenta en la estructuración del -
pavimento, porqué los espesores de proyecto se su -
ponen en relación con la calidad de los materia -
les que se usen.

Es posible construir bases negras o asfálticas -
con la misma finalidad a la anterior, éstas se -
pueden producir de dos formas que son: en "frio"-
(utilizando F.R.3 o emulsiones); o lo que es me -
nos común y no recomendable en "caliente"(con ce -
mento asfáltico), en estas bases se usan materia -
les pétreos hasta de 4 cms. (1½") o 5cms. (2") de
tamaño máximo y con 40% menos de asfalto que se u -
tiliza para carpetas.(ref. 1)

II.2.3 Para la carpeta

La carpeta asfáltica es una mezcla de agregados pétreos y productos asfálticos y por la posición vertical ver fig.II.1, es la capa superior de un pavimento flexible. Su función es proporcionar la superficie de rodamiento con ciertas características, como son: color, elasticidad, rugosidad (antiderrapante), resistencia (no deformable). Éstas se elaboran con materiales pétreos y cemento asfáltico, rebajados o emulsiones; los materiales pétreos deben provenir de playones de ríos, arroyos, de depósitos naturales (minas) o rocas. Cuando proviene de roca tipo basalto, andesita y riolita que como muchas son materiales redondeados y en la mezcla no cumple con las normas de resistencia, se debe triturar para producir superficies rugosas que mejoran su calidad. Conforme a la relación de las partículas deben ser lo más cúbicas posibles, por lo que no deben usarse materiales que tengan una cantidad mayor en forma de lajas o de aguja porque se rompen haciendo que cambie la granulometría.

Los materiales pétreos deben cumplir con las siguientes pruebas: granulometría (determinación del tamaño de las partículas) intemperismo acelerado (para ver el ataque de aguas saturadas con sulfatos de sodio y magnesio), afinidad con el asfalto (el material debe ser hidrófilo), forma de las partículas (preferentemente cúbicas), prueba de abrasión "los Angeles" (de desgaste) contracción lineal (debe tener baja plasticidad).

Para el cemento asfáltico: penetración, viscosidad, punto de inflamación, ductibilidad, punto de reblandecimiento, solubilidad prueba de la película delgada, ver cuadro III A, y cuándo se utilicen rebajados o emulsiones ver cuadro IIIB,C,D, IIIE,F, respectivamente.

Estas carpetas tienen comportamiento de tipo elástico con ruptura frágil de poca resistencia en bajas temperaturas. Que se deben construir sobre bases rigidizadas con cal hidratada, cemento portland o bases asfálticas y nunca sobre bases naturales con módulos de elasticidad bajos que pueden tener deformaciones bajo la acción del tránsito.

Para esta capa las normas son muy exigentes con respecto a la granulometría y marcan una sola zona dependiendo si es fina o gruesa ver normas cap. III, muy angosta en donde debe alojarse la curva de proyecto, esta curva está en función de la dureza y densidad del material, en base a esto el contratista con su equipo de trituración puede hacer algunos ajustes para dar cumplimiento a las especificaciones y por su procedimiento constructivo las carpetas las podemos clasificar en tres tipos que son:

- a).- Sistema de riegos; su procedimiento es como sigue.
 - 1.-barrer la base impregnada.
 - 2.-hacer el 1º riego de impregnación especial.
 - 3.-tirar el riego de liga (asfalto);
 - 4.-riego de pétreo (del mat. más fino al grueso).
 - 5.-compactar con rodillo de 10 ton.
 - 6.-barrer y repetir desde el paso 3 dependiendo del número de riegos.
- b).- Mezcla asfáltica en el lugar (en frío con emulsiones asfálticas), los pasos a seguir son:
 - 1.-se elige los bancos de materiales; deben ser de - de roca tipo basalto, andesita, riolita, caliza, - grava, arena de playones o rios, y con volumen mayor a 10000 m³.
 - 2.-extracción del material.
 - 3.-tratamiento previo a).- trituración parcial o total
b).- criado.
 - 4.-transporte a la obra (el material es grava-arena).
 - 5.-se mezcla en la base con F.R.-3 o emulsión.
 - 6.-tendido de la mezcla.
 - 7.-compactación.
 - 8.- aplicación del riego de sello.
- c).- Concreto asfáltico; que tiene la siguiente descripción
 - 1.- igual al inciso de la mezcla asfáltica.
 - 2.- determinar el C.O. de asfalto con la prueba Marshall.
 - 3.- extracción del material.
 - 4.- darle tratamiento previo a).- trituración parcial o total
b).- criado.
 - 5.- acarreo a la planta de asfalto y mezcla mediante - maquinaria. Para este proceso calentar el mat. pétreo a 160°C y hacer la mezcla con el c. asf. a - 140°C.
 - 6.- acarreo a la obra en camiones con temp. a 140°C.
 - 7.- hacer el tendido con "finisher" a 110°C.
 - 8.- compactar a 90°C.
 - 9.- riego de sello; éste lo describiremos más adelante.

II.2.4 Para el riego de sello.

El riego de sello se aplica a las carpetas que se deseen in - permeabilizar y reforzar la capa de desgaste proporcionando un - mejor coeficiente de rugosidad, también es para señalar la su - perficie de rodamiento que los conductores reconocerán por el - ruido de las llantas al golpear las gravillas en las carrocerías - o por el color de la superficie.

Para su elaboración se utiliza material pétreo N°3 y producto - rebajado del tipo F.R.3 o emulsión de fraguado medio en las si - guientes proporciones.

material pétreo	3A 8-10 L/m ²	3E 9-11 L/m ²
cemento asfáltico	0.7-1 L/m ²	0.8-1 L/m ²

En la construcción de las carpetas se deben hacer con mucho cui - dado ya que, por ejemplo: cuando se incorpora menos asfalto del - necesario se desgranará; y en caso contrario, el asfalto brotará - a la superficie haciéndola lisa y resbaladiza; ésto que acaba - mos de describir se aplica en forma especial a riegos de se - llo y morteros asfálticos, además si no están bien ejecutados, - pueden echar a perder una carpeta de buena calidad; por ello, - el personal que realice este trabajo debe ser muy experimentado - en la dosificación de los materiales pétreos y asfálticos, y pa - ra colocar el material pétreo el tiempo depende del tipo de pro - ducto asfáltico que se haya utilizado, rebajado o emulsión y - dentro de éstas si es catiónica o aniónica.

Otro tipo de sello es el mortero asfáltico "Slurry seal", que - es una mezcla íntima de arena y emulsión asfáltica de fraguado - medio o lento, que al momento de colocarse tiene una consisten - cia pastosa; aunque este tratamiento es más costoso que el rie - go de sello (por el tipo de maquinaria empleada), tiene la ven - ja de que no deja partículas sueltas o semi-sueltas, que con el - paso de los vehículos pueden salir como proyectiles, siendo cau - sa para romper en algunos casos los parabrisas como sucede en - el riego de sello. Por esta razón en aeropuertos se utilizan - morteros asfálticos, pues las turbinas se dañan con las partícu - las sueltas. Para su fabricación las proporciones y granulome - tría se dan en el capítulo III.

II.2.5 Para los aeropuertos.

En las carreteras como en los aeropuertos se utilizan pavimentos flexibles y rígidos. Para el cálculo del espesor de los pavimentos flexibles se toma en cuenta el V.R.S. modificado (este dato se obtiene con la prueba porter modificada) de las terracerías, y para las losas de concreto hidráulico se emplean las formulas del Dr. Westergaard que son racionales, a diferencia de los de tipo flexible que su diseño es "empírico". En las losas de concreto se aplica la teoría de la elasticidad, que el Dr. Westergaard fué el primero en desarrollar para el diseño de pavimentos rígidos, después Pickett y otros ingenieros trabajando en equipo con los del instituto del cemento y del concreto (E.U.A), han modificado los trabajos de Westergaard, produciendo ecuaciones y nomogramas para el diseño de pavimentos de concreto (ref. 6) que se basa en las siguientes hipótesis.

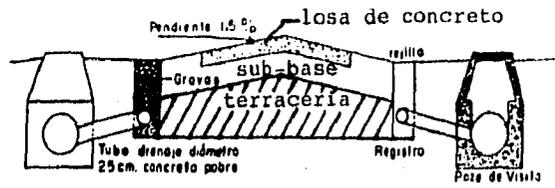
- 1.-La reacción en cualquier punto del suelo de cimentación es proporcional a la deflexión de cualquier punto de las losas del pavimento.
- 2.-El suelo de cimentación es un sólido semi-infinito, homogéneo, isotropo y elástico.
- 3.-La carga de las aeronaves se considera aplicada en el centro geométrico de una losa de grandes dimensiones, puesto que las juntas interiores proporcionan transferencia de cargas a las losas adyacentes y las losas localizadas en los bordes no son críticas en los pavimentos de una aeropista.

Teniendo en cuenta lo anterior y para determinar el espesor de un pavimento rígido es necesario conocer:

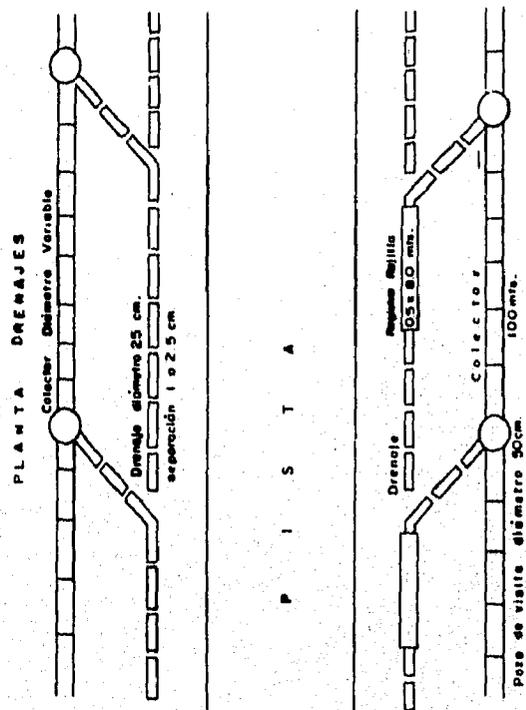
- a).-las características (tipo) de la nave de diseño
- b).-peso máximo al despegue.
- c).-distribución de carga en los trenes de aterrizaje.
- d).-geometría de los trenes de aterrizaje.
- e).-presión de las llantas.
- f).-área de contacto por rueda.

Una vez que se calcula el espesor del pavimento se procede a su construcción según las capas de la fig.II.2.5, que nos dan una visualización del corte transversal de pista y drenes de un aeropuerto.

fig. II.2.5

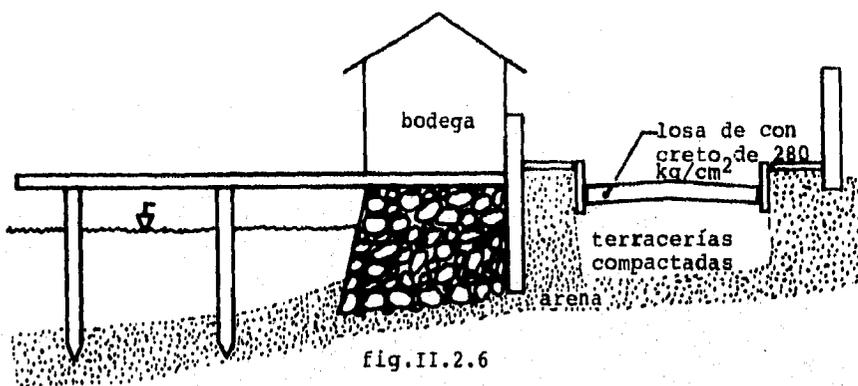


CORTE TRANSVERSAL DE PISTA Y DRENES



II.2.6 Para puertos.

Los pavimentos que se usan en puertos tienen las mismas características que las carreteras es decir, están hechas para soportar las cargas producidas por el tránsito y transmitir las a las terracerías a través de esta capa, que se diseñará con el camión cargado de mayor peso que se permitirá entrar al muelle y en este caso el pavimento será de tipo rígido sobre una terracería, como se muestra en la fig.II.2.6.



II.2.7 Para ferrocarriles.

Se diseñan igual que las carreteras pero tomando en cuenta su pendiente que no debe ser mayor al 0.5% y aún cuando la capa de balasto y sub-balasto son diferentes a los pavimentos cumplen con las siguientes características, que a continuación describimos:

- a).- Sub-balasto; es una capa de material granular que se coloca debajo del balasto ver fig.II.2.7, con el fin de reducir el espesor de la capa de balasto con un material más económico, y evitar que el balasto sea absorbido por la capa sub-rasante, también sirve para hacer una función drenante que proteja a la sub-rasante del agua infiltrada en el balasto, así como detener el ascenso de los materiales muy finos que contaminarían

el balasto. Como la función del sub-balasto es análoga a una "sub-base" de carretera y también cuando una sub-rasante esté construida por materiales de razonable resistencia, y además de ser estable ante el agua la capa de sub-balasto no será necesaria.

De hecho solo se justifica cuando la sub-rasante está formada por materiales finos con clasificación CL, ML, OL, MH ó CH. En algunos casos se tiene la norma de construir la capa de sub-balasto de 20 a 30 cms. sobre sub-rasantes formados por suelos GC, SP y SC, cuando éstos presentan problemas de resistencia. En otras ocasiones cuando el V.R.S. de la sub-rasante es menor del 20% debe el espesor de la capa de sub-balasto ser de 30 cms. como mínimo y llegar a 40 en las sub-rasantes menos resistentes. Los materiales normalmente utilizados son los naturales (grava-arena o grava-limosa) que no requieren trituración y/o cribado, aún cuando a veces han de manejarse materiales que necesitan alguno de dichos tratamientos. Para sus especificaciones ver cap. III.

b).- Balasto; Su función es distribuir las cargas dinámicas en áreas mayores de tal manera que los esfuerzos lleguen minimizados a las capas inferiores como son; el sub-balasto, siendo esta la capa que recibirá las cargas debe ser más resistente, es una capa drenable que lleva el agua hasta el sub-balasto y saldrá al exterior por efecto de bombeo o de sobreelevación. El material debe ser de aristas vivas para que genere esfuerzos de tracción en los durmientes y evitar que se desplace la vía, siendo el tamaño máximo de 7.6 mm (3"), pero probablemente conviene que sea algo menor por ejemplo de 5.1 cms (2") a 6.4 cms. (2½"). En general se procura que tenga menos del 10% del material menor que la malla N°4 y el material que pase esa malla deberá controlarse a través de su equivalente de arena el 80% mínimo, si no cumple con esto entonces pasa lo siguiente; si es más fino no cumplirá con su función drenante y si es más grueso causará deterioro en los durmientes. También suele controlarse el peso volumétrico mínimo de material de balasto, siendo deseable material pesado, así como una serie de propiedades mecánicas que se refieren a la resistencia, al intemperismo y a la abrasión.

El espesor de esta capa se calcula dependiendo del tonelaje movido anualmente sobre la vía férrea y va de 20cms. hasta 40 o más (ref. 4).



fig.II.2.7 Corte de terraplén en tangente de una vía férrea

Capítulo III.- Normas de calidad en los distintos tipos de materiales

Para este capítulo se han tomado "las especificaciones generales de construcción" parte octava libro primero de S.C.T., ya que son las que rigen en la actualidad. Se menciona la prueba "Hubbard Field Modificada" y la de "Valor Relativo de Soporte Florida Modificada, para la descripción de estas pruebas ver el capítulo VII. Enseguida describiremos estas especificaciones.

Capítulo XC

Materiales para terracerías
90-01 Definición
son los que provienen de la corteza terrestre, ya sea que se extraigan de cortes o préstamos y se utilizan en la construcción de terraplenes o rellenos, los cuales se pueden emplear solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados para reunir las características adecuadas para su uso.

90-02 Clasificación de roca y suelos para fines de utilización en terracerías.

90-02.1 Los materiales para terracerías se clasifican de acuerdo con el cuadro N° 1.

90-02.2 La carta de plasticidad que se utiliza como complemento en la clasificación de suelos es la que se indica en el cuadro 1.1

90-03 Características y recomendaciones para su uso en terracerías.

90-03. Los materiales empleados en terracerías se recomienda que cumplan con el cuadro N° 2.

90-03.6 En algunos casos y a juicio de la secretaría, podrán emplearse en la construcción de la capa sub-rasante, materiales estabilizados con cal, cemento Portland, materiales puzolánicos, o materiales asfálticos siendo necesario, para esto, hacer los estudios y proyectos correspondientes

Capítulo XCI

Materiales para revestimientos sub-bases y bases de pavimento.

91-01 Definición
Son los materiales seleccionados que se emplean en la construcción de revestimientos, sub-bases y bases de pavimento ya sea que se estabilicen o no con algún material natural o elaborado.

91-02 Clasificación

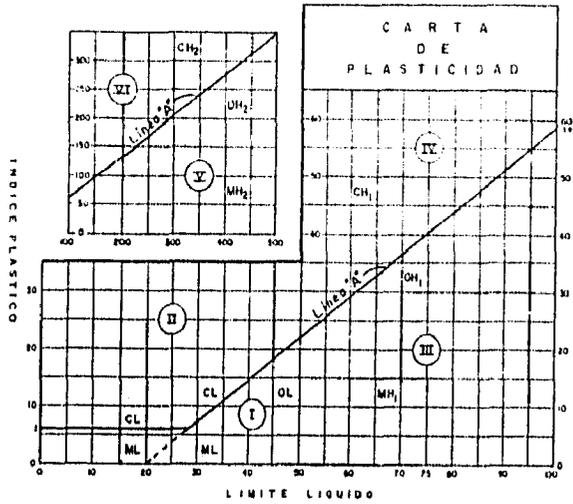
91-02.1 Se clasifican como sigue:

- a) Materiales pétreos que no requieren ningún tratamiento de disgregado, cribado y trituración.
- b) Materiales pétreos que para su utilización requieren tratamientos de disgregado, cribado o trituración.
- c) Mezclas de dos o más materiales del grupo a o del grupo b o de materiales provenientes de ambos grupos.
- d) Materiales de a), b) o c) mezclados con un material asfáltico.
- e) Materiales de los grupos a), b), c) mezclados con cemento Portland o una mezcla adecuada de cemento Portland y puzolana.
- f) Materiales de los grupos a), b) o c) mezclados con cal hidratada, cal hidratada y puzolana, o cal hidratada y cemento Portland.

CUADRO NUM. 1

Tipo	Sub-Tipos	IDENTIFICACION	Símbolo de Grupo	Notas	
GRANDES MAYORES DE 75 cm Y MENORES DE 75 cm		Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fg	1.—Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de suelo, el material se clasificará con símbolos de suelo, utilizando los símbolos del suelo correspondiente y los del fragmentos respectivos. Si el símbolo de suelo es mayor del 10%, el símbolo de este se antepone al del fragmento; si el volumen de suelo está comprendido entre 10 y 50%, su símbolo se antepone a la segunda del símbolo de los fragmentos de roca.	
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.	Fgm		
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fgc		
MEDIANOS MAYORES DE 20 cm Y MENORES DE 75 cm		Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	FM	Ejemplo 1 Ejemplo 2 Un material contiene: Un suelo contiene: 60% de OC 40% de Fm 30% de Fg 20% de SM 10% de Fm 10% de Fg 5% de Fg 10% de Fg Su símbolo sería: Su símbolo sería: OC-Fm Fm-SM Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que componen un material, se darán en forma sistemática.	
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.	Fmg		
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fmfg		
CHICOS MAYORES DE 7.6 cm (3") Y MENORES DE 20 cm		Fragmentos chicos, con menos del 15% de otros fragmentos o de suelo.	Fc	2.—La clasificación de suelos que caeren en este cuadro corresponden, en general, al Sistema Unificado (S.U.C.S.) y pueden considerarse como la versión S.O.P. de dicho sistema. 3.—Todos los tamaños de las mallas que se mencionan en este cuadro son los de la U.S. Standard (selectores cuadrada).	
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fcm		
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fcmg		
DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS DEPARTAMENTOS	GRANDES MAYORES DE 75 cm Y MENORES DE 75 cm	Gravas bien graduadas, masas de grava, arena, poco o nada de limo. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y de coeficiente de curvatura (Cc) menor de 1 y 3. (Ver nota N.º 6.)	Menos de 4% en peso para la malla N.º 200.	GW	4.—Como los símbolos de los suelos proceden en general de símbolos en el idioma inglés, a continuación se dan las equivalencias de los símbolos que aparecen en los cuadros: G — Grava S — Arena M — limo C — Arcilla W — bien graduado P — mal graduado L — baja compresibilidad H — alta compresibilidad U — suelo orgánico F — Turba
		Gravas mal graduadas, masas de grava y arena, poco o nada de limo. No satisfacen los requisitos de gradación para GW.	Menos de 4% en peso para la malla N.º 200.	GP	
		Gravas limosas, masas de grava, arena y limo, mal graduadas.	Más de 12% en peso para la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasificación como un suelo ML, según la línea "A" de la carta de plasticidad, o IP < 8. (Ver nota N.º 6.)	GM	
		Gravas arcillosas, masas de grava, arena y arcilla, mal graduadas.	Más de 12% en peso para la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasificación como un suelo MH, según la línea "A" de la carta de plasticidad, o IP > 8. (Ver nota N.º 6.)	GM	
		Arenas bien graduadas, arenas con poco o nada de limo. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) menor de 1 y 3. (Ver nota N.º 6.)	Menos de 5% en peso para la malla N.º 200.	GW	
		Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de limo. No satisfacen los requisitos de gradación para GW.	Menos de 5% en peso para la malla N.º 200.	GP	
	MEDIANOS MAYORES DE 20 cm Y MENORES DE 75 cm	Arenas limosas, masas de arena y limo mal graduadas.	Más de 12% en peso para la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasificación como un suelo ML, según la línea "A" de la carta de plasticidad, o IP < 8. (Ver nota N.º 6.)	GM	5.—Tratándose de suelos con partículas gruesas, en que el 75% en peso para la malla N.º 200 queda comprendido entre 75 y 72%, se tienen en cuenta, en frontera, que requieren el uso de símbolos dobles. Ejemplo: GW-GC corresponde a una mezcla de grava y arena bien graduada, con contenidos arcillosos (GW-GH), corresponde a un material bien graduado con menos de 5% pesada de la malla número 200 y formada su fracción gruesa por igual partes de grava y arena. 6.—Los símbolos de Uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc), que se utilizan para indicar la gradación de los suelos GW, GP, GW y GP, están dados por las siguientes expresiones: $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$, en que D ₁₀ , D ₃₀ y D ₆₀ son los diámetros o aberturas de las mallas correspondientes a 10, 30 y 60% en peso, respectivamente del material que pasa, según la curva granulométrica.
		Arenas arcillosas, masas de arena y arcilla mal graduadas.	Más de 12% en peso para la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasificación como un suelo MH, según la línea "A" de la carta de plasticidad, o IP > 8. (Ver nota N.º 6.)	GM	
		Arenas limosas, masas de arena y arcilla bien graduadas.	Menos de 5% en peso para la malla N.º 200.	GW	
		Arenas arcillosas, masas de arena y arcilla bien graduadas.	Menos de 5% en peso para la malla N.º 200.	GP	
		Arenas limosas, masas de arena y limo mal graduadas.	Más de 12% en peso para la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasificación como un suelo ML, según la línea "A" de la carta de plasticidad, o IP < 8. (Ver nota N.º 6.)	GM	
		Arenas arcillosas, masas de arena y arcilla mal graduadas.	Más de 12% en peso para la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasificación como un suelo MH, según la línea "A" de la carta de plasticidad, o IP > 8. (Ver nota N.º 6.)	GM	
CHICOS MAYORES DE 7.6 cm (3") Y MENORES DE 20 cm	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)		ML	7.—La clasificación de los suelos de partículas finas se determina, principalmente, haciendo pruebas de límites de plasticidad o (dentro de la zona II de la carta de plasticidad) más de 60 para ubicación en la carta de plasticidad o que se refiera al ítem GC-GH, que aparece por separado.	
	Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas potásicas. (Dentro de la zona II de la carta de plasticidad.)		CL		
	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)		OL		
	Limos inorgánicos de alta plasticidad, arenas finas y limos micáceos o (latendones, limos calcáreos). (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)		MLH		
	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas raras. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad.)		CLH		
	Limos y arcillas orgánicas de media o alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)		OLH		
ALTAMENTE ORGANICOS	Limos inorgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)		MLH	8.—Se ha observado que los suelos OL, OH, y CH, como dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos ML, MH, y MH, respectivamente. Sin embargo, con el tiempo quedan más arenos de la línea "A" que estos últimos, se venían de presentar mayores índices Plásticos.	
	Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad.)		CLH		
	Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)		OLH		
	Fácilmente identificables por su color, olor, reacción espumosa y frecuentemente por su textura fibrosa. Turba y otros suelos altamente orgánicos.		PT		

