

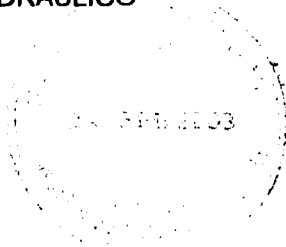
21121
9

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES "ACATLAN"

COMPACTACION DE TERRACERIAS Y ESTRUCTURAS
DE LOS PAVIMENTOS CON CARPETA DE CONCRETO
ASFALTICO E HIDRAULICO



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JOSE LUIS FLORES SILVA

ASESOR: ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FEBRERO 2003





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**TESIS
FALLA
DE
ORIGEN**

DEDICATORIAS

Este trabajo que ahora tienes en tus manos, representa el esfuerzo de varios años de estudio, que sirvan para demostrar que todos los sacrificios, desvelos e incomodidades, al final, tienen una recompensa.

A DIOS:

Que me permitió vivir, bajo el amparo de sus ojos, el cuidado de sus brazos y el respeto a sus designios.

A ISABEL VÁZQUEZ BUENDÍA:

Doy gracias por tu valiosa espera, tu apoyo en cada momento y porque eres el mástil en mi vida, tu que eres mi compañera y esposa, a ti que siempre me has impulsado, que este trabajo, sirva como un regalo a tus sacrificios.

Por la admiración a tu inteligencia, el respeto a tu sensatez, el cariño y amor como mi esposa y por su infinita paciencia para sortear los problemas. A quien seguiré a mando, hasta el día en que yo, no exista más.

A MARCO ANTONIO FLORES VÁZQUEZ:

Con la esperanza de que superes ampliamente, cada uno de los logros que yo alcance. Hijo mío, mi pequeño gran héroe, te quiero y siempre te seguiré queriendo.

A JOSEFINA SILVA GONZÁLES:

Doy gracias a dios, de que al concluir esta meta, aun te encuentres con vida, pues mereces un amplio reconocimiento por tus sacrificios y desvelos, por darme comprensión y fuerza en los tropiezos de mi vida.

A LORENZO FLORES BLANCAS:

Donde quiera que te encuentres, te doy las gracias por trabajar muy duramente para darnos el sustento. Te pido perdón por no comprender tus necesidades y tus desilusiones, más tendrás que estar contento, por que tu sangre sobrevivirá y tu paso por esta vida ha dejado huella.

A MIS HERMANOS: MARTHA
 FELIPE
 SILVIA
 ENRIQUE
 JOSEFINA

A quienes seguiré queriendo, como cuando fuimos chicos.

A MIS SOBRINOS:

Que quiero y espero trasciendan.



COMPACTACIÓN DE TERRACERÍAS Y ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS CON CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO E HIDRÁULICO.

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.

| | Página |
|---|--------|
| 1.1 La compactación..... | 5 |
| 1.1.1 Antecedentes..... | 5 |
| 1.1.2 Generalidades..... | 6 |
| 1.1.3 La mecánica de la compactación..... | 13 |
| 1.2 Clasificación de los pavimentos..... | 16 |
| 1.2.1 Pavimentos flexibles..... | 16 |
| 1.2.2 Pavimentos rígidos..... | 17 |
| 1.3 Secciones y función de cada una de las capas que componen un pavimento..... | 17 |
| 1.3.1 Pavimento flexible..... | 18 |
| 1.3.2 Pavimento rígido..... | 22 |
| 1.4 Características fundamentales de los pavimentos..... | 24 |

CAPÍTULO 2. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.

| | |
|--|----|
| 2.1 Etapas de los estudios previos y definitivos..... | 31 |
| 2.1.1 Estudios geológicos y fotointerpretación..... | 31 |
| 2.1.2 Exploración directa de suelos y roca..... | 32 |
| 2.1.3 Requerimientos de muestreo..... | 32 |
| 2.1.4 Métodos de exploración directa (métodos geofísicos)..... | 33 |
| 2.2 Estudios de laboratorio..... | 35 |
| 2.3 Pruebas de campo..... | 37 |
| 2.4 Selección del sitio de construcción..... | 39 |
| 2.5 Selección de agregados..... | 42 |
| 2.5.1 Bancos de materiales..... | 45 |
| 2.5.2 Propiedades de los agregados..... | 50 |
| 2.6 Materiales asfálticos..... | 54 |
| 2.6.1 Pruebas en materiales asfálticos..... | 56 |

CAPÍTULO 3- MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN.

| | |
|--|----|
| 3.1 Tipos de compactación y maquinaria empleada..... | 59 |
| 3.1.1 Por peso estático o presión..... | 59 |
| 3.1.2 Por Amasado..... | 63 |
| 3.1.3 Por impacto..... | 65 |
| 3.1.4 Por vibración..... | 66 |
| 3.1.5 Métodos mixtos..... | 70 |
| 3.2 Rendimientos y costo horario..... | 71 |
| 3.3 Selección de maquinaria..... | 74 |

CAPÍTULO 4. COMPACTACIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS.

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1 | Construcción y compactación de los terraplenes..... | 78 |
| 4.2 | Construcción y compactación de las terracerías y pavimentos..... | 82 |
| 4.3 | Construcción y compactación de la carpeta asfáltica..... | 83 |
| 4.3.1 | Preparación de la mezcla..... | 84 |
| 4.3.2 | Preparación de la capa de base o de la capa niveladora.. | 86 |
| 4.3.3 | Transporte y tendido de la mezcla en caliente..... | 87 |
| 4.3.4 | Juntas..... | 88 |
| 4.3.5 | Compactación y acabado final..... | 89 |
| 4.4 | Construcción y compactación de la carpeta de concreto hidráulico..... | 90 |
| 4.4.1 | Preparación y acabado de la subrasante..... | 91 |
| 4.4.2 | Colocación de la cimbra..... | 91 |
| 4.4.3 | Acabado de la subrasante..... | 92 |
| 4.4.4 | Instalación de juntas..... | 93 |
| 4.4.5 | Mezclado y colocación del concreto..... | 93 |
| 4.4.6 | Extendido y acabado del concreto..... | 94 |
| 4.4.7 | Pavimentación con cimbra deslizante..... | 94 |
| 4.4.8 | Curado..... | 94 |
| 4.5 | Pruebas de laboratorio y campo que se realizan a las estructuras compactadas de los pavimentos..... | 95 |
| 4.6 | Control de calidad..... | 100 |
| 4.6.1 | De agregados..... | 102 |
| 4.6.2 | De compactación..... | 103 |

GLOSARIO.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

D

INTRODUCCIÓN

Los primeros caminos empleados por las tribus, fueron veredas, que se construyeron al paso de estos durante su deambular en sus territorios.

Al aparecer la rueda, se creó la necesidad de mejorar los caminos con el fin de que el tránsito de estas se realizara rápida y cómodamente. Los caminos entonces creados se revistieron con el objeto de evitar que se atascaran en terrenos lodosos, para lo cual se empleó desde piedra machacada hasta empedrados, logrando así que la vía recibiera cargas sin ruptura de la estructura.

Una vez que se comprobó que los pavimentos con terraplenes no compactado eran fácilmente destruidos, se procedió a iniciar nuevas investigaciones, con el fin de encontrar una prueba de laboratorio que igualara los resultados obtenidos en campo, dando como resultado los primeros estudios realizados por R.R. Próctor, quien en 1933 publicó los factores que intervienen en la compactación.

Con el avance tecnológico, surgieron nuevos equipos de compactación de terracerías, por lo que diversas Instituciones dedicadas a la construcción de carreteras y aeropistas, establecieron normas diferentes para la ejecución de la prueba Próctor de laboratorio, variando esta en número de golpes, capas, altura de caída y carga aplicada.