Cuadro 1.1



Cuadro Núm. 2

Tipos	Subtipos	Símbolos de clasificación	Características para la construcción	Recomendaciones para su uso	Comentarios	
FRAGMENTOS DE ROCA	GRANDES Mayor de 75 cm menores de 2 m	Fe Fem Fec Fecg Femg	Susceptibles de ser amonados con el equipo de construcción.	Pueden utilizarse en cualquier caso, siempre que se asegure la estabilidad de los fragmentos.	No deben usarse	
	MEDIANOS Mayor de 20 cm menores de 75 cm	Fm Fmg	Susceptibles de ser amonados con el equipo de construcción.	Pueden utilizarse en cualquier caso, siempre que se asegure la estabilidad de los fragmentos.	No deben usarse	
	CHICOS Mayor de 7.6 cm menores de 20 cm	Fc Fcm Fcg Fcmg	Susceptibles de ser amonados con el equipo de construcción.	Pueden utilizarse en cualquier caso, siempre que se asegure la estabilidad de los fragmentos.	No deben usarse	
SUELOS	Coqueos	CW				
		CP	Porter			
		CC	Porter			
	Fines	SW	Porter			
		SP	Porter			
		SM	Porter			
		SC	Porter			
		ML	Proctor SOP	En la zona de acción en que por su baja concentración no está en condiciones para ser utilizado.	El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible contar con el equipo de compactación.	95% de compactación
		CL	Proctor SOP	En la zona de acción en que por su baja concentración no está en condiciones para ser utilizado.	El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible contar con el equipo de compactación.	95% de compactación
		CH	Proctor SOP	En la zona de acción en que por su baja concentración no está en condiciones para ser utilizado.	El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible contar con el equipo de compactación.	95% de compactación
OH	Proctor SOP	En la zona de acción en que por su baja concentración no está en condiciones para ser utilizado.	El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible contar con el equipo de compactación.	95% de compactación		
Aluminares orgánicos	Turbo	P			No deben usarse	

Nota: En cuanto a los procedimientos de construcción y de compactación de los suelos, que dependen de los tipos de suelos, se debe consultar el primer cuadro. Se debe usar que puede haber algunas restricciones en m² y en áreas que afectan los tipos de suelos, espesores y espaciamientos recomendados.

91-03 Normas de materiales

91-03.1 Los materiales que se mencionan en el inciso 91-02.1, cuando se emplean como revestimiento de carreteras deberán llenar los requisitos siguientes.

- a) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el cap. CIX de la parte novena.
- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y la superior de la zona 3 de la fig. núm. 1. De preferencia no deberán utilizar

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

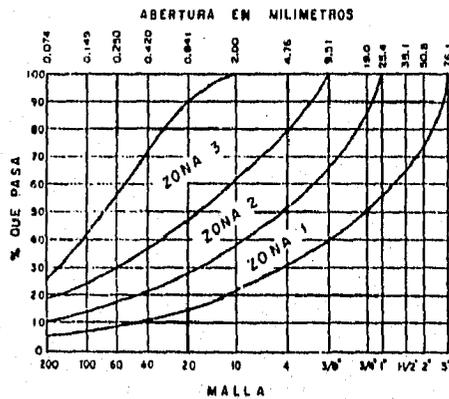


FIGURA NÚM. 1

- se materiales cuya curva se encuentre alojada en la zona 1.
- 2) La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla N° 200 al que pase la malla N° 40 no deberá ser mayor a 0.65. Podrá aceptarse hasta un 5% en volumen de partículas de tamaño mayor de 76mm. en donde deberán eliminarse.
- b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y equivalente de arena, los valores fijados en el cuadro de "características", determinados con las pruebas del cap. CIX de

la parte novena
 Cuando la curva granulométrica del material se aloje en dos o más zonas, en la parte correspondiente a las fracciones comprendidas entre las mallas 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla N° 200 sea menor al 15% en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.....	6.0 Mdx.	4.5 Mdx.	3.0 Mdx.
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm³.....	5.5 Mln.	4.5 Mln.	3.5 Mln.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm³.....	8.0 Mln.	6.5 Mln.	5.0 Mln.
Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento.....	30 Mln.		

- c) De grado de compactación. - Materiales en cada caso se compactarán al grado que fija el proyecto.

91-03.2 Los materiales que mencionan en los párrafos a), b) y c) del inciso 91-02.1, cuando se empleen para sub-base en pavimento flexible de carreteras o aeropistas, deberán llenar los requisitos siguientes.

- a) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el cap. CIX de la parte novena.
- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS
ABERTURA EN MILIMETROS

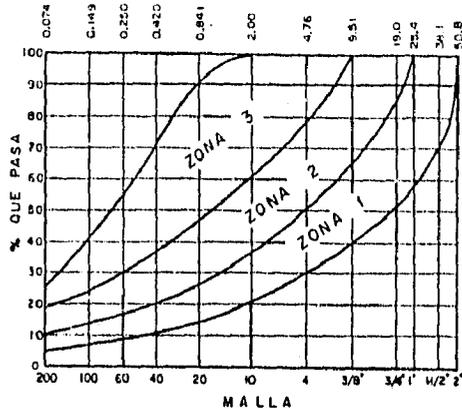


FIGURA N.º 2 (sub-base)

comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la Figura N.º 2 y deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente. La relación del porcentaje en peso que pasa la malla N.º 200 al que pase la malla N.º 40, no deberá ser mayor a 0.65.

- 2) El tamaño máximo de las partículas no deberá ser mayor de 51mm.
- b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y equivalente de arena, los valores fijados en el siguiente cuadro (abajo) determinados con los métodos de prueba citados en el cap. CIX parte novena.

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento	6.0 M.á.	4.5 M.á.	3.0 M.á.
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm ²	3.5 M.in.	3.0 M.in.	2.5 M.in.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ²	5.5 M.in.	4.5 M.in.	3.5 M.in.
Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento	50 M.in.		
Equivalente de arena, en por ciento	20 M.in. (Tentativo)		

Quando la curva granulométrica del material se aloje en dos zonas, en la parte correspondiente a la fracción comprendida entre las mallas 40 y 200 la C. lineal deberá considerar se para la zona en la cual que de alojada la mayor longitud de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla 200 sea menor de 15%, en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

- c) De grado de compactación en la carretera o aeropista. El material deberá compactarse al 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación. La compactación será determinada mediante uno de los métodos de prueba citados en el cap. CIX de la parte novena.

- 91-03.3 Los materiales clasificados en el grupo d) del inciso 91-02.1, que predominantemente contengan partículas que pasen la malla 4 (más del 70%) para formar sub-bases de pavimento flexible, deberán llenar los siguientes requisitos
- a) Los materiales que acusen valores para la C. lineal y el equivalente de arena fuera de los límites señalados en 91-03.2 pueden utilizarse como sub-bases de pavimento, si una vez estabilizados con algún material asfáltico, satisfacen los requisitos siguientes de valor de estabilidad, expansión y absorción, determinados según los métodos de prueba del cap. CIX. (prueba - Hubbar Field Modificada, para estabilizaciones)

- 1) Valor de estabilidad 180kg mínimo (tentativo).

- 2) Expansión 2% máximo (tentativo)
- 3) Absorción 5% máximo (tentativo)

b) Los materiales no plásticos como las arenas pueden emplearse como sub-bases de pavimento, si una vez estabilizados con un material asfáltico satisfacen el requisito siguiente de "Valor soporte Florida-Modificado" (para emplearse en obras localizadas en zonas de clima cálidos), determinado según el método de prueba en el cap. CIX de la parte novena.

V.R.S.F.M. de 65kg mínimo (tentativo).

c) De afinidad, de acuerdo con lo que fije en cada caso el proyecto.

d) Los materiales asfálticos que se empleen en estabilizaciones de suelos, deberán cumplir con las normas fijadas en el cap. XCIII.

e) De grado de compactación en la carretera o aeropista. Los materiales de a), b) de este inciso, deberán compactarse al 95% mínimo, de su peso volumétrico máximo, obtenido de la mezcla asfáltica, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación, que será determinada con uno de los métodos del cap. CIX de la Parte novena.

rán compactarse al 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación, que será determinada por uno de los métodos del cap. CIX de la parte novena.

b) En las estabilizaciones de materiales para sub-bases de tipo rígido (suelo-cemento), en cada caso particular el proyecto y/o la secretaría fijarán las normas de calidad que deberán cumplirse.

c) El cemento Portland que se utilice para estabilizar, deberá satisfacer los requisitos de las cláusulas 96-02 o 96-04 de esta parte.

d) Las puzolanas que se usen para estabilizar deberán satisfacer los requisitos indicados en la cláusula 96-10 o los que, en cada caso, fije el proyecto.

e) El agua deberá cumplir con la cláusula 96-07 o en cada caso lo que fije el proyecto y/o determine la secretaría.

91-03.4 Los materiales del grupo e) del inciso 91-02.1, para sub-bases de pavimento deberán satisfacer los siguientes requisitos:

a) En las estabilizaciones de materiales para sub-bases de tipo flexible (suelo modificado), que son aquellas en las que se mezclan el material pétreo con pequeñas cantidades de cemento Portland mezclado con puzolana, cuyo objeto es disminuir la plasticidad en el material por estabilizar:

1) El material por estabilizar no deberá tener más del 3% de materia orgánica.

2) Los materiales ya estabilizados deberán analizarse con los métodos de prueba del cap. CIX parte novena, deberán satisfacer las normas del inciso 91-03.2.

3) Los materiales estabilizados debe-

91-03.5 Los materiales del grupo f) del inciso 91-02.1 para formar sub-bases de pavimento, deberán llenar los siguientes requisitos para:

- a) Mat. antes de estabilizarse
- 1) I.P. 45 máximo, 10 mínimo
- 2) Límite Líquido 45 máximo
- 3) Contenido de materia orgánica 3% máximo.

Todos éstos determinados por los métodos de prueba citados en el cap. CIX de la parte novena.

b) Para mat. estabilizado con cal hidratada y puzolana o una mezcla de cemento Portland y cal hidratada, deberán satisfacer lo indicado en el inciso 91-03.2.

c) La cal hidratada deberá reu-

nir los requisitos de la cláusula 95-04 de esta parte.

d) Las puzolanas que se utilicen para estabilizaciones, deberán satisfacer la cláusula 96-10 o los que en cada caso, fije el proyecto.

e) El cemento Portland que se use deberá satisfacer la cláusula 96-10, 96-03, 96-04 de esta parte.

f) Los materiales una vez estabilizados deberán compactarse en la carretera o aeropista al 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación, el método de la prueba es citado en el cap. CIX de la parte novena.

las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación en peso del porcentaje que pasa la malla N° 200 al que pase la N° 40, no deberá ser mayor a 0.65.

- 3) El tamaño máximo de las partículas no deberá ser mayor de 50mm, para el grupo a) y de 38mm para el grupo b) ambos del inciso 91-02.1

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTANDAR	EQUIVALENTE DE ARENA (Tentativo)	INDICE DE DURABILIDAD (Tentativo)
Hasta 1 000 vehículos pesados al día	80 Min.	30 Min.	35 Min.
Más de 1 000 vehículos pesados al día	100 Min.	50 Min.	40 Min.

Los vehículos pesados incluyen los autobuses y los camiones en todos sus tipos.

1) En carreteras

91-03.6 Los materiales del grupo a), b), c) del inciso 91-02.1, cuando se empleen para bases en pavimentos flexibles en carreteras o aeropistas y para sub-bases en pavimentos rígidos en aeropistas, deberán llenar los requisitos siguientes:

- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la fig. núm. 2. Preferentemente, deberán emplearse materiales cuya curva granulométrica se localice en las zonas 1 o 2.
- 2) La c. granulométrica deberá afectar una forma semejante a

PESO TOTAL DE AERONAVES	VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTANDAR	EQUIVALENTE DE ARENA (Tentativo)	INDICE DE DURABILIDAD (Tentativo)
Hasta 20 toneladas	80 Min.	35 Min.	35 Min.
Más de 20 toneladas	100 Min.	50 Min.	40 Min.

2) En aeropistas

b) De L.L., c. lineal y valor cementante los fijados en el cuadro indicado abajo a la izquierda determinados en el cap. CIX de la parte novena.

Quando la c. granulométrica se aloje en dos o más zonas en la parte correspondiente a las fracciones comprendidas entre las mallas 40 y 200, la c. lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pasó la 200 sea menor de 15%, en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Límite líquido, en porcentaje	30 Máx.	30 Máx.	30 Máx.
Contracción lineal, en porcentaje	4.5 Máx.	3.5 Máx.	2.0 Máx.
Valor cementante, para materiales angulosos, en kg/cm ²	3.5 Min.	3.0 Min.	2.5 Min.
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ²	5.5 Min.	1.5 Min.	3.5 Min.

- c) De Valor relativo de soporte es tándar, equivalente de arena e-ín dice de durabilidad los fija dos en los cuadros de la pagina anterior determinados con prue- bas del cap. CIX de la parte no vena.
- d) De afinidad con el asfalto de a cuerdo con lo fijado en el inci so 92-03,5
- e) De grado de compactación en la- carretera o aeropista, deberá - compactarse al 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo, - salvo que el proyecto fije un- grado diferente y ésta será de- terminada según el cap. CIX de- la parte novena.

91-03.7 Los materiales del grupo -

d) del inciso 91-02.1, que con- tengan predominantemente partí- culas que pasen por la malla N^o 4 (más del 70%), cuando se em- pleen para bases en pavimentos- flexibles en carreteras de trán- sito menor de 1000 veh. pesados diarios y para sub-bases en pa- mentos rígidos para aeropistas- deberán llenar los siguientes - requisitos:

- a) Los materiales que acusen un va- lor para la c. lineal mayor de- los límites señalados en el in- ciso 91-03.6 pueden utilizarse- como base de pavimento, si una- vez estabilizados con algún ma- terial asfáltico, satisfacen - los requisitos siguientes:
 - 1 Valor de estabilidad 180kg mínimo (tentativo).
 - 2 Expansión 2% máximo (tentativo)
 - 3 Absorción 5% máximo (tentativo)
 Determinados según los métodos- de prueba del cap. CIX parte no vena (prueba Hubbard Field Modi- ficada, para estabilizaciones).
- b) Los materiales no plásticos, co- mo las arenas pueden emplearse- como bases de pavimento, si una vez estabilizados con un mate- rial asfáltico, satisfacen el -

requisito siguiente de Valor de soporte Florida modifica- do (para emplearse en obras - localizadas en zonas de cli- mas cálidos), determinado - por el método de prueba del- cap. CIX parte novena..65kg- mínimo (tentativo).

* Ver final del cap. VII la - descripción de esta prueba.

- c) De grado de compactación en- la carretera o aeropista. La mezcla asfáltica elaborada - con materiales de a), b) de- este inciso deberá compactar se al 95% mínimo de su peso- volumétrico máximo salvo que el proyecto fije un grado di- ferente y será determinado - por uno de los métodos del - cap. CIX de la parte novena.

- d) Los materiales asfálticos - que se empleen en las mez- clas para base de los parra- fos a), b) de este inciso de- berán cumplir con el cap. XC III de esta parte.

91-03.8 Los materiales del gru- po e) del inciso 91-02.1 -

cuando se empleen para bases en carreteras o aeropistas y para sub-bases de losas de - concreto hidráulico en aero- pistas, deberán satisfacer - los requisitos siguientes:

- a) Para material antes de esta- bilizarse.
 - 1 Índice plástico 45 máximo 10 mínimo
 - 2 límite líquido 45 Máximo
 - 3 Contenido de materia orgáni- ca 3% máximo.
 Todos estos determinados por los métodos del cap. CIX de- parte novena.
- b) Para material estabilizado - con cal hidratada, con una - mezcla de cal hidratada y pu- zolana o con una mezcla de - cemento Portland y cal hidra

tada, se deberán satisfacer los que corresponden en el inciso 91-03.6 - de acuerdo con las pruebas del cap. CIX de la parte novena.

- c) La cal hidratada que se emplee - para estabilizaciones, deberá - cumplir con la cláusula 95-05 de esta parte.
- d) Las puzolanas que se utilicen, - deberán satisfacer la cláusula - 96-10 de esta parte o los que, - en cada caso fije el proyecto.
- e) El cemento Portland que se utili - ce, deberá satisfacer las cláusu - las 96-02, 96-03 o 96-04 de esta parte.
- f) Los materiales una vez estabili - zados, deberán compactarse en la carretera o aeropista al 95% mí - nimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fi - je un grado diferente, ésta será determinada por uno de los méto - dos del cap. CIX de la parte no - vena.

los requisitos siguientes:

- a) De granulometría de acuerdo - con el cap. CIX de la parte - novena
 - 1) La curva granulométrica del - material deberá quedar com - prendida entre el límite infe - rior de la zona 1 y el supe - rior de la zona 2, preferente - mente dentro de la zona 1, de - la figura Num. 3
 - 2) La curva granulométrica debe - rá afectar una forma semejan - te a la de las curvas que li - tan las zonas, por lo menos - (2/3) de su longitud sin cam - bios bruscos de pendiente.
 - 3) El tamaño máximo de las partí - culas del material no deberá - ser mayor de 38mm, ni de (2/3) del espesor de la base o ca - pa de renivelación.
- b) De contracción lineal 3% máxi - mo según el cap. CIX de la - parte novena.
- c) De afinidad con el asfalto, - de acuerdo con lo fijado en - tabla 92-03.5
- d) Desgaste Los Angeles 45% máxi - mo de acuerdo con el cap. CX - de la parte novena.
- e) La mezcla cuando se elabore - con cemento asfáltico deberá - cumplir con lo indicado en a) del inciso 93-04.3 y además - las normas siguientes:
 - 1) Tolerancia del contenido de - asfalto con respecto al por - ciento de proyecto, en peso - +5%.
 - 2) Contenido de agua libre permi - tido, con respecto al peso de la mezcla, máximo....1%.
 - 3) Deberá tenderse y compactarse a las temperaturas indicadas - en 57-04.12 y 57-04.15 de la - parte cuarta.
 - 4) Deberá compactarse al 95% de - su peso volumétrico máximo, - salvo que el proyecto fije o - tro grado y éste será de a - cuerdo al cap. CXII de la par - te novena.
- f) La mezcla cuando se elabore - con asfaltos rebajados o con -

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

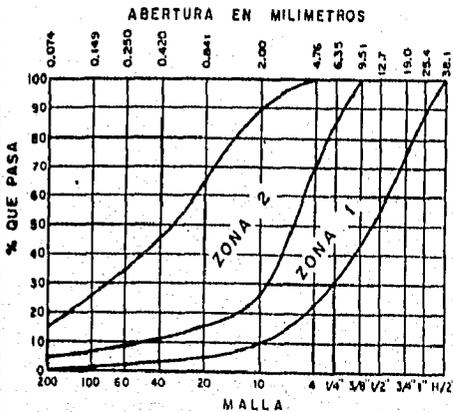


FIGURA NÚM. 3

91-03.10 Los materiales del grupo d) del inciso 91-02.1, pueden emplearse para la construcción de bases asfálticas y/o capas de renivelación, ambas también llamadas bases negras; además se pueden emplear para bacheos en todos estos casos los materiales pétreos deberán reunir-

emulsiones, deberá cumplir con lo indicado en b) o c) del inciso 93-04.3 y además con las normas siguientes:

- 1) Tolerancia del contenido asfáltico con respecto al por ciento de proyecto, en peso $\pm 10\%$.
- 2) Contenido de agua libre permitido con respecto al peso de la mezcla (solo para el caso de asfaltos rebajados). máximo $\dots 1\%$.
- 3) La relación de disolventes a c. - asfáltico, en peso (valor k), para asf. rebajados y emulsiones asf. - estará comprendida entre 0.05-0.08.
- 4) Deberán compactarse al 95% del peso volumétrico máximo salvo que el proyecto fije otro grado, éste será determinado por el cap. CXII de la parte novena.

ran uno o varios de los métodos de tratamientos indicados a continuación: disgregación, cribado, trituración y lavado.

b) Mezclas de dos o más materiales del grupo anterior.

92-03 Normas de materiales

92-03.1 Los materiales pétreos para carpetas asfálticas, e laboradas por los sistemas de mezcla en lugar y en planta estacionaria, deberán satisfacer las normas siguientes

a) De granulometría, de acuer-

Capítulo XCII

Materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas.