Con mencionadas variaciones, se estableció que el factor más importante en la compactación es el contenido de agua que tenga el material que se trabaja y la energía de compactación aplicada. En términos generales, al aumentar la energía de compactación para un mismo suelo, aumenta su peso volumétrico seco máximo y disminuye su humedad óptima de compactación.

A medida que los vehículos evolucionaron en peso y velocidad, se creó la necesidad de un camino con condiciones apropiadas a la demanda de operación, lo que provocó el mejoramiento de las terracerías, ofreciendo en su superficie una capa de rodamiento con condiciones especiales de resistencia, durabilidad y textura entre otras. Este desarrollo ofrece en la actualidad dos tipos principales de estructuras en los pavimentos; los de concreto asfáltico y los de concreto hidráulico, que presentan una estructura propia, constituida por capas que han de soportar y transmitir las cargas impuestas por los vehículos.

El objeto de realizar los estudios geotécnicos en una vía terrestre, es el de investigar en campo y laboratorio, los factores más relevantes del terreno, materiales a emplear y el uso que pudiera darse a estos, con el fin de elaborar recomendaciones y/o normas que apoyen un proyecto, anticipando el probable comportamiento de dichos materiales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El proceso que ha de seguirse en la exploración de los suelos, con el fin de determinar sus características, se divide en dos etapas; la primera de reconocimiento del lugar, muestreo del terreno y pruebas de laboratorio, y la segunda en la que se recopilará la información generada para emitir recomendaciones, empleando en general los mismos métodos de exploración y muestreo de suelos comúnmente empleados en la mecánica de suelos.

Entre los estudios de laboratorio que son realizados a los suelos que se pretende utilizar, están, la identificación, clasificación del material, límites de consistencia, análisis granulométrico, equivalente de arena, valor relativo de soporte, contenido de humedad natural y óptima, peso volumétrico seco y suelto, densidad, absorción y contracción lineal entre otros, con el fin de seleccionar el tipo de agregado que pueda emplearse en forma adecuada para formar parte de la estructura de un pavimento.

Por otro lado, en virtud de que el costo de los materiales, es un factor de los más importantes en la construcción de cualquier vía de comunicación, su localización es uno de los aspectos fundamentales dentro de los estudios geotécnicos. De encontrar un lugar cercano, en donde exista suficiente material que satisfaga los requerimientos de calidad y sea el mejor de entre los disponibles, redundará en ahorros importantes.

Con la evolución de los equipos de construcción, se crearon diferentes métodos de aplicar la energía de compactación al terreno, dando lugar a cuatro formas básicas de aplicación:

El primero de ellos, es el que aplica el esfuerzo por peso estático o presión, con un efecto de acomodo de las partículas del material, que se reduce a medida que se profundiza en la capa, es decir, la compactación es realizada de arriba hacia abajo.

El segundo, actúa por amasado, produciendo una compactación por penetración, es decir, de abajo hacia arriba.

En tercer lugar se tiene el que realiza el trabajo por impacto, en el que la duración de la transmisión del esfuerzo es corta, encontrando dentro de este tipo, los de caída libre de operación manual y los de compresión neumática o combustión interna, con mecanismos de pistón que producen los impactos.

El cuarto método es el que por medio de vibración, imparte una fuerza dinámica que provoca que los espacios vacíos sean ocupados por partículas del mismo material, quedando así compactados por una sucesión de impactos y presión transmitida al suelo.

Por ultimo encontraremos los que aplican métodos mixtos, que buscan combinar varios de los efectos básicos anteriores, con el fin de lograr un resultado óptimo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Uno de los factores importantes en el empleo de maquinaria, es el de conocer su rendimiento y el costo que genera su empleo. Por tal motivo, para determinar su producción, se toman en cuenta los siguientes elementos: ancho compactado por el equipo, velocidad de operación, espesor de la capa que puede compactar y número de pasadas.