92-02 Clasificación

92-02.1 Los materiales se clasifican en:

a) Materiales naturales que requie -

TAMAÑO DEL MATERIAL PÉTREO		TOLERANCIA POR CIENTO \pm DEL MATERIAL PÉTREO
Malla que pasa	Retenido en malla	
Correspondiente al tamaño máximo	4.76 mm (Núm. 4)	± 5
4.76 mm (Núm. 4)	2.00 mm (Núm. 10)	± 1
2.00 mm (Núm. 10)	0.420 mm (Núm. 40)	± 3
0.420 mm (Núm. 40)	0.074 mm (Núm. 200)	± 1
0.074 mm (Núm. 200)		± 1

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN MEZCLAS ASFALTICAS EN EL LUGAR

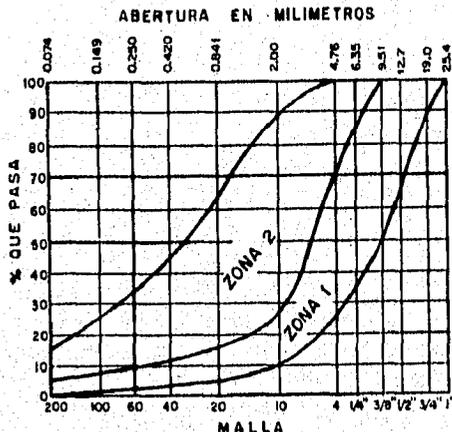


FIGURA NÚM. 1

ZONA DE ESPECIFICACION GRANULOMETRICA PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CONCRETOS ASFALTICOS

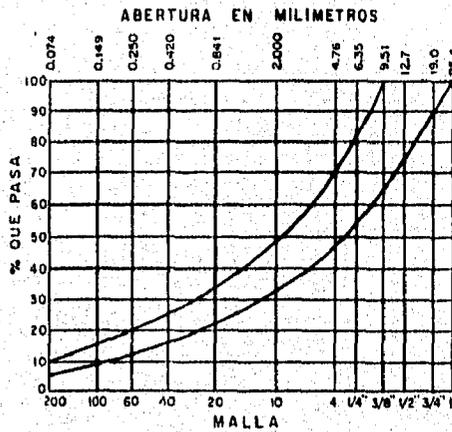


FIGURA NÚM. 2

- do con el cap. CX de la parte novena .
- 92-03.2 Los materiales pétreos para carpetas asfálticas por el sistema de riegos (trata - mientos superficiales) y para riegos de sello, deberán - satisfacer los siguientes re - quisitos:
- 1) La c. granulométrica deberá cum - plir con lo que indique el pro - yecto en cada caso y, en términos generales, deberá quedar compren - dida entre el límite inferior de - la zona 1 y el superior de la zo - na 2, de la Figura Núm. 1 (ante - rior). La zona 1 corresponde a ma - teriales pétreos de granulometría gruesa y la zona 2, a los finos. La c. granulométrica deberá afec - tar una forma semejante a la de - las curvas que limitan las zonas - por lo menos en (2/3) de su lon - gitud, sin presentar cambios brus - cos de pendiente.
 - 2) La c. granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos - deberá quedar comprendida en la - zona limitada por las dos curvas - de la Figura Núm. 2 (anterior). En cada caso el proyecto señalará la granulometría correspondiente, de acuerdo con los requisitos corres - pondientes en el diseño de la mez - cla y debe cumplir con los requi - sitos de proyecto, si está dentro del cuadro de tolerancias (ante - rior):
 - a) De granulometría debe cum - plir con el cuadro "A".
 - b) De desgaste Los Angeles 30% máximo.
 - c) De intemperismo acelerado - 12% máximo.
 - d) De forma de las partículas - alargadas y/o en forma de - laja 35% máximo.
 - e) De afinidad con el asfalto - de acuerdo con la tabla del inciso 92-03.5.
- 92-03.3 Los materiales pétreos que se emplean en la - construcción de morteros as - fálticos, deberán satisfa - cer los siguientes requisi - tos:
- a) De granulometría, la curva granulométrica del mate - rial pétreo deberá ser lo - que fije el proyecto en ca - da caso, y en términos ge - nerales deberá quedar com - prendida dentro de la zona limitada por las dos cur - vas de la Figura Núm. 3.
 - b) De c. lineal 2% máximo.
 - c) Equivalente de arena 40% - mínimo (tentativo).
 - d) De desgaste, determinado - de acuerdo con el método - de prueba de abrasión en - húmedo 10% g/dm² de la su - perficie desgastada 10% má - ximo (tentativo).
 - e) De afinidad con el asfalto de acuerdo con el inciso - 92-03.5.
- 92-03.4 Los materiales pétreos empleados en la construc - ción de guarniciones de - concreto asfáltico, debe -
- b) De C. lineal, de acuerdo con el - cap. CX de la parte novena.
 - 1 Cuando la c. granulométrica, que - de ubicada en la zona 1 de la fi - gura núm. 1.....3% máximo.
 - 2 En la zona 2 de la figura 12% máximo.
 - 3 Material pétreo para concreto as - fáltico.....2% máximo.
 - c) De desgaste Los Angeles 40% máxi - mo según cap. CX parte novena.
 - d) De forma de las partículas alarga - das y/o en forma de laja 35% máxi - mo, según cap. CX de la parte no - vena.
 - e) De afinidad con el asfalto, de a - cuerdo co el inciso 92-03.5.
 - f) Equivalente de arena 55% mínimo - de acuerdo con el cap. CX de la - parte novena, según método de - prueba del cap. CX de la parte no - vena.

rán reunir las siguientes normas:
 a) De granulometría, deberá cumplir con lo que fije el proyecto, la curva granulométrica quedará comprendida dentro de la zona limitada por las dos curvas de Figura NÚN. 4 y, además, será aproximadamente paralela a una de las curvas que delimitan la zona. Esta prueba debe ser por uno de los métodos descritos en el cap. CX de la parte novena.

los métodos de prueba citados en el capítulo CX de la parte novena 40% mínimo (tentativo).

b) De contracción lineal, de acuerdo con los métodos de prueba del cap. CX de la parte novena 2% máximo.

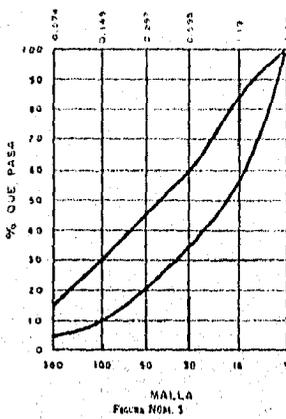
92-03.5 La afinidad del material pétreo con el asfáltico deberá cumplir, en cada caso, con los valores del cuadro "B" determinados con los métodos de prueba descritos en el capítulo CX de la parte novena.

c) De desgaste Los Angeles, de acuerdo con los métodos del cap. CX de la parte novena 40% máximo.

d) De afinidad con el asfalto de acuerdo con lo indicado en la tabla del inciso 92-03.5.

e) De equivalente de arena, de acuerdo con

ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN MORTEROS ASFALTICOS



ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGOS DE SELLO

Diámetro nominal del material petreo	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA									
	75 mm (3")	150 mm (6")	30 mm (1 1/4")	45 mm (1 3/4")	75 mm (3")	150 mm (6")	300 mm (12")	600 mm (24")	1200 mm (48")	2400 mm (96")
1			100	95 Min.		3 Máx.		0		
2					100	95 Min.		3 Máx.		0
3-A						100	95 Min.	3 Máx.		0
3-B							100	95 Min.	3 Máx.	0
3-C								100	95 Min.	3 Máx.

cuadro "A"

ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN QUARNICIONES ASFALTICAS

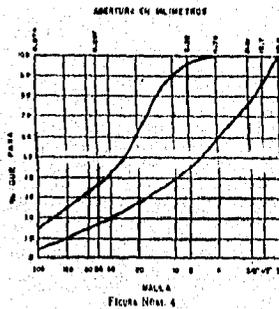


FIGURA NO. 4

cuadro "B"

PRUEBA	Quantities de prueba por muestra % (1)	Coeficiente de variación % (2)	Distorsión de prueba % (3)	Factor de resistencia por muestra % (4)	REQUISITOS DE ACEPTACION
SUB-BASE DE PAVIMENTO RIGIDO, no estabilizada o estabilizada con materiales orgánicos	25	10	25	25	Que cumpla cuando menos con uno (1) de las pruebas marcadas.
SUB-BASE DE PAVIMENTO RIGIDO, estabilizada con materiales orgánicos	25	10	25	25	Que cumpla cuando menos con uno (1) de las pruebas marcadas.
BASE DE PAVIMENTO FLEXIBLE, no estabilizada o estabilizada con materiales orgánicos	25	10	25	25	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
BASE DE PAVIMENTO FLEXIBLE, estabilizada con materiales orgánicos	25	10	25	25	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Capoteo y buena estabilidad (medida de flujo y plasticidad reducida)	25	10	25	25	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Capoteo y buena estabilidad (medida de flujo y plasticidad reducida)	25	10	25	25	Que cumpla con las dos (2) pruebas marcadas.
Mortero adicional.	25	10	25	25	Que cumpla con la prueba marcada.
Dimensiones mínimas.	25	10	25	25	Que cumpla con una de las pruebas marcadas.

Nota: Los valores son los mínimos.

Capítulo XCIII

Materiales asfálticos sus aditivos y mezclas asfálticas .

93-02.2 Los materiales asfálticos-son los siguientes:

- a) Cementos asfálticos, son los asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a éste sus solventes volátiles y parte de sus aceites. Sus penetraciones, obtenidos por el método del cap. CX I de la parte novena, varían entre 40 y 300 grados.
- b) Asfaltos rebajados de fraguado-rápido, que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.
- c) Asfaltos rebajados de fraguado-medio, que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo queroseno.
- d) Asfaltos rebajados, de fraguado lento que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero.
- e) Emulsiones asfálticas, que son los materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no miscibles, en las que la fase continua está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto. Dependiendo del agente emulsificante, las emulsiones pueden ser aniónicas, si los glóbulos de asfalto tienen carga electrónica negativa o catiónicas, si los glóbulos tienen la carga electropositiva. Las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento.

93-03.3 Los materiales asfálticos- se emplean para aglutinar los materiales pétreos empleados en la elaboración de carpetas y de sub-bases y bases estabilizadas

además, para ligar o unir tales capas entre sí. También se utilizan para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como las auxiliares para el drenaje.

93-02.4 Los materiales asfálticos deberán satisfacer las características siguientes ver cuadros: A), B), C), D), E), F) y G) indicados adelante, determinados todos ellos con las pruebas del cap. CXI de la parte novena.

93-03 Aditivos para mejorar la adherencia entre el agregado pétreo y los materiales asfálticos

93-03.1 El empleo de aditivos es para producir una actividad iónica, e incrementar la adherencia en la interfase del agregado pétreo y el material asfáltico, conservándola aún en presencia del agua. Estos aditivos, por lo general, se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclar éste con el agregado pétreo.

93-03.2 El empleo de aditivos está condicionado al resultado obtenido en las pruebas de afinidad del agregado pétreo con los materiales asfálticos- descritas en el cap. CX de la parte novena. Las concentraciones en que se empleen dichos aditivos serán las adecuadas para satisfacer las características a que se refiere el inciso 92-03.5, de afinidad con los agregados pétreos.

93-04 Mezclas asfálticas

93-04.2 Una mezcla asfáltica, es un material asfáltico incorporándole uno pétreo, y de a -

- cuerto con sus características y condiciones de uso a que se destinan, deberán elaborarse con los materiales asfálticos que se fijan en el siguiente cuadro H) indicado adelante.
- 93-04.3 Las mezclas asfálticas deberán sujetarse a las siguientes normas :
- a) Las mezclas que se elaboren con cemento asfáltico, proyectadas de acuerdo con los procedimientos descritos en el cap. CXII de la parte novena, deberán cumplir, para dicho objeto, con los requisitos señalados a continuación:
 - 1) Para el procedimiento Marshall, los contenidos en el cuadro I).
 - 2) Para el procedimiento Hveem, los contenidos en el cuadro J).
 - b) Las mezclas que se elaboren con emulsiones o asfaltos rebajados, proyectadas de acuerdo con el procedimiento de pruebas de compresión sobre cilindros sin confinar, descrito en el cap. CXII de la parte novena, deberán cumplir para dicho objeto, con los requisitos en el cuadro K).
 - c) Las mezclas que se elaboren con emulsiones asfálticas que no tengan disolventes, deberán cumplir con los requisitos de estabilidad indicados en las tablas del inciso a) (arriba), y además con los porcentajes de vacíos fijados en la tabla del inciso b) (arriba).
- 93-04.4 Las condiciones para el uso adecuado de mezclas asfálticas se indican a continuación:
- a) Los contenidos de humedad y disolventes para el tendido y compactación de la mezcla asfáltica y el contenido de cemento asfáltico de acuerdo con los procedimientos del cap. CXII de la parte novena, deberán quedar dentro de los límites fijados en el cuadro L).
 - b) Las temperaturas de la mezcla asfáltica, para su tendido y compactación, deberán ser las que se indican en 57-04.12 y 57-04.15 de la parte cuarta.
- c) Los espesores compactos de las capas, en relación con el tamaño máximo del material pétreo, deberán fijarse en el cuadro M).
- d) La mezcla asfáltica deberá ser compactada al 95% mínimo de su peso volumétrico máximo, determinado en cada caso de acuerdo con los métodos de prueba que fije la secretaría.
- e) La mezcla asfáltica usadas en carpetas deberán tener un valor de permeabilidad menor del 10%; cuando se usen para la construcción de bases y sub-bases, el proyecto indicará este valor. En estos casos el valor se determinará con la prueba del cap. CXII de la parte novena, efectuando la prueba inmediatamente después de que la carpeta se haya terminado de construir.
- 93-04.5 Para la fabricación del mortero asfáltico deberá tomarse lo siguiente:
- a) El material pétreo deberá reunir el inciso 92-03.3.
 - b) La emulsión deberá reunir los párrafos E) y F) del inciso 93-02.4, relativas a emulsiones de rompimiento lento.
 - c) El agua que se utilice para el mortero deberá estar libre de materias extrañas y de sales solubles que, a juicio de la secretaría, resulten perjudiciales.
 - d) El mortero asfáltico deberá cumplir con el cuadro N).
- 93-04.6 Las carpetas construidas por el sistema de riego deberán tener una permeabilidad del 10%, determinado por el cap. CXII de la parte novena.

Al Cemento asfáltico

CARACTERÍSTICAS	CEMENTO ASFÁLTICO			
	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Num. 4
Penetración, 100 g. 5 g. 25.5°C, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furol: A 135°C, 2. máximo	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo	220	212	212	212
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, máximo	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la pelotita sférica, 50 cm ³ , 3 h, 163°C: Penetración total, por ciento, mínimo	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	1.4	1.0	0.8	0.8

B) Asfaltos rebajados de fraguado rápido

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFÁLTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol: A 25°C, segundos	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 50°C, segundos					
A 60°C, segundos					
A 82°C, segundos					
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 190°C, mínimo	15	10			
Hasta 225°C, mínimo	55	50	40	25	8
Hasta 260°C, mínimo	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

C) Asfaltos rebajados de fraguado medio

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFÁLTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furol: A 25°C, segundos	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 50°C, segundos					
A 60°C, segundos					
A 82°C, segundos					
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 225°C, máximo	25	20	10	5	0
Hasta 260°C	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx.
Hasta 315°C	75-93	70-90	60-87	55-83	40-80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

El Asfalto rebajado de fraguado lento

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (ensa abierta de Cleveland), °C mínimo	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furul:					
A 25°C, segundos	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 50°C, segundos					
A 60°C, segundos					
A 82°C, segundos					
Destilación: Destilado total a 380°C, por ciento en volumen	15-40	10-30	5-25	2-15	10 Máx.
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, por ciento, mínimo	40	50	60	70	75
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25 °C, segundos	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm., mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

El Emulsiones asfálticas aniónicas

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO	ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Viscosidad Saybolt-Furul a 25°C, segundos	20-100		100 Mín.	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furul a 50°C, segundos		75-100			
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl ₂ , por ciento, mínimo	60	50	30		
50 ml de 0.10N CaCl ₂ , por ciento, máximo					
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo				2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados	100-200	100-200	100-200	100-200	10-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

El Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	G R A D O					
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO		ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
Viscosidad Saybolt-Furul, 25°C, segundos					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furul, 50°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo					2	2
Carga de la partícula	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
pH, máximo					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máximo	3	3	20	12		

G) Destilación

CARACTERÍSTICAS	GRADO					
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO		ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, em, mínimo	40	30	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

H) Empleo recomendable

MATERIAL ASFALTICO	EMPLEO RECOMENDABLE EN LA CONSTRUCCION DE CARPETAS Y SOBRECARPETAS	
	PARA CARRETERAS: Tránsito diario en autos sencillos, en vehículos pesados (a)	PARA AEROPISTAS: Aviones con peso total, en toneladas
Cemento asfáltico	Más de 1 000	Más de 20
Asfalto relajado	1 000 máximo (b)	20 máximo (b)
Emulsión asfáltica con disolventes	1 000 máximo (b)	20 máximo (b)
Emulsión asfáltica sin disolventes	1 000 máximo	20 máximo

- (a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.
 (b) El empleo de las mezclas elaboradas con asfalto relajado o con emulsión asfáltica con disolventes, que proporcionen textura lisa, debe limitarse a casos en que se tengan condiciones climáticas y equipo que permitan efectuar el tendido y compactación de la mezcla con pocos disolventes; por esta misma razón, no deberán hacerse mezclas como las antes indicadas empleando material pétreo de granulación fina.

J) Para Hveem

CARACTERÍSTICAS	PARA CARRETERAS		PARA AEROPISTAS	
	TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS EN VEHICULOS PESADOS (a)			
	De 1 000 a 2 000	Más de 2 000	Hasta 20	Más de 20
Valor del estabilímetro, mínimo	35	37	37	40
Expansión en mm, máxima	0.76	0.76	0.76	0.76
Por ciento de vacíos en la mezcla, respecto al volumen del espécimen, mínimo	4	4	4	4

- (a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todas sus tipos y los autobuses.

I) Para Marshall

CARACTERÍSTICAS	USO DE LA MEZCLA ASFALTICA ELABORADA CON CEMENTO ASFALTICO	PARA CARRETERAS		PARA AEROPISTAS
		TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS		
		Hasta 2 000 vehículos pesados (a)	Más de 2 000 vehículos pesados (a)	
Número de golpes por cara		50	75	75
Estabilidad mínima, kilogramos	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y bacheo.	450	700	700
Flujo, en milímetros	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y bacheo.	2-1.5	2-4	2-4
Por ciento de vacíos en la mezcla, respecto al volumen del espécimen. (b)	Para carpetas y mezclas de renovación. Para bases asfálticas	3-5 3-8	3-5 3-8	3-5 3-8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo. (b)	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y bacheo.	4.76 mm (Núm. 4) 6.35 mm (Núm. 3) 7.5 mm (Núm. 2) 9.5 mm (Núm. 1.5) 12.7 mm (Núm. 1) 19.0 mm (Núm. 0.75) 25.0 mm (Núm. 0.6)	18 17 16 15 14 13	18 17 16 15 14 13

- (a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.
 (b) Los por cientos de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volumen del espécimen, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el Capítulo CXII de la Parte Novena.

K) Compresión

CARACTERÍSTICAS	PARA CARRETERAS — DISEÑO DEBIDO EN AMBOS SENTIDOS DE TRÁFICO PESADO (a)			PARA AEROPISTAS — TIPO DE CARRETERA QUE OPERA		OBSERVACIONES
	Menos de 500	De 500 a 1 000	Más de 1 000	Hasta 20 toneladas	Más de 20 toneladas	
Resistencia mínima en kg/cm ²	2.5	4.0	En general no debe usarse este tipo de mezclas	5.0	En general no debe usarse este tipo de mezclas	Valores Tentativos
Por ciento de vacíos máximos (b)	Con material de graduación gruesa o fina	7		7		
	Con material de graduación intermedia	1	4	4		

- (a) El por ciento de vacíos especificado en cada caso, deberá ser calculado de acuerdo con el procedimiento descrito en el Capítulo CXII de la Parte Novena.
 (b) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

M) Tamaño máximo

Tamaño máximo del material pétreo - En mm	Espesor compacto de las capas de carpeta - En cm	Máximo (a)	
		Mínimo	Máximo (a)
4.76 (Núm. 41)	2.0	3.0	3.0
6.35 (1 1/2")	2.0	3.5	3.5
9.52 (3/4")	3.0	4.0	4.0
12.70 (1/2")	3.0	5.0	5.0
19.03 (3/4")	3.0	6.0	6.0
25.40 (1")	4.0	7.0	7.0

- (a) Los espesores máximos anotados, sólo son aplicables en el caso de que se utilicen mezclas con asfaltos rebajados o emulsiones con disolventes; en estos casos, cuando el proyecto señale un espesor mayor, se deberán controlar dos (2) o más capas.

L) Humedad

MATERIAL ASFÁLTICO EMPLEADO EN LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS	Tolerancia del contenido de cemento asfáltico con respecto al por ciento de prueba, en peso	Contenido de agua libre permitida. Por ciento en peso de la mezcla asfáltica	Relación de disolventes a cemento asfáltico, en peso. (Valor K)
Cemento asfáltico...	± 5%	1	Cero
Asfalto rebajado...	± 10%	1	0.85 a 0.08
Emulsión asfáltica con disolventes...	± 10%	...	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica sin disolventes...	± 10%	...	Cero

N) Proporcionamiento

COMPONENTES	Por ciento, en peso (a)
Emulsión asfáltica de rompimiento lento	18-25
Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla	10-15

- (a) Por ciento con respecto al peso seco del material pétreo.

O) Granulometría balasto

Distribución	POR CIENTO EN PESO QUE PASA LA MALLA DE									
	76.1 mm 3"	64.0 mm 2 1/2"	50.8 mm 2"	38.1 mm 1 1/2"	26.8 mm 1"	19.0 mm 3/4"	12.7 mm 1/2"	9.51 mm 3/8"	4.76 mm Malla Núm. 4	2.50 mm Malla Núm. 6
1	100	90-100	—	25-60	—	0-10	0-5	—	—	—
2	—	100	95-100	35-70	0-15	—	0-5	—	—	—
3	—	—	100	90-100	20-55	0-15	—	0-5	—	—
4	—	—	—	100	00-100	40-75	15-35	0-15	0-5	—
5	—	—	—	100	95-100	—	25-60	—	0-10	0-5

Capítulo XCIV

94-02 Clasificación

94-02 .1 Los materiales para sub-ba-
lastado y balastado de una vía -
férica son los siguientes:

- a) Para sub-balasto los procedentes de suelos, depositos naturales, rocas fragmentadas o alteradas, que generalmente no requieren ser triturados, cribados y/o lavados, para su utilización
- b) Para balasto los procedentes de depósitos naturales, rocas fragmentadas y rocas sanas, que generalmente requieren ser triturados, cribados y/o lavados, para su utilización.

94-03 Normas de calidad

94-03.1 Los materiales que se utilicen como sub-balastos deberán reunir los siguientes requisitos

- a) De granulometría. La curva granulométrica debe estar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la 3 preferentemente en la 2 y 3 de la gráfica de los materiales de sub-base, señalada en el cap. XCI de esta parte.
- b) De contracción lineal. Máximo 6%
- c) De valor relativo de soporte estándar mínimo 30%.
- d) De valor cementante, 4.5% mínimo
- e) De equivalente de arena, mínimo 20% (tentativo).
- f) De compactación será al 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo. Todas las pruebas serán determinadas de acuerdo al cap. CXIII de la parte novena.

94-03-2 Los materiales que se utilicen como balasto deberán reunir los siguientes requisitos:

- a) De granulometría. De acuerdo con el tamaño máximo, el material deberá cumplir con alguna composición granulométrica de las que se citan en el cuadro o), o las que en cada caso fije el proyecto y/o la secretaría.
Las partículas que pasen la malla Núm. 4, deberán tener un e-

quivalente de arena no menor de 80%.

- b) De peso. El material pétreo-ligero o la escoria de alto-horno que se emplee para balasto, deberá tener un peso-volumétrico cuando menos de 1100 kg, por metro cúbico.
- c) De desgaste. Máximo 40% de terminado por la prueba de Los Angeles.
- d) De índice de durabilidad 35% mínimo (tentativo).
- e) De intemperismo acelerado 10% máximo.
- f) De forma de las partículas.- El material deberá contener como mínimo, el 60% de partículas angulosas o trituradas dentro del material aprovechable, con objeto que sea altamente friccionante. Todas estas pruebas serán de terminadas con los métodos del capítulo CXIII de la parte novena.

Capítulo IV.- Principales tipos de tratamiento para cumplir con las normas de "S.C.T."

En el proyecto de una vía terrestre y específicamente en la construcción es probable que el ing. no encuentre los suelos adecuados que ha de utilizar para un determinado fin, y en un lugar en especial. Ante esto se presentan tres posibilidades que son:

- 1).-aceptar el material como se encuentra, tomando en cuenta la alta o baja calidad que se tenga en el diseño.
- 2).-eliminar el material que no cumpla con las normas de "S.C.T.", cap.III, sustituyéndolo por otro que si lo cumpla.
- 3).-modificar las propiedades del material existente, para cumplir con los requerimientos del cap.III.

La última alternativa da lugar a las técnicas de tratamientos o estabilización de suelos. Son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr una(s) mejoría(s) de las propiedades de los suelos para cumplir con las normas. la siguiente lista de tratamientos no agotan el tema, pero son los más usuales que son:

- a).-tratamientos por medios mecánicos, de los cuales la compactación es el más conocido, pero también se utilizan mezclas de suelos.
- b).-tratamientos por drenaje.
- c).-tratamientos por medios eléctricos.
- d).-tratamientos empleando calor y calcinación.
- e).-tratamientos químicos; que se logran mediante la adición de estabilizantes específicos, como la cal, el cemento, asfalto y sales.

La gran variedad de suelos y sus características hacen que cada método resulte aplicable a un número limitado de ellos, esa variabilidad se manifiesta a lo largo de algunos metros y algunas veces kilómetros, pero para cualquier caso es frecuente que al aplicar un método a varios tipos de suelos, algunas veces con variación de significación, se tenga que renunciar al procedimiento óptimo en cada caso.

Desde un principio se debe reconocer que los tratamientos no son una herramienta que soluciona todos los problemas; por consiguiente, habrá que tener en mente al conjunto de propiedades que se desee mejorar y la relación entre lo que se logrará mejorarlos y el dinero, esfuerzo que en ello haya de invertirse. Solo balanceando cuidadosamente estos factores podrá llegarse a un correcto empleo de estabilización en suelos.

El tema de la estabilización de tierras es interesante, ya que todo ingeniero debe perseguir el uso de los materiales locales en la construcción de vías terrestres. Se trata pues como se mencionó en la introducción, que a un material inapropiado aún para terracería, se le cambie las propiedades(físicas) para cumplir con las normas de S.C.T., a un precio costeable para que se puedan utilizar en dichas obras.

Estas construcciones no deben ser hechas al azar, sino proyectadas, planeadas, estudiadas y ejecutadas con el mismo cuidado y supervisión técnica de una obra normal. Si se proyecta y construye de este modo, es probable que las fallas que se presenten sean menores que las que tienen los pavimentos más costosos.(normales)

Las tierras estabilizadas proporcionan una excelente estructura para caminos que pudieran ser más costosos, cuando en éstos se justifican la necesidad de su construcción: como ejemplo diremos lo siguiente, cuando se usa una base estabilizada, es probable que se elimine en la mayoría de los casos que ésta falle, logrando mayor seguridad y espesores de pavimento más delgados, obteniendo una economía en material y dinero. Si se quieren obtener mejores resultados se requiere por lo general más habilidad y cuidado en un camino tratado que la de uno costoso.

Una de las preguntas más comunes que se hacen con relación a el tratamiento es ¿De qué espesor debe hacerse?. Para esta pregunta no hay respuesta aplicable para todos los casos, de la misma manera, no existe respuesta única a la siguiente pregunta ¿De qué espesor debe ser una base o una carpeta?. Para estas interrogativas podemos mencionar el punto de vista del Ing. Rico Rodríguez ref. 4 que dice lo siguiente:

"En un caso dado se ofrecen al ingeniero multitud de materiales unos más lejos, otros más cerca, con propiedades diferentes que se traducen en ventajas e inconvenientes concretos a ello se suma la extensa posibilidad de jugar con los espesores de las diferentes capas a un mayor espesor de un material barato de baja calidad, puede sustituirse por uno de mejor calidad y de menor espesor (aunque sea más caro). Las reglas de este juego de por sí variado y complejo se complican al considerar los límites aceptados de calidad de los materiales y el espesor que varía de una capa a otra y de una topografía a otra".

Así podemos decir que la profundidad de la estabilización depende siempre de las condiciones climatológicas, del drenaje, del subsuelo, del tránsito y de todas las otras condiciones que deben tenerse en cuenta para la elección de un tipo de pavimento.

IV.-1 Tratamientos y sus propiedades

Las propiedades de suelos que más se estudian en problemas de estabilización son:

- Estabilidad volumétrica.
- Resistencia.
- Durabilidad.
- Permeabilidad.
- Compresibilidad.

Ya definidos en la introducción. Es posible utilizar tratamientos que mejoren simultáneamente varias de esas propiedades, pero se debe de estar preparado "en el último de los casos" a encontrar evoluciones contradictorias, de manera que el mejoramiento de una propiedad no signifique el deterioro de otra(s). Antes de empezar a describir estas propiedades podemos agregar que la estabilización no es una medida correctiva, sino debe verse como preventiva en contra de condiciones adversas susceptibles de ulterior desarrollo.

- a).-Estabilidad volumétrica El tratamiento ofrece una alternativa a los problemas relacionados con suelos expansivos por cambio de humedad debido a variaciones estacionales. Se trata pues de transformar la masa de arcilla expansiva en una rígida o en una granulada, de manera que sus partículas queden unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir presiones internas de expansión. Esto se logra por tratamientos químicos o térmicos.- Los primeros pueden ser con cal, cemento, asfalto y sales. Estos son útiles sobre todo para arcillas ubicadas cerca de la superficie del terreno. Los térmicos se aplican en arcillas más profundas (cimentaciones), en muchos casos de arcilla expansiva la economía impone, estabilizar solamente la parte superior del manto en un cierto espesor, y con ello será suficiente siempre que se balancee la presión de expansión que producirá el espesor no tratado.
- b).-Resistencia Los tratamientos más usuales para elevar la resistencia son los siguientes.
 -Compactación.
 -Drenaje.
 -Estabilización mecánica (mezcla de suelos)
 -Estabilización química (con cal, cemento, sales).
 Para este inciso debe cuidarse el contenido de materia orgánica ver normas del cap.III.
- c).-Durabilidad Se puede definir como la resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico los problemas de durabilidad en vías terrestres están asociados a suelos cerca de la superficie de rodamiento. Pueden afectar a suelos naturales como a estabilizados, estos últimos cuando se hacen diseños inadecuados, tales como una mala elección del agente estabilizador, mal control de calidad o errores de uso, ejemplo: cuando se ignora la bien conocida susceptibilidad de los suelos arcillosos estabilizados con cemento a la presencia de sulfatos.
- d).-Permeabilidad No es difícil modificar la permeabilidad de un suelo, esto se logra mediante compactación, el uso de defloculantes (polifosfatos), que reducen la permeabilidad.
 Los flocculantes (yeso) la aumentan; algunas emulsiones que si bien reducen la permeabilidad ejercen efectos desfavorables en la resistencia al esfuerzo cortante. Generalizando los métodos que eliminan la permeabilidad están desligados de los métodos con los que se busca variar la estabilidad volumétrica o la resistencia excepto la estabilización mecánica.

- e).-Compresibilidad La compactación modifica a la compresibilidad pero no es la única manera de lograrlo, ya que los métodos de vibroflotación, precarga drenaje, estabilización mecánica y química están relacionados con este concepto.

IV.-2 Identificación de suelos para tratamientos

Para este punto nos basaremos en las normas del cap. III, que es la clasificación del S.U.C.S., mas sin embargo esta clasificación ignora algunas características de los suelos que tienen una importancia especial en los problemas de estabilización, sobre todo química, como son: la composición mineralógica, permeabilidad-influencia de condiciones locales como clima o vegetación, historia geológica previa especialmente en suelos finos. Es por eso - que al afrontar problemas de estabilización de suelos es necesario complementar la anterior clasificación con información adicional referente a dichos aspectos. En seguida presentamos tres cuadros que nos proporcionan información adicional. Así tenemos el cuadro IV.2.1. que nos presenta información cualitativa sobre la composición mineralógica a partir de la observación del perfil de suelos.

Cuadro IV.2.1 información cualitativa sobre la composición mineralógica a partir de la observación del perfil de suelos.

Perfil observado	Componente mineralógicos posiblemente dominantes
Arcillas jaspeadas, con coloraciones rojo, naranja o blanco.	Caolinitas
Arcillas jaspeadas de color amarillo naranja o gris.	Montmorilonitas
Arcillas negras o gris obscuro.	Montmorilonitas
Arcillas café y café-rojizo.	Illitas o algo de montmorilonita
Arcillas blancas o gris claro.	Caolinitas y bauxitas
Suelos micáceos.	Micas
Cristales pequeños fácilmente disgregables.	Yesos
Nódulos suaves diseminados y solubles en ácido.	Carbonatos
Nódulos duros, café-rojizo.	Minerales de hierro, lateritas
Agrietamiento intenso, ancho profundo y espaciado(5-6 cm)	Illitas ricas en calcio o montmorilonitas

Igual que el anterior, pero con grietas espaciadas 30cm. Suelos disgregables de textura abierta y arcilla.

Ilitas

Generalmente carbonatos y caolin, nunca montmorilonita y rara vez Iilita

Suelos disgregables de textura abierta, negros y con apreciable contenido de arcilla.

Suelos orgánicos (turbas)

Suelos disgregables, de textura abierta con bajo contenido de arcilla.

Carbonatos. Arenas y Limos.

Suelos de apariencia rugosa cuando presentan superficies expuestas al intemperismo.

Montmorilonita. Salinidad.

Horizontes delgados de suelos blancuzcos, a menos de 60cm. de la superficie.

Sobre los horizontes blancuzcos limos finos. Abajo, arcillas inestables. Probablemente pueden existir aguas suspendidas en los horizontes

A continuación presentamos el cuadro IV.2.2 que es una respuesta de algunos minerales con la estabilización.

Mineral componente típico	Estabilización recomendable	Finalidad
materia orgánica	estabilización mecánica	los demás métodos no son recomendables.
Arenas	mezcla con materiales no plásticos	para estabilidad mecánica.
	cemento	para incrementar el peso volumétrico y así la resistencia y dar cohesión.
	asfalto	para dar cohesión.
Limos	no responden a los métodos de estabilización	
Alófanos	cal o mezclas de cal y yeso	para incrementar el P.V. y así su resistencia.
Caolin	arena	para estabilidad mecánica.
	cemento	para resistencia a corto plazo
	cal	trabajabilidad y resistencia a largo plazo.
Iilita	cemento	para incrementar la resistencia a corto plazo.
	cal	igual que en el caolin.
Montmorilonita	cal	para mejorar la trabajabilidad y resist. a corto plazo.
Clorita	cemento	Aún no hay datos.

El cuadro IV.2.3 Nos presenta una respuesta de los suelos con el uso de las sales, ácidos, resinas y polímeros.

Para este cuadro se insiste otra vez en la necesidad de que la elección del estabilizante se preceda por un análisis mineralógico y químico cuidadoso. Además el proyectista debe conocer en forma anticipada la probable respuesta que se tendrá, así como los efectos de repercusión de ésta en algunos otros aspectos como humedad, resistencia, contracción lineal.

Sales	Tipo de suelo	Finalidad	Notas
"NaCl" cloruro de sodio	arcillas	para reducir los cambios de humedad y evitar efectos expansivos, evitar tolvaneras en alopistas y calcáreo	- Es útil en climas con problemas de congelamiento, tiene mejores resultados con suelos finos, no usar rodillo patado. - Incremento de la resistencia.
"CaCl ₂ " cloruro de calcio (5-3%)	arcillas	incremento del p.v. hasta de un 11%, para mantener la humedad y evitar el polvo en terracerías.	es lavable por lo que el N.A.F. debe estar de tal manera que no provoque emigración de la misma cuando los minerales pasen la malla 200 y reaccionen con la sal y humedad relativa del 30%.
(2%)	limos	abate la susceptibilidad al congelamiento.	
"NaSiO ₃ " silicato de sodio	arenas y suelos arenosos con presencia de sales de calcio.	para incrementar la resistencia.	se ha aplicado desde 1945 en E.U. Algunas reacciones no han podido explicarse. No se debe usar en condiciones climáticas severas y normalmente se usa como aditivo secundario.
	arcilla-caolinita. arcilla-montmorillonita.	para que sea menos activa. para hacerla más efectiva.	
"H ₃ PO ₄ " ácido fosfórico	arcillas	para reducir la humedad, incrementar la resistencia	para suelos de naturaleza ácida localizados en regiones volcánicas en donde

(1-5%)			abunda la clorita, e vite en suelos con minerales alcalinos, limosos y arenas.
Anilina - Furfural	para suelos de- naturaleza áci- da y arenas.	aumentan la - resistencia - mecánica y me- joran su cohe- sión.	este tratamiento es- para formar una es- tructura impermeable al agua, tiene dos - defectos que son, es degradable con las - bacterias y es cara- su aplicación.
(1-2%)			
Cromo-lig- nina	origen volcáni- co y de natura- leza clorítica.	para dar cohe- sividad.	
Polímeros (catiónicos)			
poliacrilami- das	arcillas y are- nas	mejoran la re- sistencia al- esfuerzo cor- tante.	a estos polímeros se les conoce como " a- gentes que mejoran - la compactación". De- be tenerse cuidado - al compactar un sue- lo estabilizado con- estos productos en - virtud de que la re- sistencia del suelo- puede estar afectada por la energía de - compactación.
"armeen, ar- quad"			
(no-aniónico) alcohol, - polivinílico celulosa car- bometilica, (aniónico)	superficies oxi- genadas de mate- rial arcilloso	mejoran la - compactación.	
sulfanatos - ligno-sulfa- natos.	arcillas	resistencia - al esfuerzo - cortante, me- jora la com- pactación.	

IV.3 Diversos tratamientos

Una vez vistos los cuadros de interacción mineral-estabilizante, describiremos los diversos tratamientos para lograrlo, aunque mencionamos anteriormente las sales no trabajaremos con éstas, dado que se necesita un análisis químico de un especialista y así tenemos lo siguiente:

- a).- Disgregación; consiste en desbaratar todos los grupos para conocer su granulometría real.

Se utiliza en materiales finos agrumados, en granulares poco o medianamente cementados y en rocas alteradas. Para realizar este tratamiento se utilizan rodillos lisos metálicos que pasan sobre el material hasta que menos del 10% de desperdicio sea retenido en la malla requerida, más tarde se quita parte de esas partículas de tal manera, que se tenga un desperdicio del 5% y cuando el costo es alto ya sea porque el material se le pasaron muchas veces o porque el desperdicio sea mayor al 10%, se recurre al siguiente tratamiento.

- b).- Cribado; es pasar el material por una, dos o tres mallas cuadradas o cribas rotatorias para determinar una cierta granulometría.

Este tratamiento se usa cuando el desperdicio sea del 5-20% o exista un exceso de materiales finos en más del 5% del máximo permitido. El cribado puede hacerse por una, dos o varias mallas según las condiciones granulométricas que presenten los materiales y el uso al cual vaya a destinarse, y así tenemos que para:

- 1).-Materiales poco o nada cohesivos. Como son gravas-arenas de playones, arroyos, ríos o minas, extraídos en seco, húmedos o en agua requieren cribado por una, dos o más mallas.

- 2).-Materiales cohesivos - Areniscos suaves, conglomerados, caliches, roca desintegrada, que al extraerse resultan con terrones que pueden disgregarse y necesitan cribado por una, dos o más mallas

Por una malla Se usa cuando el tamaño mayor a 2" sea entre 5-20% y el material vaya a ser utilizado en bases y carpetas ó cuando los finos sean mayor al 5% del permitido ya que los materiales en condiciones naturales no tienen las características necesarias para ser usados, como ejemplo tenemos que si un material proviene de ríos el tamaño depende del régimen pluvial, pues con aguas broncas los tamaños son grandes y con aguas mansas son pequeños.

Por dos mallas Este caso se utiliza cuando hay sobrantes de materiales finos y gruesos y se quiere aprovechar los intermedios. Cuando el material se extrae de playones se contamina con limo ó tierra vegetal produciendo un exceso de finos que hay quitarlos con este método.

Por tres mallas Es menos frecuente en el uso de materiales para bases, es comun cuando se utilizan para carpetas ya sea por el sistema de riegos superficiales o para ajustar las curvas granulométricas en el diseño de mezclas. Sin embargo puede presentarse en el uso de bases cuando exceden algunos tamaños intermedios del máximo permitido, pero son casos esporádicos.

c).- Lavado; Se utiliza para eliminar materia orgánica, exceso de arcilla y materiales extraños al pétreo.

Los materiales que lo necesitan son los no cohesivos (gravas), en las que se requiere que al extraerlo no contenga más del 5% de partículas mayores a 2", éstos se presentan en playones o márgenes de ríos, arroyos y depositos naturales (minas). En general se recurre al lavado cuando no se encuentran bancos que sean económicos por sus acarreos. Este procedimiento es más aplicable a los productos pétreos de pavimentación, carpetas, riegos de sello, que a las bases.

d).- Trituración Es para reducir el tamaño de las rocas y así cumplir con las especificaciones del capítulo III. Para su análisis lo dividiremos en dos partes.

1.- Trituración parcial; Este tratamiento se utiliza en materiales cohesivos (caliche, roca alterada, conglomerados, etc. etc.), que al extraerlo se pueda disgregar con el peso del equipo mecánico, pero que contienen más del 25% del material mayor a 2" y se quiere reducir a 1½" de tamaño máximo para ajustar las especificaciones granulométricas.

2.- Trituración total; Se aplica a materiales como:

2.1 Rocas extraídas de mantos; con calidad adecuada y que necesite reducirse a tamaño máximo de 1½" estos materiales deberán ser atacados con explosivos para fragmentarlos, dependiendo de la compactidad de la roca y planos de exfoliación, la profundidad y separación de barrenos, para poder obtener los tamaños adecuados en la explosión, y así poder ser cargados a las trituradoras sin necesidad de marreo o moneo de piedras grandes.

Este aspecto es interesante porque un banco de roca bien tronado, se aprovecha la fragmentación inicial, para disminuir los costos de trituración, si se descuida este aspecto puede elevar los costos en tal forma que resulta antieconómico ejecutar la trituración.

2.2 Roca pepena y suelta; de calidad apropiada que se encuentre suelta y que se necesite reducir su tamaño máximo a 1½". Este material es produc

to de recolección a mano y de tamaños más o menos chicos que permitan ser fácilmente cargados y movidos por hombres y que no ameriten ningún trabajo extra para llevarlos a las trituradoras.

2.3 Escorias de fundición que se necesiten reducir su tamaño a $1\frac{1}{2}$ " , como es el caso de altos hornos , este material flota y se separa durante su fundición.

e).- Estabilidad mecánica; Lo definiremos como la modificación de la granulometría de un suelo mediante el mezclado con otro para cumplir con las especificaciones requeridas. Este método se usa en sub-bases y bases.

Los materiales que se emplean en carreteras pueden ser de diferentes orígenes como son:

- 1.-Suelos procedentes de bancos naturales, como son los depósitos de río que generalmente contienen grava, arena, arcilla y limos o arena de playa que son normalmente arenas uniformes.
- 2.-Suelos procesados; son los anteriores, pero llevados a un tratamiento como trituración para cambiar de tamaño o textura.
- 3.-Suelos procedentes de bancos de préstamo.
- 4.-Suelos de tipo especial; como escorias de fundición.

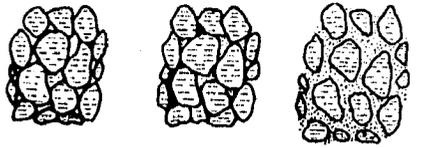
La estabilidad de estos suelos depende de la distribución de los diferentes tamaños de sus partículas es decir su granulometría, P.V., fricción interna y cohesión. La granulometría influye en la resistencia sin menospreciar la forma y textura de sus partículas al grado de estar determinada por la cantidad de agregados gruesos y finos de un suelo.

Para hacer un análisis de la composición granulométrica lo podemos hacer por tres métodos el cribado, sedimentación y el hidrómetro que es más usado, en el primero se clasifican tamaños hasta un mínimo de 0.074 mm. (malla 200). Los resultados se reportan como porcentaje de arena si el material está comprendido entre 2 y 0.05mm, lino si está entre 0.05 y 0.005mm. y arcilla si es de menor tamaño.

Ya que la estabilización mecánica es la modificación granulométrica de un suelo en la siguiente fig. e) 1 podemos ver algunas características por ejemplo; un suelo sin finos es permeable y no susceptible a la acción de las heladas, con gran cantidad de finos la transmisión de esfuerzos no se efectuará entre las partículas gruesas, sino entre las finas, entonces lo que se pretende es que un suelo contenga los finos necesarios para llenar los vacíos y tener una mejor distribución de esfuerzos. Así tenemos la gráfica de la fig. e) 2 que nos muestra un comportamiento de pruebas de V.R.S. y P.V.S. de arenas gruesas, finas y gruesas así como gravas conteniendo % diferentes de finos, deducimos entonces que debemos tomar el % del V.R.S que es el más alto porque con ello juzgaremos la calidad del material.

La plasticidad de los finos es importante ya que si se excede en

fig.e) Estado físico de agregados mixtos.