Con ayuda del costo por hora de un equipo determinado, características del material que se pretende compactar y el rendimiento del equipo disponible, se reúnen parámetros que permiten realizar el trabajo con la mejor calidad, menor esfuerzo y de la forma más económica, este último aspecto, es el de mayor importancia para cualquier constructor.

Los requisitos para la construcción, compactación de la estructura de los pavimentos así como el proceso constructivo, se moderniza constantemente, por la aparición de nuevos equipos. De igual forma las pruebas de laboratorio con que han de normarse o revisarse las características y requisitos de calidad de los materiales que constituirán cada una de las capas del pavimento.

La estructura de los pavimentos es construida, compactada y controlada, siguiendo siempre las normas y especificaciones de cada proyecto. En general, el proceso de construcción de los pavimentos que constituyen una estructura, se forma transportando el material pétreo aprobado, hasta el lugar donde se construirá la capa consecutiva; estas capas son formadas con espesores uniformes e incrementando agua según lo ha determinado el laboratorio correspondiente, procediendo entonces a aplicar una compactación que alcance la densidad de proyecto para cada una de las capas.

El proceso de construcción, compactación y control de un pavimento, son generalmente regidos, como se ha mencionado, por un conjunto de normas y especificaciones, las cuales se han de seguir cuidadosamente y con honestidad. La construcción de las terracerías, estructura y carpeta de rodamiento de un pavimento, son siempre construidos empleando equipos de construcción cada vez más modernos, sin perder por eso un proceso sistematizado en la mayoría de los casos, ya que la construcción presenta una serie de requisitos que han de cumplirse antes de continuar con las siguientes capas, tales como compactación, uniformidad, topografía, entre otros.

Es importante y siempre recomendable que antes de iniciar la compactación, se defina el tipo de material a emplear y la maquinaria disponible, ya que estos datos nos ayudarán a determinar el número de pasadas que sedarán con el equipo. El proceso de compactación se realiza en forma longitudinal, iniciando en las orillas y progresando en forma gradual hacia el centro, excepto en

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

las curvas, donde la compactación es realizada a partir de la parte más baja y avanzando hacia lo más alto de esta, realizando recorrido que permitan el traslape entre cada una de las pasadas, lo que garantizará una cobertura amplia y uniforme, obteniendo de esta manera una compactación a la densidad especificada.

Una vez construida y compactada cada una de las capas del pavimento, ha de verificarse que cumpla con la densidad especificada, expresada en el porcentaje de compactación de la relación del peso volumétrico seco obtenido en campo y el peso volumétrico seco máximo obtenido en laboratorio. Esto ha de realizarse con base a un estándar de comparación empleado, es decir, el tipo de prueba de laboratorio con que ha de determinarse el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES.

1.1 LA COMPACTACIÓN.

1.1.1 ANTECEDENTES

Desde el comienzo de la historia, los rebaños de ganado vacuno y ovino constituían un método de compactación de suelos. Con el transcurso de los tiempos otros sistemas surgieron para la preparación de los rellenos de tierra permitiendo la construcción de los caminos primitivos.

Aproximadamente en el siglo XVIII empezaron a construirse rodillos tirados por caballos o bueyes para la construcción de carreteras.

Los primeros compactadores a vapor con rodillo liso de acero (figura 1-1) construidos en Francia a mediados del siglo XIX, no dieron resultado práctico, por lo que cayeron en desuso.

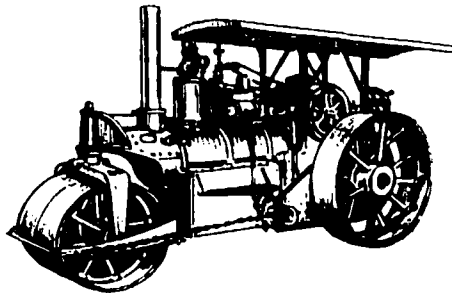


Figura 1-1 Compactador de vapor francés, creado en el siglo XIX.