- | | | |
|--|---|--|
| <p>a) Agregados sin finos.
Contacto grano a grano
Peso volumétrico variable
Permeable
No susceptible a las heladas
Alta estabilidad en estado confinado
Baja estabilidad en estado no confinado
No es afectado por condiciones hidráulicas adversas
Se dificulta su compactación</p> | <p>b) Agregados con finos suficientes para obtener una alta densidad
Contacto grano a grano con incremento en la resistencia
Resistencia a la deformación
Mayor peso volumétrico
Menor permeabilidad
Es susceptible a las heladas
Relativa alta estabilidad en estado confinado y no confinado
No es muy afectado por condiciones hidráulicas adversas
Moderadamente difícil de compactar</p> | <p>c) Agregados con gran cantidad de finos
No hay contacto de grano a grano, encontrándose dentro de una matriz de suelos finos
Este estado disminuye su peso volumétrico
Baja permeabilidad
Susceptible a las heladas
Baja estabilidad
Es afectado por condiciones hidráulicas adversas
No se dificulta su compactación</p> |
|--|---|--|

proporciones se tienen lubricaciones o expansiones o lo que es más grave decremento en la resistencia, por esto no se debe introducir material fino de alta plasticidad. Para el porcentaje se recomienda que sea menor al 10% y el I.P. debe ser menor a medida que la precipitación pluvial sea más alta o que el drenaje sea deficiente. Teniendo en cuenta lo anterior se da la siguiente tabla.

Lluvia (mm.) año.	Sup. que se cubren con capas superficiales impermeables.	Sup. que quedan expuestas al tránsito.
	I.P.	I.P.
más de 1000	3	3-5
700 a 1000	3-4	5-8
menos de 700	4-5	8-12

Cuando se tienen climas calurosos pueden considerarse I.P. mayores sobre todo si se tienen buenas condiciones de drenaje. Por otra parte es conveniente que el material fino utilizado en estas estabilizaciones tenga un L.L. menor al 25%.

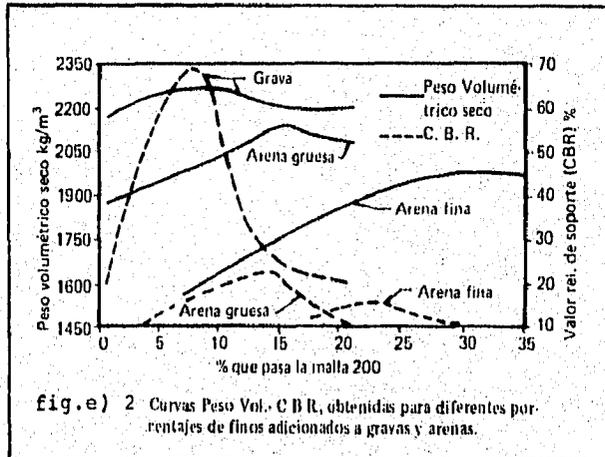


fig.e) 2 Curvas Peso Vol. C B R, obtenidas para diferentes porcentajes de finos adicionados a gravas y arenas.

Diseño de la estabilización mecánica.

El problema de la estabilización mediante la mezcla de suelos se plantea pues, desde dos puntos de vista; la granulometría de la mezcla de suelos y la plasticidad resultante en los finos incluidos en la mezcla. Son estos dos aspectos los que se tomarán en cuenta para el diseño de la estabilización, de acuerdo con el método que enseguida se presenta, en éste solo describiremos la mezcla para dos agregados. Sin embargo solo nos resta añadir que el proyectista debe verificar mediante pruebas de laboratorio, la calidad del suelo diseñado en base a la granulometría y plasticidad para que cumpla con los fines que se persigan, sobre todo en lo que concierne a la resistencia.

Ejemplo: Se quiere hacer la mezcla de dos materiales cuyas granulometrías se dan en la siguiente tabla para cumplir con las especificaciones dadas en la fig. e).-3

"Método analítico"

Se tienen los siguientes materiales α y β cuyos datos son los siguientes:

mallá	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200
especific.	100	80/100	70/90	50/70	35/50	18/29	13/23	8/16	4/10
mat. α	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
mat. β	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2

Para el diseño analítico es necesario efectuar primero un análisis visual de las gráficas de ambas granulometrías y estimar en que proporciones pueden contribuir ambos agregados. Por ejemplo en este caso se puede apreciar que los finos son proporcionados por el material β y los gruesos por el α . De acuerdo con lo anterior podríamos escoger para el diseño la malla Nº8 y la media aritmética de las especificaciones para dicha malla.

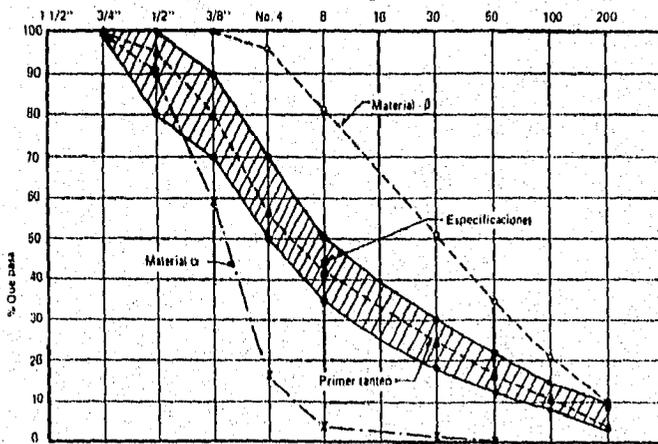


fig. e).-3 Curvas granulométricas de los agregados α y β y zona de especificaciones.

debido a que generalmente el L.P. se incrementa y a una reducción en el L.L.

- El agua y la cal colaboran para acelerar la disgregación de los grumos de arcilla en la pulverización facilitando así su trabajabilidad.
- En áreas pantanosas o en donde los suelos tienen humedades superiores a la óptima, la aplicación de la cal facilita el disgregado del suelo propiciando un secado más rápido.
- Se reducen las contracciones y expansiones debido a cambios de humedad.
- La capa estabilizada proporciona una excelente plataforma para la construcción de capas superiores.
- Aumenta la resistencia a la compresión simple y el V.R.S.

1.2.- Acción de cal en arenas y limos.

Para especímenes de una mezcla con arena limpia y caolín puro con 5% de cal y probados a compresión simple después de 7 días de curado se observó lo siguiente.

- Se tiene un aumento en la resistencia a la compresión simple al aumentar el porcentaje de arena hasta 40%, más allá, las resistencias decrecen hasta volverse prácticamente nulas cuando se tiene solamente arena con cal en dichas pruebas.

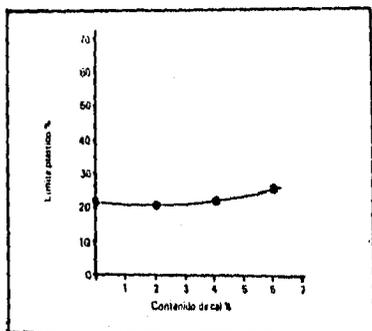
1.3.- Acción de cal en arcillas

- Aumenta la resistencia dependiendo de los porcentajes de arcilla y cal; como la fracción fina esta constituida por limos y arcillas, las segundas son una fuente principal de sílice y aluminio, pero en los primeros, dichos elementos pueden también estar presentes en cantidades considerables de esto se concluye la necesidad de tomar en cuenta la composición química de todo suelo, para entender sobre todo a largo plazo algunos fenómenos que no se observan a corto plazo.

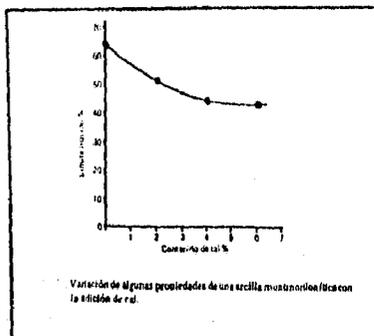
Diseño de la estabilización.

El diseño debe basarse en las características originales de los minerales arcillosos que contenga el suelo, ya que con base a ellos se pueden estimar "a priori" las ventajas que se lograrán con el empleo de la cal.

Existen diferentes criterios para la elección del "contenido óptimo de cal" ya que son diversos factores que en ello influyen como son; el contenido de materia orgánica, que es el más destacado, porcentaje de mineral arcilloso, características que se desee modificar en el suelo, tipo de cal, porcentaje de finos y gruesos a tratar. El contenido óptimo de cal se le conoce también como punto de fijación y es cuando más allá de dicho punto no se obtienen mejoras notables en el material; como ejemplo podemos citar lo siguiente: Variación de algunas propiedades índice de una arcilla montmorilonítica, proveniente de la calle 20 de un distrito de riego en el estado de Sinaloa ver figuras f).1,f).2,f).3,f).4. Se deduce que el L.P. tiende a aumentar para contenidos de cal del 6% y el L.L. ya no disminuye. Lo anterior origina que la clasificación del suelo mostrada en la fig. f).5 pase a ser de un CH a un CL Y según las figuras, podría juzgarse que el punto de fija

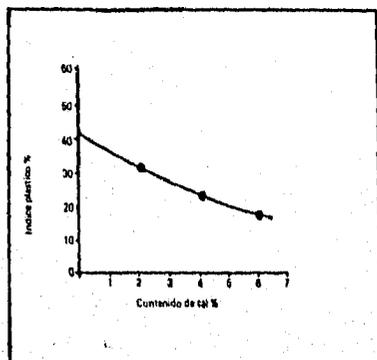


E).1

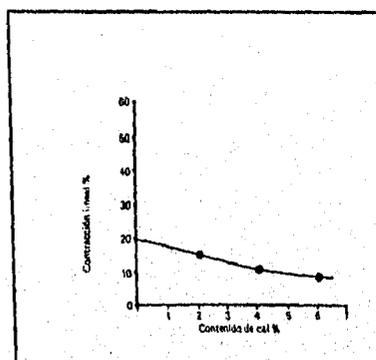


Variación de algunas propiedades de una arcilla mazonaria (lisa) con la entida de cal.

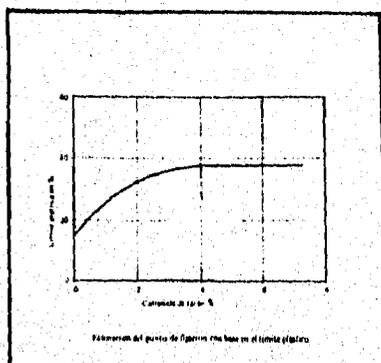
E).2



E).3

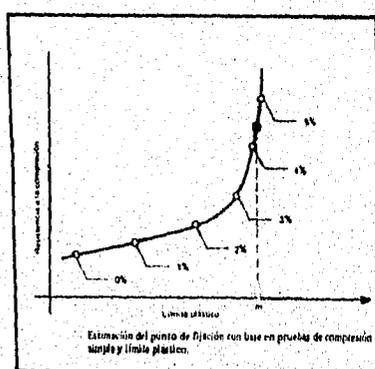


E).4



Estimación del punto de fijación con base en el límite plástico.

E).1.1 "Punto de fijación" en otra arcilla.



Estimación del punto de fijación con base en pruebas de compresión simple y límite plástico.

E).1.2 "Punto de fijación" en otra arcilla.

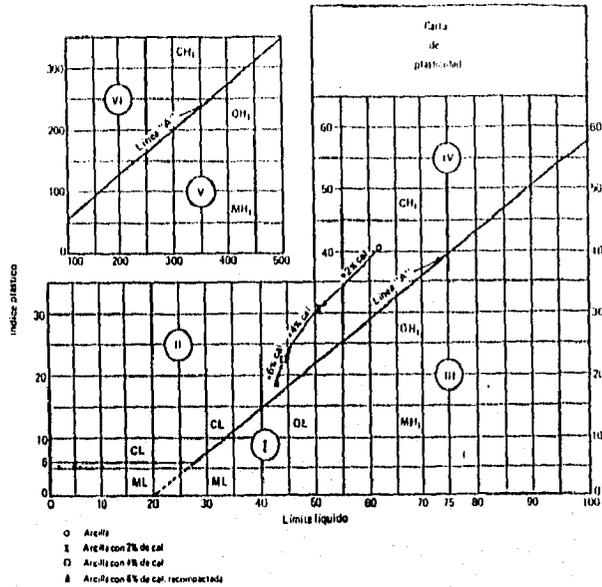


Fig. E) 5 Variación de la ubicación en la carta de plasticidad de una arcilla con diferentes porcentajes de cal.

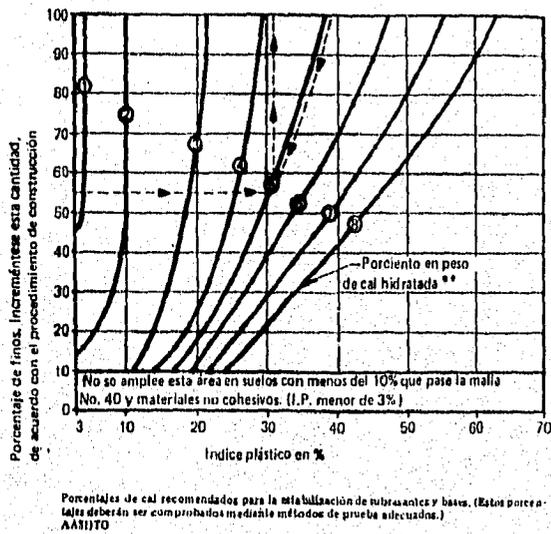


Fig. E) 6.1 Método de la AASHTO para las estabilizaciones con cal.

ción es alrededor del 6%, pero al final el ingeniero debe determinar dicho punto.

Para el diseño existen varios métodos como el de California o de Hveem y consiste en lo siguiente.

- Determinación de la estabilidad del suelo compactado, introduciendo especímenes de éste en una cámara llamada estabilómetro de Hveem para determinar la estabilidad "R", presión de expansión y la presión de exudación.

El método "AASHTO" cuya designación es T220-66 consiste en pruebas de compresión simple y funciona como sigue; con los datos del I.P. y el porcentaje de suelo que pasa la malla N^o 40, se entra en la gráfica de la figura f).6.1 se determina el porcentaje de cal que deberá adicionarse al suelo, se adiciona este porcentaje fabricando tres especímenes compactados a la humedad óptima y se les somete a pruebas de compresión simple después de cierto tiempo de curado. Si se tiene una resistencia superior a 3,5 kg/cm² se considera que el suelo estabilizado es adecuado para sub-bases y si es mayor a 7 kg/cm² es adecuado para bases, sin olvidar que también deben cumplir con los requisitos de granulometría, sin embargo este método no toma en cuenta la acidez del suelo, tipo de materiales, acción puzolánica, etc., etc., factores que influyen en forma decisiva en la respuesta a la estabilización sobre todo a largo plazo según se ha visto.

Para evaluar la efectividad de la estabilización se utilizan diversos procedimientos como son: refracción de rayos x, espectrometría con rayos infrarrojos, microscopio electrónico y análisis químico (método de titulación), debe así también cerciorarse que el material estabilizado cumpla con los fines que se persigue como, trabajabilidad, susceptibilidad al desgaste o abrasión, resistencias a las deformaciones permanentes y un V.R.S. del 80% como mínimo en bases.

Ejemplo : Se tiene un suelo con I.P.=39% y 55% de finos ¿Qué cantidad de cal se debe agregar?, para determinar en que capa se va a colocar este material.

Solución: Se entra con el I.P. en la parte superior de la fig. f).6.1 se traza una línea paralela a la familia de curvas, la cual deberá intersectarse con el porcentaje de finos, en el punto de intersección se traza una vertical hasta intersectar las abscisas en la parte superior, se determina el porcentaje de cal(en peso) efectuando una interpolación entre las curvas en que se localice esta última intersección siendo en este caso el 4.25%; se adiciona la cal al suelo para fabricar los 3 especímenes, compactados a la humedad óptima y someterlos a compresión simple.

Para resultados temporales se puede emplear la mitad del porcentaje determinado, los términos de perdurable y temporal deberán estudiarse en base a pruebas adecuadas.

Para su verificación del contenido de cal se puede utilizar el "método de titulación" que se basa en la neutralización de la cal contenida en el suelo mediante la a

dición de ácido clorhídrico, tal como lo pide la S.C.T.

Procedimiento constructivo

- Se deberá usar cal hidratada que cumpla con las especificaciones de cal pura con más del 90% de hidroxidos de calcio o magnesio y que más del 85% pase la malla N^o 200.
- La estabilización deberá realizarse por capas con un espesor igual o menor a 15cms.
- El material arcilloso debe tener una adecuada disgregación cuidando que no contenga turba, materia orgánica, ni raíces o agregados mayores a 7.5 cms.
- Adición de cal hidratada; se agrega la cal dosificándola con respecto al peso del suelo y se extiende en forma uniforme, ya sea en seco o en forma de lechada, si se emplea cal en seco se deberá rociar un poco de agua para evitar que el aire remueva parte de la cal, si se coloca en bolsas deberá distribuirse con rastras antes de iniciar el mezclado, nunca usar motoconformadora para distribuir la cal. Si se utiliza en lechada el equipo será autorizado por el residente, y deberá contar con un agitador para evitar el asentamiento en el camión, para esta distribución se pueden utilizar camiones pipas o distribuidores de asfalto.
- Mezclado y humedecimiento iniciales; es para distribuir la cal en forma uniforme y disgregar hasta tamaños menores a 5 cms.. El equipo necesario puede consistir en mezcladoras rotatorias o arados de disco, un carro tanque y un rodillo neumático ligero para efectuar una ligera compactación antes del curado inicial con el objeto de minimizar las pérdidas por evaporación y la carbonatación de la cal, o bien prevenir un humedecimiento excesivo debido a lluvias.
- Mezclado final y disgregación. Deberá nuevamente efectuarse el mezclado y la disgregación hasta que los grumos pasen por la malla de 1" y cuando menos el 60% pase la malla N^o 24 (excepto las partículas sólidas de suelo).
- Compactación; podrá efectuarse después del mezclado final y en ningún caso después de una semana. Las capas serán de 15 cms. como máximo y se hará con rodillos neumáticos pesados o rodillos vibratorios, o una combinación de ligero y patada de cabra.
- Curado final; por lo general es de 3 a 7 días, pero en el último de los casos el ing. decidirá el lapso de tiempo.

II.- Con cemento; es evidente que cuando un material o la mezcla de varios de ellos no se logra una estabilidad mecánica adecuada y que su resistencia sea baja o bien que fácilmente se afecta por los cambios de humedad, y sea necesario formular un proyecto tomando en cuenta los materiales de mala calidad, existen muchas técnicas y productos para realizar la estabilización, sin embargo se considera que el cemento es uno de los más comunes.

La técnica de la estabilización involucra una buena disgregación del suelo, especialmente en las arcillas que contengan sílice y alúmina solubles y con pequeñas cantidades de cemento del orden del 2 a 3% pueden modificar las propiedades de un suelo, mientras que cantidades del orden del 5 al 6% pueden originar que un suelo cambie radicalmente sus propiedades. La estabilización se logra debido a que la cal del cemento y las arcillas reaccionan con la hidratación y puede dividirse en dos fases que son:

- a).- Una reacción rápida inicial del tipo iónico y de floculación.
- b).- Una reacción de carbonatación, puzolánicas y aparición de nuevos compuestos minerales de la siguiente forma; La adición de cal ocasiona una elevación instantánea del "PH" del agua de remoldeo, debido a la solución y disociación del Ca(OH)_2 . Este PH tan alto incrementa la solubilidad de la sílice y la alúmina hidratados formando gradualmente materiales cementantes.

II.1.- Comentarios para arcillas

- + Se debe determinar la presencia o ausencia de sulfatos en las arcillas, ya que solo basta cantidades muy pequeñas de iones-sulfato para que sea inadecuada una estabilización, porque tanto la materia orgánica como los sulfatos retardan la hidratación normal, sin embargo tampoco está definido que porcentaje máximo se podría aceptar. En estos casos no es recomendable los cementos Portland tipo V ya que de nada sirven, entonces se recomienda usar cemento tipo normal con período de curado hasta de 7 días.
- + En el caso de la estabilización con cemento portland se deben tener las mismas tendencias que en el caso de concretos, en lo que se refiere a; incremento de la resistencia con el tiempo, temperatura y efectos de curado, homogenización de la mezcla, tiempo de compactación (por ningún motivo, el lapso transcurrido entre el mezclado del cemento con agua y el final de la compactación debe exceder a 2 horas).
- + El suelo tratado con cemento no debe tener partículas de más de 8 cms. o de 1/3 del espesor de la capa tratada, además que no contenga más de un 50% del material que pasa por la malla N° 200 y que su L.L. no sea mayor a 50%, ni que su I.P. pase de un 18%.
- + Cuando se prueba una mezcla de suelo, cemento a la compresión simple ésta no debe pasar de 55kg/cm², para que tenga un buen comportamiento como pavimento de tipo flexible, es por eso que los tramos hechos con este sistema son abiertos al tránsito rápidamente, para producir fragmentación.

II.2.- Comentarios para gravas, arenas y limos

- + En gravas limpias bien graduadas o en roca triturada, puede ser que la estabilización no sea necesaria sino que hasta crear problemas de agrietamiento.
- + Para gravas uniformes puede requerirse grandes volúmenes de cemento para llenar huecos y lograr una estabilidad efectiva.
- + Para rocas trituradas con granulometría bien graduada con una pequeña cantidad de cemento puede facilitar la compactación y dependiendo del porcentaje de cemento agregado incrementar la resistencia.
- + Las arenas han manifestado una magnífica respuesta a la estabilización con cemento.
- + Cuando se tengan gravas, arenas o limos y tengan mineral arcilloso se tomará en cuenta que reaccionarán todos a la vez.
- + Para el agregado de agua solo se debe tener en cuenta que no contenga minerales que bajen su hidratación normal, como el ácido fosfórico.

Diseño de la estabilización

La estabilización se debe hacer para aprovechar los materiales locales, especialmente los granulares que son utilizados en las bases y que sea cara su obtención. Ya que la función primordial de un suelo estabilizado es de servir como base y capa de rodamiento. Es conveniente que el ingeniero se apoye en un estudio previo realizado por un químico o un técnico, que proporcione a priori una idea de la posible respuesta del suelo a la estabilización. El análisis químico deduce resultados como: una pobre reactividad del suelo o aún más un posible ataque del suelo al propio cemento, que podría ser una posibilidad para desechar el empleo del cemento. Sin embargo, este mismo especialista puede indicar al ingeniero algunas posibilidades de éxito mediante la inclusión por ejemplo, de un aditivo secundario, como el caso de un suelo muy ácido que podría ser neutralizado en primer término con cal viva CaO [del 1 al 2%] para neutralizar su acidez y posteriormente adicionar cemento, para dar resistencia al suelo. Una vez contando con la ayuda del especialista, se puede proceder a la ejecución de pruebas de tipo geotécnico como son; las de clasificación, compresión simple, intemperismo, desgaste, etc.. Uno de los objetivos buscados en el tratamiento con cemento es el de reducir la deformabilidad de la estructura del pavimento y por ende la deflexión producida; el valor de la deflexión, depende para una "base tratada" con cemento y un cierto espesor, de su rigidez; es decir del módulo de deformación, es importante tomarlo en cuenta como criterio en el contenido adecuado de cemento, otro factor es el efecto de fatiga, que es uno de los principales problemas con los que el ingeniero proyectista se puede enfrentar, para este caso se recomienda las pruebas de compresión simple, ya que las de tensión y fatiga están en evolución.

La estabilización se basa en los procedimientos establecidos tanto para la ejecución de las pruebas de laboratorio como la manipulación de los resultados obtenidos, siendo uno de los más empleados el recomendado por [PCA] Portland cement Association y los establecidos por la [ASMT] American Society for Testing and Materials, y la [ASSHTO] American Association of State Highway Transportation Officials, estos procedimientos han sido publicados a detalle por el [IMCYC] Instituto Mexicano del cemento y el Concreto, que están basados en las siguientes pruebas, "durabilidad" y compresión simple. A continuación describiremos a grandes rasgos estas pruebas.

- a).-Humedecimiento y secado; reproducen en el laboratorio los fenómenos originados por los cambios de humedad en el suelo, para tomar en cuenta primordialmente las fuerzas de contracción, y consiste en lo siguiente: se saturan los especímenes mediante la inmersión en agua durante 5 horas, se colocan al horno a 71°C durante 42 horas, se sacan del horno y se someten a una acción de raspado con un cepillo de alambre, se dan dos pasadas por cada punto de aplicación con una presión de 1.36 kg. sobre el cepillo. Se repite todo el procedimiento durante 12 ciclos, al final de los cuales se secan los especímenes en un horno a 100°C y se determinan sus pesos secos haciendo corrección por agua de hidratación. La pérdida en peso de los especímenes expresada como un porcentaje del peso inicial es lo que se conoce como "pérdida de suelo cemento", que será máxima del 14% para suelos friccionantes puros y del 7% para suelos plásticos con un incremento de volumen no más del 2%.
- b).-Congelamiento y deshielo; fue diseñada para las fuerzas de expansión internas, producidas por la humedad en suelos finos, que en el laboratorio se simulan por congelación: Es de poco significado en México y se realiza como sigue, después de 7 días de curado se colocan los especímenes en un refrigerador y se mantiene ahí durante 23 horas en un cuarto húmedo a 21°C y una humedad relativa de 100%. Se sacan los especímenes del cuarto húmedo y se cepillan en la misma forma indicada para el caso de humedecimiento y secado calculando las pérdidas de suelo cemento en la misma forma. Estas pruebas de "durabilidad" tienen como objeto determinar los contenidos de cemento mínimo para producir un material estructural que resista los cambios volumétricos provocados por los cambios de humedad en cualquier clima.
- c).-Prueba de compresión simple; se utiliza para comparar los incrementos de resistencia debidos al tiempo y para ver que el suelo no este interfiriendo en la hidratación del cemento. Por regla general los tiempos de curado son a 3, 7 y 28 días con proporciones de cemento que varían de 4 a 14%. La velocidad de la carga es de 1.4 kg./cm² por segundo, en términos generales se ha considerado que al obtener una resistencia de 7 a 21 kg./cm² el suelo-cemento es adecuado para bases.

Método de diseño de la PCA

En términos generales este método se puede ver en la estructura de la figura f).6, en donde se hace necesario estimar la importancia relativa de la obra en la que intervendrá el suelo-cemento y en base a esto se seleccionan los métodos de muestreo, preparación y clasificación de los suelos. Después basándose en lo anterior, se elige el tipo de pruebas que deben efectuarse para la determinación de la proporción más adecuada de cemento. La PCA muestra y describe 4 procedimientos generales para el proyecto de la mezcla de un suelo con cemento, según se indica en la fig.f).6 y que se describen a continuación:

1.- Corto: Ha sido desarrollado para determinar el contenido de cemento adecuado para suelos arenosos. Se basa en la ejecución de pruebas de granulometría, compactación y resistencia a la compresión simple a 7 días y tiene 2 variantes.

a).- Para suelos que no contienen material mayor a 4.78 mm. (retenido en la malla N°4) y no debe efectuarse cuando el suelo contenga más del 50% de material menor a 0.05 mm., ni en el caso de suelos orgánicos, tampoco en cenizas, caliches, carbones, cretas, margas, etc. Para encontrar la proporción de cemento se hace lo siguiente: se determina la granulometría y el P.V.S.M. - Proctor estándar (ASSHTO estándar), con base a los resultados obtenidos y con la ayuda de la figura f).7 se determina el porcentaje de cemento que se debe adicionar para la fabricación de 3 especímenes que se deberán compactar al 100% Proctor estándar y con la hume-

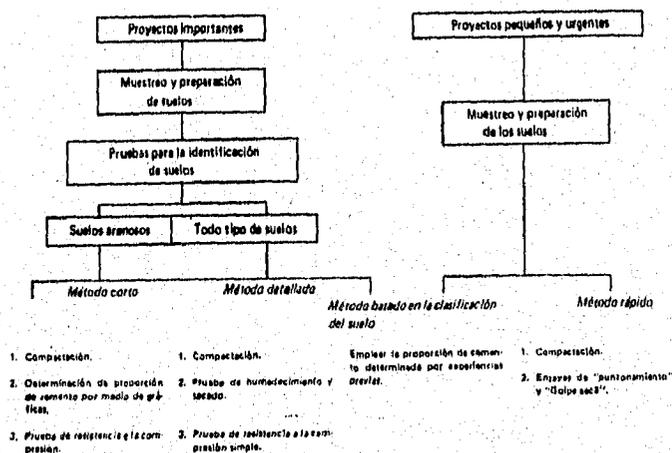


fig. f).6 Método de la PCA para el proyecto de mezclas de suelo con cemento

Fig. 11.13 Porcentaje de cemento a probar inicialmente en los diferentes tipos de suelos

Suelo	Porcentaje de cemento, en peso, usualmente requerido por la capa terminada	Porcentaje de cemento en peso a usar inicialmente en pruebas de resistencia	Porcentaje de cemento en peso a usar inicialmente en pruebas de deformación
GW, GP, GM y SW	5-8	5-6	3-7
SC, GC	5-9	7	5-9
SP, SM	7-11	9	7-11
ML	7-12	10	8-12
CL, OL, MH	8-13	10	8-12
CH	9-15	12	10-14
OH, PI	10-16	13	11-15

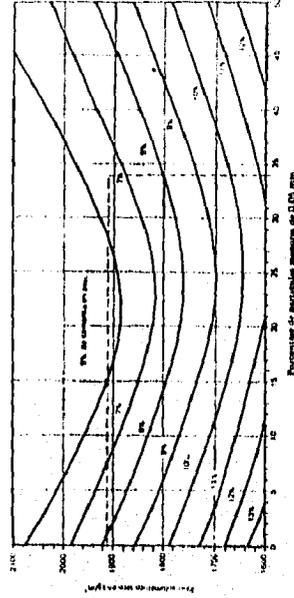
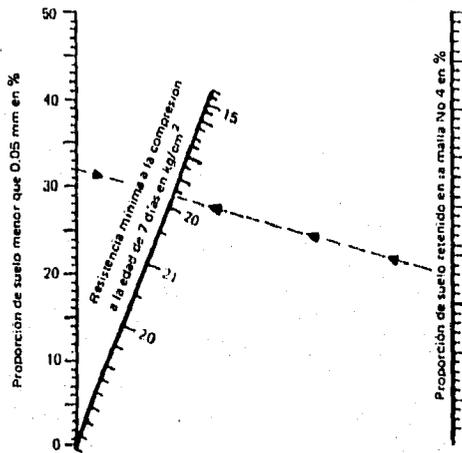
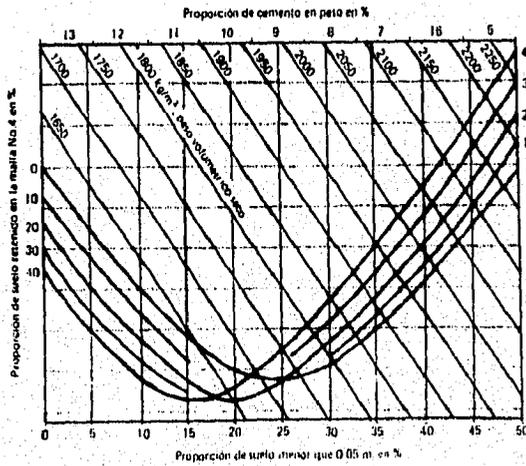
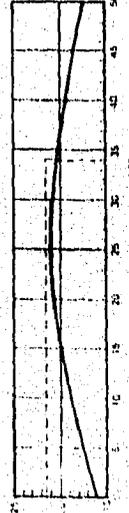


Fig. f).7 Proportión de cemento requerida para sustituciones de suelo que son retenidas en la malla No. 4

f).9 Resistencia mínima a la compresión simple a la edad de 7 días, requerida por las mezclas de suelo cemento que contienen material retenido en la malla No. 4



Resistencia mínima a la compresión simple a la edad de 7 días, en kg/cm²



f).7.1 Resistencia mínima a la compresión simple a la edad de 7 días requerida por las mezclas de suelo con cemento que son retenidas en la malla No. 4

f).8 Proportión de cemento adecuada para mezclas con suelos que contienen material retenido en la malla No. 4

dad óptima. Estos especímenes se curan durante 7 días al cabo de los cuales se le determina su resistencia a la compresión simple, la cual deberá ser mayor a la obtenida en la figura f).7.1, en caso de que la resistencia obtenida sea menor a la indicada, se recomienda la ejecución de pruebas más detalladas de ciclos de humedecimiento y secado, o congelamiento y deshielo.

b).- Para suelos que contienen material mayor de 4.75mm. primero se hace la determinación de la granulometría y el P.V.S.M. próctor estándar, con los datos obtenidos se entra a la fig.f).8 para determinar el contenido de cemento que deberá emplearse, en peso para la fabricación de 3 especímenes compactados al 100% próctor estándar y con humedad óptima. Se someten a 7 días de curado en húmedo y se prueban a compresión simple debiendo ser el promedio de las resistencias mayor a la mínima estimada mediante la ayuda de la figura f).9, en caso de ser menores se recomienda las pruebas de ciclos de congelamiento y deshielo o humedecimiento y secado.

2.- Método " detallado "; requiere en primer término de la determinación del P.V.S.M. próctor estándar y humedades en especímenes con diferentes contenidos de cemento - del 4 al 14% en peso, posteriormente se curan a 37, y 28 días y son sometidos ya sea a ciclos de congelamiento y deshielo, humedecimiento y secado o resistencia a la compresión simple con carga de aplicación de 1.4kg/cm por segundo.

3.- Método rápido; ha sido utilizado con éxito para construcciones de emergencia y obras de poca importancia, en donde no resulta práctico ejecutar más pruebas detalladas. Se elaboran especímenes compactados a la humedad próctor y P.V.S.M. con un rango del 8 al 20% de contenido de cemento. Después de uno o dos días de curado se inspecciona a estos picándolos con un punzón o picahielo, si no se puede penetrar al espécimen enmas de 6mm, y además se golpea a éste contra una superficie rígida como el concreto, y se nota su resistencia entonces se considera que el contenido de cemento es adecuado. Aún en el caso que una persona sin experiencia en este tipo de pruebas puede diferenciar con facilidad los casos satisfactorios o no y seleccionar el contenido de cemento.

4.- Por clasificación de suelo; consiste en agrupar a los suelos por zonas de acuerdo con características semejantes y clasificación previa. Una forma es identificando al tipo de suelo y ayudándonos con la tabla f).10 como una guía para la elección -

de esos primeros porcentajes, para la elaboración -
de especímenes que se ensayarán en pruebas antes -
mencionadas para obtener tres aspectos fundamenta -
les que son:

- * Cantidad de cemento necesario para el -
suelo.
- * Cantidad de agua que se deberá agregar.
- * El P.V. a que deberá compactarse según -
los requerimientos.

Control de la dosificación

Los métodos empleados para el control de la dosificación del -
suelo-cemento son muy variados pudiéndose citar entre otros:

- 1.- Métodos químicos.
 - a).- Método Varsene
 - b).- Método ASTM 806-57
 - c).- Método California
- 2.- M. de conductividad eléctrica.
- 3.- M. del fotómetro de la flama.
- 4.- M. termométrico.

Describiremos el método California que se basa en la aplicación -
de pruebas de "titulación", ya que es lo que nos pide el cap.III.
Consiste en neutralizar una solución ácida por una solución bási -
ca o viceversa. Se adiciona mediante goteo, una solución a la o -
tra, hasta que se ponga de manifiesto la total neutralización, que
se logra observando el cambio de color en la sustancia neutraliza -
da, gracias a la previa adición de un indicador.

Pasos del proceso constructivo

- | | |
|--|----------------------------|
| 1.- Para mezclas en el lugar | 2.- Mezcla en planta |
| * conformación del terreno | * elaboración de la mezcla |
| * escarificación " | * acarreo |
| * pulverización " | * tendido y afinado |
| * prehumedecimiento si es -
necesario | * compactación |
| * conformación del suelo a
tratar. (extender) | * curado |
| * aplicación del cemento | |
| * aplicación del agua | |
| * mezclado | |
| * tendido y afinado | |
| * compactación | |
| * curado | |

III.- Con productos asfálticos; el asfalto proviene del petróleo crudo y está constituido por hidrocarburos (compuestos de carbono e hidrogeno) éstos con algunos átomos de oxígeno, nitrógeno y azufre. Es un material pegajoso lo que hace que el suelo se adhiera al agregado pétreo, es impermeable y además resistente a la mayoría de los ácidos, álcalis y sales, es de color negro semisólido, altamente viscoso y se puede fluidificar calentándolo para dar origen a los cementos, agregarles solventes para producir los asfaltos rebajados, o emulsificar en agua obteniendo las emulsiones asfálticas. En base a esto tenemos lo siguiente.

a).-Los cementos asfálticos: sus características más importantes son la "consistencia", término utilizado para describir el grado de fluidez o plasticidad a cualquier temperatura en particular; y "la pureza", pues si dicho producto contiene partículas sólidas a la temperatura de aplicación, éstas taparán espesas o conductos. La presencia de agua en un cemento asfáltico a altas temperaturas provocará que hierva, esto hace que se debe tener cuidado cuando se encuentran calientes, ya que si se les acerca una flama o chispa podría provocar su encendido. Los cementos asfálticos se fabrican en México con diferentes grados de penetración como; CA-3, CA-6, CA-7, CA-8 al cual a la temperatura ambiente difícilmente se le puede encajar una uña, mas sin embargo ningún cemento es recomendable para la estabilización de suelos, porque la mezcla debe ser en "caliente" y es cara su aplicación.

b).-Asfaltos rebajados: se obtienen disolviendo el asfalto con diferentes solventes como la gasolina para producir FR, con petróleo para obtener FM y diesel para lograr FL. Estando el asfalto disuelto, se le mezcla con los agregados y al evaporarse los solventes el residuo se adhiere a las partículas de suelo cementándolas y designándolas como mezclas en "frio" o en el "lugar".

c).-Emulsiones asfálticas: otra forma para fluidificar a un cemento asfáltico, consiste en separarlo mecánicamente y en caliente hasta obtener pequeños glóbulos, a los cuales se les dispersa en agua caliente hasta obtener una emulsión asfáltica y dependiendo del tipo de emulsión catiónica (es cuando los glóbulos son atraídos por el cátodo y están cargados positivamente), o aniónica (con carga electronegativa) se les identifica como sigue;

velocidad de rompimiento	aniónicas		catiónicas	
Rápido	RR-1	RR-2	RR-2K	RR-3K
medio		RR-2	RM-2K	RM-3K
lento	RL-1	RL-2	RL-2K	RL-3K

La emulsión RR-1 difiere de la RR-2 en que esta última, contiene un poco más de cemento asfáltico y es más viscosa que la otra. La RL-2 contiene un CA más duro que la RL-1.

La RR-3 es más viscosa y contiene un poco más de residuo asfáltico que la RR-2K y la RM-3K y difiere en que la primera contiene menor cantidad de residuo asfáltico, aunque sea mínima la diferencia. Finalmente la emulsión RL-3K difiere de la RL-2K en que esta última contiene un residuo menos duro que la primera.

La forma y velocidad de rompimiento dependen de la cantidad y tipo de emulsificantes empleados y consiste en lo siguiente: Debido a que las partículas de un cemento asfáltico en una emulsión tienen cargas semejantes, éstas se repelen unas a otras hasta que la emulsión es depositada en el suelo o agregado. En este momento, los glóbulos asfálticos coalescen o se unen, ya sea debido a efectos eléctricos o a la evaporación del agua que constituye la fase continua.

El empleo de emulsiones está sujeto al "tipo de agregados" que se utilizan en la mezcla asfáltica. Para determinar el tipo de emulsión que se va a utilizar, se toma en cuenta la cantidad de sílice y de óxidos alcalinos que contengan los agregados; así tenemos que las emulsiones catiónicas resultan adecuadas para materiales con más sílice como cuarcitas, pedernal, areniscas y granitos. Las aniónicas resultan adecuadas para calizas, mármoles, sascab, basalto es decir para materiales alcalinos.

Diseño de la estabilización

La estabilización con productos asfálticos ha sido uno de los métodos más usuales para mejorar la calidad en bases y sub-bases de pavimentos, con el objeto de mejorar sus cualidades cementantes y de impermeabilización y lo podemos describir como sigue:

- 1.- Cementación; es para materiales no cohesivos (gravas, arenas) o con pocos finos (limos), en los que la acción cementante juega un papel importante.
- 2.- Impermeabilización; se aplica a suelos cohesivos, para protegerlos de la humedad y no produzcan cambios en su estabilidad, conservándolos lo más seco que se puedan en el estado que fueron compactados, o bien en el estado que se encuentran en la naturaleza.
 - a).- Para materiales no cohesivos
 - *arenas Para la estabilización se puede emplear arena de río, playa, de duna o otro siempre y cuando no tenga grumos de arcilla, materia vegetal o orgánica, con un porcentaje de finos del 5 al 12% que pasa la malla N°200 y un L.P. menor al 6%.

Entre los productos asfálticos más adecuados para la estabilización de arenas está el CA N°26 cuya aplicación se requiere efectuar el mezclado y tendido en caliente, el cual es muy caro y solo se recomienda usar en casos muy, pero muy especiales.

Los tipos FR-1, FR-2, FR-3 han sido más aceptados porque solucionan la rapidez del fraguado. Si se emplea CA en una mezcla se recomienda analizar la estabilidad de ésta con una prueba "Hubbard Field". Si se utilizan asfaltos rebajados, se emplea la prueba "Hubbard Field Modificada" y cuando se utilice una emulsión se emplea la prueba "Valor de Soporte Florida Modificado".

****gravas** Para este caso se busca cohesión e impermeabilidad aunque a veces redunde en altos costos y para el diseño pueden citarse los siguientes métodos "Hveem" y el de compresión simple.

b).- Estabilización de suelos finos poco cohesivos

Es para materiales como arcillas arenosas o de baja plasticidad con un LL menor a 30% y LP menor a 12%, que generalmente es necesario humedecer previamente a estos materiales, con el objeto de lograr romper más fácilmente el disgregado del suelo y una mejor distribución del producto asfáltico.

Los productos asfálticos más adecuados son los asfaltos rebajados como; FM y FR. Las emulsiones más adecuadas son las de rompimiento lento, para el diseño el método más satisfactorio es el propuesto por ASTM D915-45 T que consiste en lo siguiente, y se hace en dos grupos.

- 1.- Cuando la mezcla es con un rebajado, se fabrican los especímenes posteriormente antes de probarlos pueden ser o no sometidos a un periodo de fraguado.
- 2.- Si se usa emulsión, se efectúa la homogenización de la emulsión y el suelo permitiendo la evaporación del agua antes de fabricar los especímenes. Una vez preparados éstos, se les somete a una evaporación adicional para que pierdan del 30 al 90% de su humedad.

En ambos casos, la mitad de los especímenes que se elaboran se someten a procesos de absorción de agua y expansión durante 7 días, después se les somete tanto a los especímenes saturados como a los no a la prueba "Hubbard Field Modificada" (HFM).

Estos suelos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Carga de penetración "HPM" mínima de 450 kg en especímenes saturados.
- Carga de penetración mínima "HPM" de 180 kg en especímenes no saturados.
- Máxima absorción de agua 7%
- Máxima expansión de saturación 5%

Una vez mencionado la división de la impermeabilización mencionaremos las teorías que han sido expuestas para explicar los mecanismos de la estabilización propuestas por Endersby y son dos:

- a).- Por mezcla íntima; es cuando el asfalto se mezcla con materiales granulares cubriendo sus partículas y funciona como cementante e impermeabilizante.
- b).- Taponamiento; funciona con suelos que contienen poca arcilla, el asfalto cubre a los grumos y actúa como impermeabilizante al taponar los vacíos admitiendo una baja cementación.

Es frecuente que los suelos no tengan afinidad con el producto asfáltico, en estos casos se utilizan aditivos secundarios que sirven para la pulverización o cambiar las propiedades eléctricas de la superficie de las partículas. Entre los que no requieren empleo de aditivos, están los que contienen grandes cantidades de carbonatos y óxidos (calizas y basaltos), los que si requieren son los que tienen altos contenidos de sílice como las riolitas, granitos y arenas, estas últimas con frecuencia se les agrega "filler" (polvo fino de roca, limos inertes, cemento-portland o cal) cuya finalidad es mejorar la estabilidad en los suelos arenosos que carecen de finos, o bien que sus partículas sean redondeadas o de textura lisa. Existe un contenido óptimo de finos para el cual se obtiene la máxima estabilidad y éste depende del tipo de material asfáltico empleado así como de la arena en cuestión.

Un aspecto importante es la temperatura en la mezcla que se va a utilizar cuanto mayor sea la resistencia ésta es menor, otro aspecto importante es el comportamiento elástico que muestran los suelos estabilizados con asfalto en el laboratorio y su tradición en el caso real, esto se puede explicar como sigue, ya que se sabe que al cabo de un cierto período o un número de aplicaciones de carga sobre una mezcla asfáltica producen deformaciones de carácter permanente en adición a las transitorias o elásticas. Al producirse estas deformaciones, las partículas sólidas del suelo se desplazan y cambian de orientación, mientras que los materiales fluidos (asfalto, solventes, agua) sufren deformaciones plásticas y probablemente rupturas.