Poco después, como consecuencia de la introducción del motor de combustión interna, hicieron su aparición las unidades motrices más pequeñas, las cuales tuvieron más aceptación.

Estados Unidos fue el país pionero en el desarrollo de la ingeniería de compactación de suelos. Los primeros rodillos de pata de cabra, se fabricaron en California en los años 1904-1906. En aquel entonces, el movimiento de grandes volúmenes de tierra se realizaba habitualmente con vehículos tirados por caballos o mulas.

En el campo de la construcción de carreteras, se puso pronto de manifiesto que los pavimentos sobre terraplenes no compactados se deterioraban enseguida. Por esta razón, la construcción de

carreteras es, y seguirá siendo, el campo más importante de aplicación de la ingeniería de compactación de suelos.

La compactación vibratoria de suelos se comenzó a utilizar en Alemania a principios de la década de los treinta. Los primeros compactadores vibratorios eran de tipo plancha autopropulsada de 1.5 toneladas, así como los tractores de orugas de 25 toneladas (figura 1-2), los primeros rodillos autopropulsados y remolcados por tractores se construyeron en el año 1940.

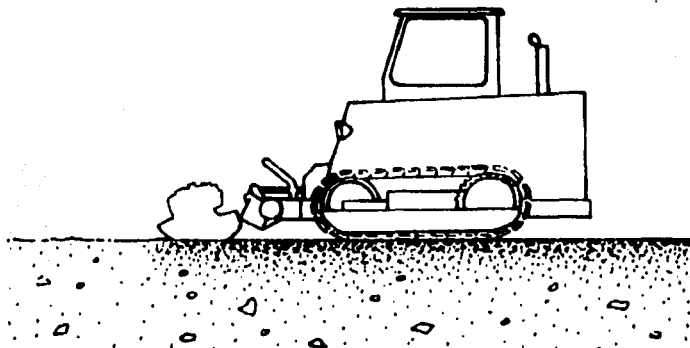


Figura 1-2 Tractor de orugas de 25 toneladas.

Sin embargo, los compactadores de placa remolcados por tractor no dieron resultados aceptables, por lo que fueron sustituidos por equipos manuales o autopropulsados.

1.1.2 GENERALIDADES

La compactación de los suelos es el medio para aumentar, por densificación, la resistencia y disminuir la compresibilidad de los mismos, sin embargo no fue reconocida sino hasta la aparición del rodillo pata de cabra en 1906.

Hasta 1933, año en el que R.R. Próctor publicó el resultado de sus investigaciones sobre este tema y se conocieron los factores que intervienen en la compactación. Próctor encontró que aplicando a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva como la representada en la figura 1-3, en la cual se observa la existencia de un grado de humedad con el cual se obtiene el peso volumétrico máximo para ese suelo y esa energía de compactación. Buscando una

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Kilogramos (5.5 lb) cayendo de una altura de 30 cm. Los elementos empleados en la prueba se pueden ver en las figuras 1-4, 1-5 y 1-6.



Figura 1-4 Molde compuesto por una base, cilindro y collarín.



Figura 1-5 Proceso en el que se incorpora agua al material y es mezclado.



Figura 1-6 Aplicación de energía dinámica, 25 golpes a una altura de 30 centímetros.

Posteriormente, diversas Dependencias dedicadas a la construcción de terraplenes para diversos usos han establecido normas para ejecutar la prueba de compactación dinámica variando el número de golpes, el número de capas de suelo colocado en su interior, la altura de caída del pisón, etc. La introducción de tales modificaciones ha dado como resultado que se obtengan diferentes pesos volumétricos máximos y humedades óptimas, según la energía por unidad de volumen de suelo compactado empleada en cada norma. Esto se debe al mejoramiento en el equipo de compactación, actualmente en uso con relación al de años pasados.