Proceso constructivo

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> a).- Mezclado en el lugar -conformación y limpia del terreno -impregnación de la superficie expuesta con un producto adecuado como FM. -acamellonamiento del suelo. -secar o humedecer el material según se requiera y extenderlo. -aplicación de una tercera parte del producto asfáltico. -mezclado parcial. -aplicación del resto del producto asfáltico en dos operaciones aplicando 1/3 cada vez. -homogenización y tendido. -compactación. | <ul style="list-style-type: none"> b).- Mezclado con planta móvil -conformación y limpia del terreno. -recojimiento del material y aplicación del producto asfáltico, mezclándolo para lograr la homogenización deseada. -tendido de la mezcla. -compactación. |
|---|---|

IV.4.-Pasos a seguir para la estabilización

- 1.- Hagase las pruebas necesarias para conocer la granulometría y la plasticidad de los finos, como lo indica la figura IX.2.
- 2.- Ver que tipo de estabilización necesita, si es con asfalto- ver tablas IX.6, IX.7, para seleccionar el tipo de mezcla.
- 3.- "Mezcla en frio" o "es en caliente".
 - a).- Si es en caliente: tomar en cuenta el índice de temperatura para seleccionar el grado de penetración - con la tabla IX.8 y tomar el porcentaje de la tabla IX.9, que es un contenido preliminar de asfalto, para efectuar pruebas de tipo Marshall con el fin de obtener "el contenido óptimo de asfalto" de acuerdo con la tabla IX.10.
 - b).- Si se usan asfaltos rebajados, se puede utilizar la figura IX.5 para seleccionar el tipo y la temperatura a la que se vaya a usar el mezclado y para determinar la proporción de asfalto se puede determinar con la ecuación siguiente:
$$P=0.02(a)+0.07(b)+0.15(c)+0.20(d)$$
 en donde
P=Al porcentaje de producto asfáltico con respecto al peso seco del agregado.
a=Al porcentaje del agregado retenido en la malla N° 50
b=Al porcentaje del agregado retenido en la malla N° 100 y que pasa la N°50.
c=Al porcentaje del agregado retenido en la malla N° 200 y que pasa la N°100.
d=Al porcentaje del agregado que pasa la malla N°200
Con este porcentaje se elaborarán especímenes, los cuales se les aplicará la prueba Marshall el contenido óptimo de asfalto. *
 - c).- Si es emulsión asfáltica, se consulta la figura IX.6 para determinar el tipo de emulsión, aniónica o catiónica dependiendo de su clasificación petrográfica del agregado, de su contenido de álcalis o de sílice posteriormente, se obtiene el grado de rompimiento con la tabla IX.11 tomando en cuenta el porcentaje de finos que pasa la malla N°200 y para determinar el porcentaje preliminar se utiliza la tabla IX.12, para fabricar especímenes que se probarán de acuerdo con la prueba Marshall. Los resultados obtenidos servirán para seleccionar el contenido óptimo de asfalto de acuerdo con lo indicado en la tabla IX.13. *

* Una vez que se ha tomado el porcentaje recomendado se aconseja elaborar tres especímenes uno con porcentaje mayor y otro con menor, para que despues se tome el contenido óptimo de asfalto según la tabla indicada.

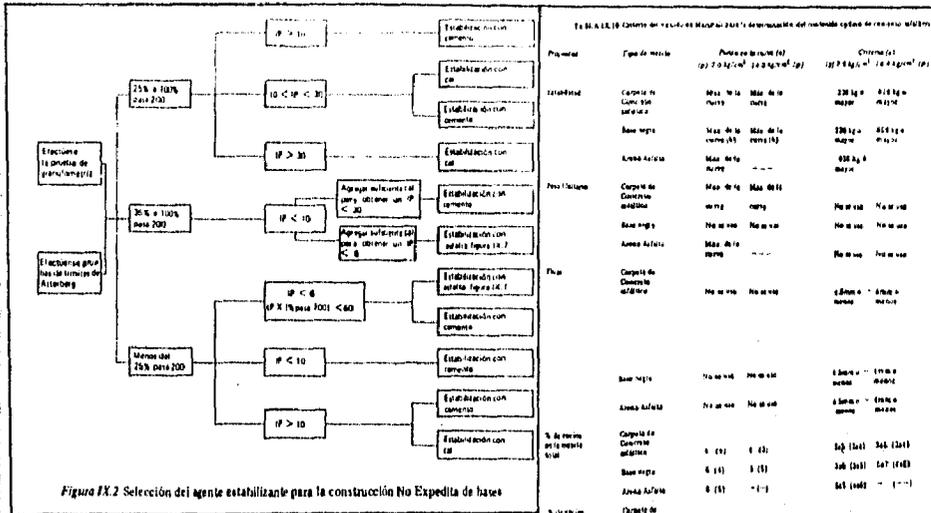


Figura IX.2 Selección del agente estabilizante para la construcción No Expuesta de bases

TABLA IX.6 Selección del tipo adecuado de asfalto con fines de estabilización

Mezcla	Arena-Asfalto	Suelo-Asfáltico	Asfalto con grava triturada o grava Arena-Asfalto
Caliente	<p>• Cementos asfálticos: 60 a 70 clima caliente 85 a 100</p> <p>120 a 160 clima frío</p>	<p>Asfaltos rebajados (Ver figura IX.6)</p> <p>Emulsiones (Ver tabla IX.11 y figura IX.6 y IX.7, para seleccionar el tipo de emulsión)</p>	<p>• Cementos asfálticos: 45 a 50 clima caliente 60 a 70</p> <p>85 a 100 clima frío</p> <p>Asfaltos rebajados (Ver figura IX.5)</p> <p>Emulsiones (Ver tabla IX.11 y figura IX.6 y IX.7, para seleccionar el tipo de emulsión)</p>

(1) Este tipo de pavimento deberá ser formado en condiciones óptimas de humedad y compactación. El espesor del pavimento deberá ser el adecuado para el tipo de tráfico que se espera. (2) El tipo de emulsión de asfalto que se use deberá ser el adecuado para el tipo de tráfico que se espera. (3) El tipo de emulsión de asfalto que se use deberá ser el adecuado para el tipo de tráfico que se espera.

TABLA IX.7 Propiedades granulométricas de los materiales seleccionados para la estabilización con productos asfálticos

Propiedad granulométrica (% de masa)	Arena-Asfalto	Suelo-Asfalto	Grava-Asfalto
1 1/2"			100
3/8"	100		60 a 100
Nº 4	50 a 100	60 a 100	20 a 100
Nº 10	50 a 100	30 a 100	10 a 10
Nº 40			0 a 10
Nº 100			0 a 10
Nº 200	5 a 12	Menos de 5 a 10	0 a 12
	Regular	0 a 10 y 20 a 10	0 a 12
	Mala	> 10	
	Buena	< 20	
	Regular	20 a 30	
	Mala	30 a 10	
	Buena	> 40	
	Regular	< 5	
	Mala	0 a 8	
	Buena	8 a 12	< 10
	Regular	> 12	

* Los números se refieren al grado de penetración del cemento asfáltico

TABLA IX.8 Determinación del grado de humedad del suelo para la estabilización de bases

Índice de humedad del suelo (porcentaje)	Clase del suelo (porcentaje de agua)
Regular	100 a 100
0 a 10	85 a 100
10 a 100	60 a 10
100 a más	10 a 10

(1) Se debe medir el porcentaje de agua de los materiales a penetrar a 25° C. Si los materiales no se pueden penetrar a esta temperatura, se debe penetrar a una temperatura superior. Cuando se use un método de penetración que no sea el método de penetración a 25° C, se debe usar un factor de conversión. Cuando se use un método de penetración que no sea el método de penetración a 25° C, se debe usar un factor de conversión. Cuando se use un método de penetración que no sea el método de penetración a 25° C, se debe usar un factor de conversión.

TABLA IX.9 Selección de tipos de cemento asfáltico y emulsiones para la estabilización de bases

Forma de agregado y tamaño superior	Porcentaje de cemento asfáltico con respecto al peso seco de la mezcla
Asfalto tipo 1	1
Asfalto tipo 2	2
Asfalto tipo 3	3

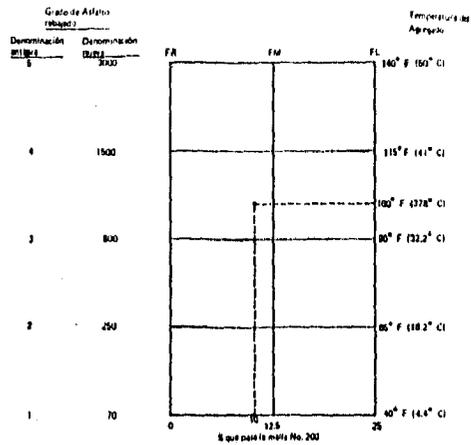


Figura IX.1 Selección del tipo de asfalto rebajado para la estabilización (Fuente AASHTO, E.U.A.).

TABLE IX.11 Selección del tipo de emulsión asfáltica para estabilización

Porcentaje que pasa la malla No. 200	Contenido de agua en el asfalto	
	Humido (5% a más)	Seco (0 a 5%)
0 a 5	RL-2 (o RL-1K)	RM-2K (o RL-2) (a)
5 a 15	RL-1, RL-2 (o RL-2K, RL-3K)	RM-2K (o RL-2, RL-1) (a)
15 a 25	RL-1, (o RL-2K)	RM-2K

NOTA: Determinar el tipo de tipo de emulsión asfáltica a utilizar.
(a) Deben utilizarse emulsiones asfálticas con un contenido de agua en el asfalto de 5% a 10%.

TABLE IX.12 Contenido de emulsión asfáltica

% que pasa la malla No. 200	% de emulsión asfáltica requerido (porcentaje que pasa la malla No. 100)					
	50 a menos	60	70	80	90	100
2	62	65	67	70	72	75
4	65	65	70	72	75	77
6	67	70	72	75	77	79
8	70	72	75	77	79	82
10	72	75	77	79	81	84
12	75	77	79	81	84	86
14	77	79	81	84	86	88
16	79	81	84	86	88	90
18	81	84	86	88	90	92
20	83	86	88	90	92	94
22	85	88	90	92	94	96
24	87	90	92	94	96	98
26	89	92	94	96	98	100
28	91	94	96	98	100	100
30	93	96	98	100	100	100

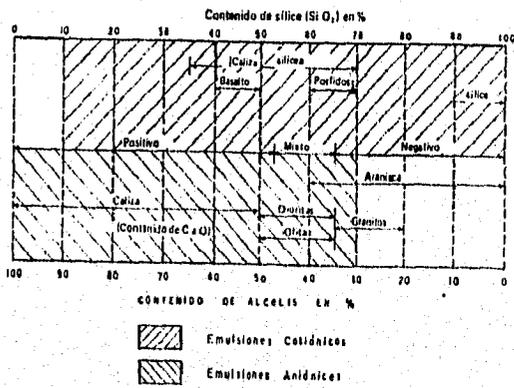


TABLE IX.13 Selección de tipo de emulsión asfáltica según el contenido de humedad para asfalto líquido

Humedad (MMA)	Selección con base en una temperatura de prueba de 70° F (21° C)	
	Humida	Secca
Estabilización	750 (10 Kgs)	
Flujo (0.01 pulg. (0.254 mm))	0.01" (0.254 mm)	0.10" (2.54 mm)
Viscosidad (0.1 pulg. (2.54 mm))	0.01" (0.254 mm)	0.10" (2.54 mm)

Capítulo V.- Descripción de los equipos empleados en estos tratamientos.

En las vías terrestres se utiliza material pétreo para formar un relleno sólido y dar estructura al pavimento, este material se hace de roca natural o de material granulado. Para producir estos agregados se utilizan cribas y trituradoras que a continuación describimos.

a).-Cribas: son alambres entretreídos formando una malla con abertura graduada y tienen dos funciones que son; separar el material más grande del más pequeño y clasificarlos. Los tres tipos básicos de cribas usadas para el procesamiento de agregados son:

1.-Cribas vibratorias inclinadas; tienen un plano inclinado para recibir el material y se da la vibración en dirección circular en torno a un eje perpendicular al plano de la criba por un eje impulsor. Esto hace que la criba lance al material para avanzar hacia abajo sobre el plano inclinado de la misma, los amortiguadores de hule sobre los que descansan son para aislar la vibración del bastidor que las soporta.

2.-Cribas horizontales mejoradas; es una versión moderna de la antigua criba de sacudimiento con efectividad mejorada, la cual se logra por el movimiento de mayor velocidad con carrera más corta, es semejante a la inclinada, pero necesita menos espacio sobre la máquina y como se mantiene en posición horizontal, no se usa esta criba para separación preliminar.

3.-Cribas giratorias; es en esencia un tambor grande de paredes perforadas que tiene la forma de un cilindro. El tambor gira lentamente sobre su eje longitudinal inclinado, el material se introduce por el extremo superior del cilindro, se mueve por el interior hasta que pasa por las aberturas de la pared o hacia afuera en el extremo inferior. La cantidad de material que manejan estas cribas depende de su inclinación y de su velocidad de rotación.

Para lograr un uso efectivo de las cribas es conveniente dedicar cuidadosa atención a su diseño, que generalmente dan los fabricantes experimentados y especifican la capacidad a esperar en toneladas por hora (TPH) por pie cuadrado de la área de la criba, sin embargo se deben considerar ciertos factores claves para determinar dicha área, como son: tamaño del material que se maneja y de su posición en la planta. A uno de dichos factores podría llamársele corrección de cubierta, una cubierta superior debe tener la capacidad que especifica el fabricante, pero en cada cubierta subsecuente se tendrá una reducción del 10%. Por ejemplo, la tercera cubierta en un conjunto tendrá el 80% de efectividad de la cubierta superior. El agua de lavado o agua de aspersion aumenta la efectividad de las cribas que tienen aberturas menores a 1", en efecto una cubierta con aspersion de agua y aberturas (3/16)" será tres veces más efectiva que la criba del mismo tamaño sin aspersion de agua.

Otro factor clave es el tamaño o graduación del material que llega a la criba. Así tenemos que la capacidad nominal de las cri-

bas que dan los fabricantes se basa generalmente en que el 40% del agregado que llega a la cubierta sea de menor tamaño que la mitad de la abertura de la criba, o que solo el 20 al 30% del material que llega sea demasiado grande.

b),-Trituradoras: procesan material provenientes de cantera, grava de río o de depósitos y escorias de altos hornos. Los agregados procesados se usan para recubrimientos de carretera, balasto para vías férreas y como filtros en drenajes o para tratamientos de aguas.

Los materiales procesados deben cumplir con ciertas pruebas como son: dureza, resistencia a la abrasión, densidad específica, forma y fractura de la partícula, humedad superficial y clasificación de acuerdo con su tamaño. Para las vías terrestres se requiere una piedra dura, durable, sin exceso de partículas planas, alargadas o blandas que no contengan suciedad y una granulometría bien controlada. En la actualidad existe una variedad de equipos para la producción de agregados y comprende los siguientes puntos

- 1.- Alimentadores y tolvas: sirven para recibir o pasar el material a otra etapa de procesamiento
- 2.- Trituradoras: son para reducir el tamaño del material y les llamaremos *primarias y **secundarias o de reducción.
- 3.- Transportadores y ruedas de cangilones: mueven y dirigen el material de una unidad a otra o a pilas de almacenamiento.
- 4.- Cribas: son para separar, clasificar y redirigir el material a las siguientes trituradoras, tolvas o pilas de almacenamiento.

*Las trituradoras primarias reducen material de 50 a 100cms a trozos cuyo tamaño varía hasta un centésimo del tamaño original, (en la práctica no puede ajustarse una trituradora a la céntesima parte en una sola pasada, pero si se puede lograr esto en varias pasadas), y pueden ser de quijada, giratorias, de impacto o de rodillo.

**Las trituradoras secundarias o de reducción procesan material de trituradoras primarias o bancos de grava que requieren mayor refinamiento en el tamaño y son; de dos o tres rodillos, de cono, giratorias o molino de martillos.

En cada trituradora hay un paso de reducción que es la diferencia de dimensiones entre el tamaño máximo de la roca que se alimenta y el tamaño que sale de ella. El tamaño máximo de salida será un poco mayor al del ajuste. Así si se alimenta roca de 6" con un ajuste de 2½" el paso de reducción será de 3½", siendo éste una característica de la trituradora para que no se traben.

Principios de la trituración de rocas

La trituración se realiza por lo menos con una o varias de las siguientes acciones: desgaste, presión o compresión, impacto y corte. Cada una de estas acciones se describirán brevemente.

- 1.-Desgaste; es la reducción producida por fricción, es más efectiva con material desmenuzable y no abrasivo (de bajo contenido de sílice). La acción de desgaste es muy útil cuando se desea material de finura máxima

- en todas las trituradoras se da este principio, -
pero en las giratorias se da más.
- 2.-La presión o compresión; esta acción es más notoria en las trituradoras de quijada y se debe usar cuando el material es duro, tenaz, abrasivo y cuando se requiere un mínimo de finos. No es útil ni recomendable para materiales pegajosos.
 - 3.-Impacto; es el golpe rápido y agudo producido por un martinete sobre un material, mismo que se rompe en trozos pequeños. El molino de martillos y la quebradora por impacto son ejemplos de esta acción. Es recomendable para material no abrasivo (con un contenido no mayor al 5% de sílice) y con un alto porcentaje de piedra blanda. Se recomienda cuando se desean partículas en forma de cubos bien graduados desde los mayores hasta los menores.
 - 4.-Corte o cizalleo; es una acción de rebanado que forma parte del trabajo que deben realizar la mayoría de las trituradoras giratorias y rodillos, se usa cuando el material es blando y fácilmente fracturable o cuando se desea obtener un mínimo de finos.

Características de las trituradoras

- a).- Trituradoras de quijadas; tienen una abertura rectangular situada en la parte superior que las identifica, así por ejemplo una de 18x36 tiene una abertura de 18" y quijadas de 36" de largo, las quijadas convergen hacia el fondo dejando una abertura en el fondo que es "el ajuste".
Existen dos diseños de trituradoras que son: de tipo "blaque" de doble lengüeta, en éste se tiene el pivote en un eje fijo situado en la parte superior de la quijada móvil y da allí la máxima fuerza de compresión.
El otro diseño es el de la trituradora elevada o de excéntrico que tiene una sola lengüeta en la parte inferior (ese es el punto de articulación de la quijada móvil). Una flecha giratoria montada en un eje excéntrico mueve la parte superior de la quijada haciéndola describir un círculo en un plano vertical, esto hace un mayor movimiento de la quijada en la parte superior y con la gravedad en su favor para alimentarla a la trituradora, da una especie de alimentación forzada logrando una mayor producción de material que las de tipo "blaque".
- b).- Trituradoras de rodillos; pueden ser de uno, dos o tres rodillos éstas aprovechan la fuerza de compresión entre el material y un cilindro giratorio. Se identifican estas trituradoras por el diámetro del rodillo y por la longitud transversal ambas en pulgadas, en algunas ocasiones los rodillos llevan dientes salientes en forma de perilla aplicando una acción de corte o cizalleo. Son adecuadas para material pegajoso o blando que pudiera tapar otras-

trituradoras. Cuando es de un rodillo se usan como primarias produciendo partículas cúbicas sin exceso de material fino y rara vez se ajusta a aberturas menores a $2\frac{1}{2}$ ".

Las trituradoras de dos o tres rodillos se usan como secundarias o de reducción, tienen rodillos corrugados o lisos y el material alimentado en pulgadas es con base al diámetro de los rodillos y al posible ajuste que se desee, lográndose con la siguiente ecuación $F=0.085R+S$ en donde:

F=la dimensión más grande de la roca
R=radio de los rodillos
S=el ajuste

Si se alimenta a la trituradora trozos mayores a F, no podrán triturarse y se mantendrán botando en los rodillos. Generalmente el máximo tamaño para alimentar no es mayor de 8 a 9".

Las trituradoras de dos rodillos pueden usarse para tamaños inferiores a $\frac{1}{4}$ ". El material pegajoso puede empacarse, pero no tapa a las trituradoras. Consta de dos rodillos, uno es estacionario; es decir fijo y es el que impulsa por medio de un motor a la trituradora. El otro rodillo se hace girar mediante un engrane de estrella desde el primer rodillo. A este rodillo se conoce como flotante porque puede ajustarse para hacer el "ajuste" de la trituradora.

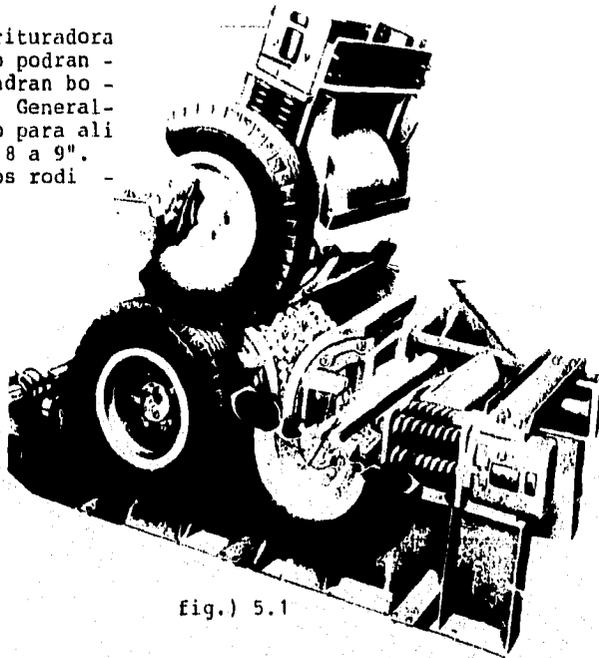


fig.) 5.1

Las trituradoras de tres rodillos, tienen un tercer rodillo arriba de las de dos rodillos, este tercer rodillo aumenta la reducción. Sin embargo su capacidad es casi igual a la de doble rodillo del mismo tamaño y ajuste. Las características más importantes en las trituradoras de tres rodillos se pueden ver en la fig.

5.1 y sus ventajas son las siguientes:

- a).-tienen una etapa grande de reducción.
- b).-se pueden alimentar con material de mayor tamaño que otras trituradoras de reducción.
- c).-permiten que la trituradora primaria tenga un ajuste mayor para su entrega a las de reducción.

c). Trituradoras de cono; en este tipo de trituradoras el elemento móvil es una pieza cónica instalada en un eje vertical giratorio, con una cabeza de acción giratoria las placas trituradoras fijas son cóncavas en el sentido vertical y circulares en el horizontal que forman un casco o "tazón" dentro del cual gira la cabeza, si tiene el casco liso es útil para materiales pegajosos, húmedos o sucios que pudieran adherirse y obstruir en alguna forma. La acción del cono sobre el material es similar a la de una quijada, el movimiento excéntrico giratorio da presión en diferentes puntos alrededor de la placa trituradora del casco circular, a medida que se mueve la cabeza central. La cabeza central gira de tal forma que el hueco existente en el fondo varía de un mínimo a un máximo denominado "lado abierto" que es el ajuste de la trituradora giratoria. La trituradora giratoria de cono se designa "por la anchura de su alimentación" y su diámetro máximo de su cabeza central medido en pies. La cabeza es convertible para permitir cambios en los diferentes materiales y tamaños, esto se hace con el propósito de competir con otras trituradoras de reducción. La capacidad en (TPH) puede variarse cambiando la velocidad de rotación. Se utiliza para reducir al mínimo material en forma alargada y no es efectiva para material extraduro, una desventaja que tiene es que cuando un material es pegajoso se puede empacar y tapar, pero su producción es comparable a la trituradora de dos y tres rodillos produciendo partículas cúbicas.

d). Trituradoras de impacto; se usan como primarias, tienen unos martillos salientes alrededor de su circunferencia y se designan a éstas por la abertura de su alimentación al igual que la de quijadas. El material triturado por los martillos en su movimiento a gran velocidad, sufre un empuje contra los lados de la cámara de trituración, que son las placas rompedoras, barras o compuertas y a cada impacto tritura al material aún más. El mantenimiento de la quebradora de impacto es problemático, especialmente cuando se usa material abrasivo en exceso, se utiliza para triturar en una sola pasada roca relativamente blanda.

d.1 El molino de martillos; se usa como secundaria o de reducción y se puede considerar como una alternativa con las de cono. El molino de martillos trabaja como quebradora de impacto, pero cuenta con la ventaja adicional de la trituración de martillos en el lado de abajo del rotor, con la cual logra reducir un tamaño más fino. Esta trituradora aplica la acción de desgaste en la molienda final y por ello se utiliza para materiales pegajosos cuando se necesitan muchos finos, se designan por el diámetro medido hasta las puntas de los martillos y la distancia entre las paredes laterales ambas en pulgadas. Su capacidad varía con el tamaño y las propiedades de la roca con que se alimenta y la "velocidad" a la que giran los martillos. A continuación anexamos copias de la trituradora "Pioneer" con sus principales características ver las dos páginas siguientes

Pioneer[®] CALIDAD Y SENCILLEZ

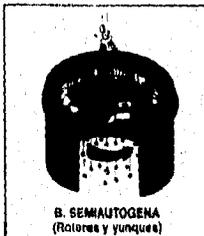


- 1 Caja de alimentación de calidad de trituradora con protección de roca con la roca.
- 2 Tubos simétricos de alimentación.
- 3 Cierre por cuña.
- 4 Puertas de inspección grandes.
- 5 Forros de lapa segmentados.
- 6 Control de granulometría mediante la variación de la velocidad y configuración (número de zapatas) de la masa del impelente.
- 7 Zapata del impelente de reemplazo rápido.
- 8 La separación óptima entre la zapata y el yunque elimina la trituración por rozamiento excesivo.
- 9 Las conchas de material eliminan los forros.
- 10 Yunque de coña de milano (sin los engrosados pericia y sin revestimiento duro).
- 11 Anillo del yunque, ajustable en sentido vertical para alargar al máximo la vida útil de los componentes.
- 12 Descarga por gravedad.
- 13 La acción de material contra material elimina los forros.
- 14 Construcción modular; la línea se atornilla al sub-bastidor.
- 15 Forros fundidos modelos 66, 74, 82; forros T-1 modelos 92, 120.
- 16 Separación óptima entre la zapata y el yunque.

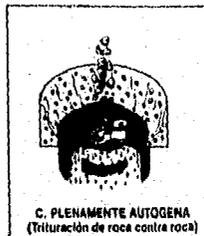
TRES CAMARAS DE TRITURACION



A. ZAPATA Y YUNQUE
(Estándar)



B. SEMIAUTOGENA
(Rotores y yunque)



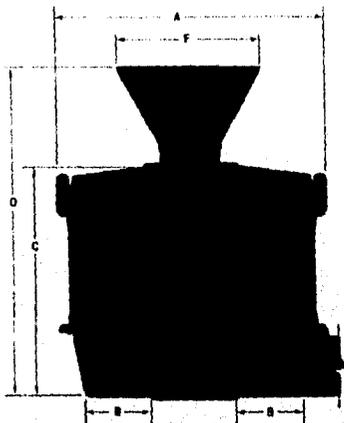
C. PLENAMENTE AUTOGENA
(Trituración de roca contra roca)

CARACTERÍSTICAS DE LA VSI

A	2 a 6 pulg	3-10	0,8-1,2	Reemplazo	1	BAJA
B	1-1/2 a 2 pulg	3-10	1,2-2,0	Soldadura y reemplazo	3-5	BAJA
C	1-1/2 a 2 pulg	2-5	1,5-2,4	Soldadura y reemplazo	5	ALTA

* Los intervalos entre mantenimiento son aprox. cinco veces más largos para la VSI de trituración plenamente autógena (configuración "C") que para la VSI estándar (configuración "A").

SPOKANE™ ESPECIFICACIONES GENERALES



6'-0"	1'-11 1/2"	4'-4 1/2"	6'-4"	8 1/2"	3'-0" x 3'-0"
(182cm)	(60cm)	(133cm)	(193cm)	(21cm)	91 x 91 cm
7'-0"	1'-10 1/2"	5'-2"	6'-10 1/2"	11 1/4"	3'-0" x 3'-0"
(213cm)	(60cm)	(152cm)	(212cm)	(30cm)	91 x 91 cm
7'-6"	1'-11"	7'-3 1/4"	8'-7 1/2"	14"	4'-0" x 4'-0"
(228cm)	(58cm)	(235cm)	(248cm)	(36cm)	122 x 122 cm
8'-4"	1'-11"	5'-11 1/2"	8'-5 1/2"	16"	4'-0" x 4'-0"
(254cm)	(58cm)	(182cm)	(258cm)	(41cm)	122 x 122 cm
9'-3"	1'-5"	6'-0"	8'-7 1/2"	18"	4'-0" x 4'-0"
(282cm)	(43cm)	(183cm)	(262cm)	(46cm)	122 x 122 cm
7'-0"	1'-11 1/2"	5'-2"	6'-11 1/2"	8 1/2"	3'-0" x 3'-0"
(213cm)	(60cm)	(152cm)	(212cm)	(22cm)	91 x 91 cm
8'-4"	1'-11"	5'-11 1/2"	8'-5 1/2"	11 1/4"	4'-0" x 4'-0"
(254cm)	(58cm)	(182cm)	(258cm)	(30cm)	122 x 122 cm



Disposición general del motor de trituradora estilo EV eléctrica con faja en V.



Disposición general del motor de trituradora estilo EV en tandem eléctrico con faja en V.



Disposición general del motor de trituradora diesel (DDV), con caja de engranajes y faja en V.

LAS DIMENSIONES Y/O LAS ESPECIFICACIONES ESTAN SUJETAS A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO. COMUNIQUESE CON LA PLANTA PARA OBTENER PLANOS CERTIFICADOS Y ESPECIFICACIONES DETALLADAS.

Modelo	HP	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
88	2	150	1M	8.5	75-125	87-112	120-2000	15-350	19.4	1280	4933	1100	11200	18100
74	2	175	1M	11-13.9	130-236	135-273	100-1400	150-310	8.8	1220	10-120	7400	18100	18100
82	3	175	1M	14.0	250-400	257-358	850-1200	450-576	8.2	1218	9-980	3200	24000	111200
92	5	175	3.0	18.0	300-450	247-401	850-1200	400-550	11.15	1281	17-366	1810	24100	113200
120	8	175	3.0	14.0	300-500	267-325	890-1200	400-600	14.75	1380	28-670	3400	32100	118300
100A	2	150	1M	8.5	75-125	87-112	1100-2000	150-350	19.4	1280	4933	1100	11200	18100
100SA	2	150	1M	8.5	75-125	87-112	1100-2000	150-350	19.4	1280	4933	1100	11200	18100
200A	2	150	1M	11-14	130-240	136-272	725-1800	100-600	10.8	1250	11-250	3700	28100	112500
200SA	2	150	1M	11-14	130-240	136-272	725-1800	100-600	10.8	1250	11-250	3700	28100	112500

Propiedades múltiples ** Si no se especifica el caso de las unidades de este estilo. Consulte con la fábrica.

la capacidad de la trituradora "Pioneer mod. spokane" está basada en un material con peso de 1600 kg/m^3 y puede variar más-menos el 25% según los métodos de carga, condición del equipo etc., etc.. Las cámaras de trituración se refieren a lo siguiente; estandar - para piedra caliza o dolomita suave; autogena para basalto.

Otros equipos comunes para la trituración son los molinos de barras y los de bolas, Estos son todos de impacto y se usan como trituradoras de reducción para producir materiales finos, reciben material previamente triturado a una pulgada para producir arena-fina.

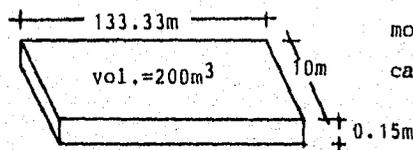
Capítulo VI.- Análisis de los costos en estos tratamientos.

Los costos para los tratamientos son variables debido a los siguientes factores ; calidad y uso del material, para ver si necesita uno o más tratamientos como son puzolanas con cemento portland o cal, cemento portland con productos químicos como cloruro de sodio y cloruro de calcio tomando en cuenta dos puntos importantes que son tipo de minerales que contenga el suelo así como su textura y acidez, cal con productos químicos diversos como hidróxido de sodio (NaOH); otro factor es cantidad y tipo del estabilizante, para esto mencionamos lo siguiente: Si se quiere estabilizar un material con un $IP < 10$ (ver fig IX.2 cap. IV), se puede agregar cal para obtener un $IP < 30$ y hacerlo con cemento o un $IP < 6$ y lograrlo con asfalto tomando en cuenta los acarrees, entonces podemos decir que si nos encontramos en Salamanca Gto. nos conviene hacerlo con asfalto, pues el costo de la emulsión será barata.

Para los tratamientos de disgregación, cribado y trituración los costos se dan en el precio del material a utilizar. A continuación presentamos un ejemplo para la zona del Estado de México en el municipio de Ecatepec. Para el ejemplo tomaremos el costo del material para sub-base y base de n°10 sin incluir acarrees, siendo un material granular tipo andesita que requirió disgregado, cribado y triturado. Si este material hubiese sido lavado su costo sería de N\$13, pero si hubiese sido un basalto su precio será de n\$13 (precios dic. 95), la otra parte del material fue un tepetate que reunió las pruebas correspondientes.

Ejemplo: para estabilización con cemento, laboratorio dio los siguientes datos.
 P.V.S.S. = 1437.48 kg/m³
 cemento 4%
 Para m³ cantidad de cemento = 1437.48 x 0.04 = 57.50 kg

Análisis del precio unitario



$$\text{mot.} = \frac{200\text{m}^3}{8\text{h}} = \frac{25\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{cantidad} = \frac{1}{25} = 0.04$$

$$\text{compactador} = \frac{242.42\text{m}^3}{8\text{h}} = \frac{30.30\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{cantidad} = \frac{1}{30.3} = 0.033$$

*Nota : El P.V.S.S se tomó como referencia para adicionar varios porcentajes de cemento y así determinar el PVSM "Proctor estándar" para obtener el contenido óptimo de cemento . (ver capítulo IV)

Concepto 1: Sub-base P.U.O.T. compactada al 95% del banco incluyendo mermas(sin acarreos).

Materiales	unidad	costo unitario	cantidad	importe
mat. p/sub-base	m ³	10	1.3	n\$ 13
agua puesta en obra	m ³	15	0.2	3
Equipo y herramienta				
mot. cat 120 G	hr	254.31	0.04	10.17
comp. vibratorio	hr	113.13	0.033	3.73
camion pipa 8m ³	hr	122.75	0.033	4.05
				costo directo
				indirectos 45%
				P.U.
				33.95
				15.28
				49.23m ³

Concepto 2: Base P.U.O.T. compactada al 100% del banco incluyendo mermas(sin acarreos).

Materiales	unidad	costo unitario	cantidad	importe
mat. p/base	m ³	10	1.3	n\$ 13
agua puesta en obra	m ³	15	0.2	3
Equipo y herramienta				
mot. cat. 120 G	hr	259.31	0.05	12.97
comp. vibratorio	hr	113.13	0.033	3.73
camion pipa	hr	122.75	0.04	4.91
				costo directo
				indirectos 45%
				P.U.
				37.61
				16.92
				54.53m ³

Concepto 3: Cemento portland que se emplee en estabilizaciones incluye valor de adquisición, transporte, almacenamiento, mermas, aplicación y tiempos de los vehículos empleados durante las cargas y descargas.

Unidad de medida kg

Materiales	unidad	costo unitario	cantidad	importe
cemento gris	ton.	460	0.0011	n\$ 0.51
Mano de obra				
cuadrilla	unid.	c. unitario	cant.	parcial
ayudante general	jor.	58.36	2	116.72
cabo general	jor.	116.72	0.10	11.67
costo				128.39/jor.
	volumen		00.002132	cargo
herramienta menor	jor	0.27	0.05	0.27
Equipo y herramienta				0.01
camión de volteo 7m ³	hr	100.21	0.002686	0.27
				costo directo
				indirectos 45%
				P.U.
				1.06
				0.48
				1.54kg

Concepto 4: Aplicación de la emulsión catiónica tipo RR P.U.O.T. incluye valor de adquisición y acarreo.
 Para 1m³ con PVSS.=1427.00 k/m³ y 103lts.

Materiales	unidad	c. unitario	cantidad	importe
Emulsión	lt	0.9	103	n\$ 92.7
Equipo camión pipa	8m ³ hr	122.75	0.04	4.91
		costo unitario		97.61
		indirectos 45%		43.92
		P.U.		141.53m ³

De aquí podemos concluir lo siguiente:
 Para una obra en Ecatepec Edo. de México tenemos lo siguiente:

Costo para base estabilizada.
 con cemento al 4% del PVSM=54.53+1.54x57.5=n\$143. 08m³
 con emulsión catiónica RR y 103 lts por m³= 54.53+141.53=196.06

Porcentaje de diferencia=(1- $\frac{143.08}{196.06}$)=27% ; significa que hacer-

lo con cemento es más barato. Si utilizáramos cal sería aún más barato, pero no es recomendable en esta capa. Por otra parte se puede ver que los indirectos 45% cubren los estudios de laboratorio, también se omitieron los acarros del material, porque no afectan a la comparación.

Para la sub-base el análisis se hace de la misma manera dependiendo del tipo y cantidad del estabilizante y como último diremos que si en este ejemplo empleáramos "Equipo especial" para estabilizar como el "Stabilizer/Mixer 350 de CAT", el tiempo y costo se abatirán, sin embargo para utilizar equipos especiales se debe tener en cuenta el volumen de la obra, se recomienda que no sea menor a 10000m³, debido a su alto costo y poca versatilidad de trabajo de estos equipos.

Capítulo VII.- Conclusiones

Para este capítulo tenemos lo siguiente:

1.-Todo tipo de estabilización debe estar enfocado a utilizar los materiales locales para la construcción económica de una vía terrestre y que esta cumpla con lo siguiente; ser estable ante los agentes de intemperismo, resistir la acción de las cargas de tránsito y ser durable, además que la estabilización con diferentes productos es responsabilidad del proyectista, dado que tiene que conocer en forma anticipada la probable respuesta de los efectos de repercusión que se tendrá en todos sus aspectos, una vez hecha la estabilización.

2.-Tomando en cuenta la diversidad de factores como; propiedades químicas (composición mineralógica), físicas (resistencia, granulometría, valor cementante), casi todos los materiales se pueden estabilizar por un método ya sea mecánico o químico, pero el que nos indicará el camino siempre será el económico. La estabilización mecánica es una de las que más se utilizan para cumplir los requisitos de granulometría, y en la estabilización química se toma en cuenta la cantidad de sílice, calcio sodio, etc.; ya que al hacerse la estabilización se producen nuevas reacciones al grado de poder cambiar su clasificación como el visto en el cap. IV, que de un CH paso a ser un CL, y en el caso del cemento las reacciones de carbonatación se dan elevando el "PH" del agua. Este PH tan alto incrementa la solubilidad del sílice y la alúmina hidratadas formando materiales cementantes.

Para los productos asfálticos la estabilización se da en forma parecida a la del cemento y podemos decir lo siguiente: la viscosidad y lentitud de fraguado del rebajado o emulsión que se utilizan deben estar condicionados a la finura o plasticidad del suelo y temperatura ambiente de la construcción, como se ve en la fig. IX,5 cap. IV, además se sugiere que tenga un LL < 30 y un IP < 12, también se asegura que en suelos finos una arcilla mientras contenga más productos silíceos requerirá más producto asfáltico y si ésta contiene más aluminio necesitará menos.

En base a esto podemos decir que la cantidad de asfalto (P) es mayor a medida que el grado de finura lo es. de aquí la necesidad de que existan fragmentos gruesos en el material, que además de aumentar la estabilidad disminuye el contenido de asfalto al reducirse la superficie por cubrirse.

Para esto podemos ver una variación en la siguiente tabla utilizando la fórmula del cap. IV $P=0.02a+0.07b+0.15c+0.20d$, y haciendo los cálculos tenemos que; a menor material fino d, el porcentaje de P es menor. Con esto fundamentamos lo antes dicho.

a	b	c	d	P %
10	20	30	40	14.1
20	20	30	30	12.3
40	30	20	10	7.9
60	20	20	-	5.6
80	20	-	-	3

Por otra parte la deficiencia de los finos finos puede ocasionar variaciones bruscas en la resistencia. Además se debe tener en cuenta que una superficie estabilizada con producto asfáltico debe considerarse como base o sub-base, nunca como superficie de rodamiento.

Por lo que una vez lograda la compactación y endurecimiento de la mezcla se proceda a ejecutar la carpeta asfáltica.

3.- Uso de las sales: en este tipo de estabilización se recomienda la ayuda de un químico tanto en la etapa de diseño como en el proceso, pues en ocasiones se involucran peligros para las personas y los equipos, además su dosificación debe estar muy controlada. Ya que basta solo variar una unidad del % para que haya variaciones en la estabilización, así podemos mencionar lo siguiente: si en un limo que es susceptible a la acción de las heladas se le agrega 2% de cloruro de calcio $[CaCl_2]$, se abate dicha susceptibilidad en forma considerable obteniéndose estos efectos con el 1% en arcillas y de 0.5% para gravas con finos, debido a esta variación de % cambiando materiales no se puede determinar con precisión la cantidad de $[CaCl_2]$ en forma superficial para estabilizar a un suelo y menos aún para predecir el período en que dicha estabilización sea efectiva, debido a que esta sal es fácilmente lavable.

4.- Pruebas de laboratorio: sirven para valorizar la calidad de los materiales, están basados en ensayos físicos que expresan numéricamente la calidad de los mismos en relación con sus distintas características. Dichos ensayos nos sirven como patrón numérico para comparar con las normas de "S.C.T." y tomar una decisión en que capa se va a utilizar, desechar o que tipo de tratamiento se le puede dar a un tipo de material. Es por eso que mencionamos dos pruebas importantes que son:

a).- Prueba Hubbard Field Modificada: es una prueba de extrucción, se utiliza en arenas que pasen el 70% por la malla de 4.75mm y se utiliza en mezclas con asfalto rebajado y emulsiones además nos reportan: la estabilidad con ésta se define el contenido de asfalto y el peso específico seco: la expansión y la absorción, y se realiza como sigue - Se mezcla la emulsión con asfalto y se coloca en una probeta bajo condiciones estandarizadas, el material puede fluir a través de un orificio con un diámetro un poco menor al de la probeta, esta prueba debe hacerse a 25 °c y nos mide la cohesión del material. En México S.C.T. pide estabilidad mínima de 180kg, expansión 2%- absorción 5%, valores "tentativos" en bases y sub-bases

b).- Valor Relativo de Soporte Florida Modificado: Es una prueba de penetración, se aplica a materiales que pasen la malla de 4.74mm y no más del 25% pase por la de 0.075mm con un equivalente de arena mayor a 40. Se emplea para climas calidos y tiene como objeto diseñar y verificar las estabilizaciones con emulsiones asfálticas, nos reportan contenido de emulsión y el valor soporte promedio, y se realiza como sigue; consiste en hacer penetrar una placa con una área de 6.45cm² con una carga de 545kg aplicada a un espécimen dentro de un molde de 7.62cm de diámetro.

(en E.U. se ha especificado que toda arena que se pretenda estabilizar con emulsiones debe presentar cuando menos un V.R.S.F.M. de 10kg/cm^2 antes de tratar y de 5kg/cm^2 una vez tratada). En México S.C.T. pide 65kg/cm^2 para bases y sub-bases, este valor es "tentativo" - además con esta prueba se obtienen peso específico, absorción y expansión.

- 5.- Costos de estos tratamientos: podemos decir que son variables principalmente los de trituración debido a diversos factores como son; tipo de roca tamaño deseado, distancia de acarreo, necesidad de disgregado, cribado y lavado además de la oferta y demanda del mercado. Los costos de tratamientos mecánicos y químicos son más estables - debido a que hay menos incertidumbre, es por esto que para la estabilización mecánica solo basta conocer el precio del material por agregar para obtener su costo. Cuando se utiliza cal el costo será bajo ya que solo se pretende bajar la plasticidad o incrementar la resistencia, sus porcentajes son del 1 - al 8%, si se emplea cemento el precio será más alto debido a su costo y porcentaje que varía del 4-14%. Con productos asfálticos el de la mezcla en caliente se desecha debido a su costo y con rebajados y emulsiones, se recomienda que la fracción que pasa la malla 200 sea del 5-12% para que su costo sean aproximadamente iguales. La diferencia para utilizar uno del otro será la granulometría [suelo fino - poco cohesivo, arena o grava].

Para las sales como: cloruro de sodio, c. de calcio y silicato de sodio su costo es barato, pero sus beneficios son pocos ya que cada producto tiene limitaciones debido a su composición química.

En los sulfatos de cobre, bario, aluminio o magnesio no se justifica su uso ya que la mejoría es pequeña y el costo muy alto, los ácidos inorgánicos son competitivos con los productos hasta ahora mencionados, pero para su uso se debe contar con la asesoría de un especialista en la materia porque se involucran peligros para las personas y los equipos.

- 7.- Esperando haber cumplido con los objetivos de la tesis nos enfocamos primero a dar una estructuración de las vías terrestres, para luego seguir describiendo cada una de sus partes como son: terracerías, sub-rasante, sub-base, base, carpeta y riego de sello. En el capítulo III incluimos las normas lo más fiel que se pudiera debido a que no creímos conveniente resumirlas. En el capítulo IV el método que se utiliza para el ejemplo de estabilización mecánica fue el analítico, omitiéndose el gráfico. Para la cal se utilizó el método ASSHTO de compresión simple, en el caso del cemento se omitió el ejemplo, en los productos asfálticos se sigue el método de la fuerza aérea de los E.U. que está basado en una prueba Marshall.

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

- REF. 1 " Estructuración de vías terrestres "
Fernando Olivera Bustamante
- REF. 2 " Manual de caminos vecinales "
Rene Etcharren Gutierrez
- REF. 3 " Vías de comunicación "
Carlos Crespo Villalaz
- REF. 4 " La ingeniería de suelos en las vías terrestres II "
Alfonso Rico y Hermilo del Castillo
- REF. 5 " Carreteras calles y aeropistas "
Raúl Valle Rodas
- REF. 6 " Manual de pavimentos "
Jesús Moncayo V.
- REF. 7 " Especificaciones generales de construcción "
S.C.T. Parte octava, libro primero
" Normas de construcción "
S.C.T. Parte novena, libro primero
" Pruebas que se deben hacer "
- REF. 8 " Curso de pavimentación "
Jesús González Hermosillo
- REF. 9 " Mejoramiento y estabilización de suelos "
Carlos Fernández Loaiza
- REF. 10 " Folletos Pioneer "
Mexicana de tractores