Dicha energía puede estimarse en función de la energía dinámica total entregada al suelo y calcularse con la fórmula:

$$E = \frac{Nwhn}{V}$$

en la que:

- E: Energía específica de compactación en kg-cm/cm³
- N: Número de capas
- w: Peso del pisón, en Kg
- h: Altura de caída del pisón, en cm
- n: Número de golpes del pisón
- V: Volumen total del suelo compactado, en cm³

En términos generales, al aumentar la energía de compactación para un mismo suelo aumenta su peso volumétrico seco máximo y disminuye su humedad óptima. Así pues, siempre que se trate de peso volumétrico seco máximo y humedad óptima, es necesario especificar el estándar de comparación empleado (observar la tabla 1-A).

Es claro que el factor más importante en la compactación es el contenido de agua en el suelo. Si dicho contenido se encuentra en su punto óptimo o cerca de él, la compactación será bastante fácil. Si la gama de contenido de agua está a unos cuantos puntos de porcentaje por encima o por debajo del contenido deseado, seguirá siendo posible la compactación, pero se necesitarán mayores esfuerzos, cuando el contenido de agua esté a varios puntos de porcentaje por encima o por debajo de lo óptimo y fuera de los "porcentajes limitadores", la compactación resultará extremadamente difícil o imposible. (ver figura 1-7)

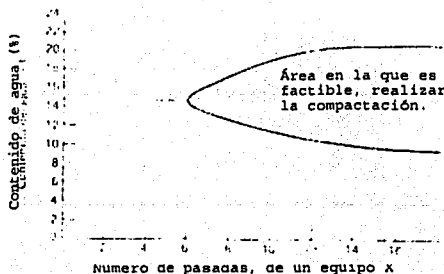


Figura 1-7 Se muestra el concepto de los porcentajes limitadores del contenido de agua, donde la compactación resultara difícil a imposible, si se abandonan.

PRUEBAS DE COMPACTACIÓN DINÁMICA

| PRUEBA | | MATERIAL T. Máx. | MOLDE ϕ | PIZÓN PESO (kg) | ALTURA CAIDA LONG. (cm) | No. CAPAS | No. GOLPES | No. PUNTOS |
|---------------------------------|----------|---|---------------|--------------------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|
| TIPO | VARIANTE | | | | | | | |
| PROCTOR SCT | | Malla No. 4 retenido máximo 10% IP Mínimo 6.0% | 4" | 2.5 | 30.5 | 3 | 30 | 4 a 5 |
| AASHTO ESTANDAR | A | malla No. 4 | 4" (101.6 mm) | 2.5 | 30.5 | 3 | 25 | 4 a 5 |
| | B | malla No. 4 | 6" (152.4 mm) | | | | 56 | |
| | C | 3/4" | 4" (101.6 mm) | | | | 25 | |
| | D | 3/4" | 6" (152.4 mm) | | | | 56 | |
| AASHTO MODIFICADA 3 CAPAS | A | malla No. 4 | 4" (101.6 mm) | 4.54 | 45.7 | 3 | 25 | 4 a 5 |
| | B | malla No. 4 | 6" (152.4 mm) | | | | 56 | |
| | C | 3/4" | 4" (101.6 mm) | | | | 25 | |
| | D | 3/4" | 6" (152.4 mm) | | | | 56 | |
| AASHTO MODIFICADA 5 CAPAS | A | malla No. 4 | 4" (101.6 mm) | 4.54 | 45.7 | 5 | 25 | 4 a 5 |
| | B | malla No. 4 | 6" (152.4 mm) | | | | 56 | |
| | C | 3/4" | 4" (101.6 mm) | | | | 25 | |
| | D | 3/4" | 6" (152.4 mm) | | | | 56 | |

PRUEBA DE COMPACTACIÓN ESTÁTICA

| | | | | | | | | |
|--------|--|------------------|---------------|--------|----------------|---|---------------------|---|
| PORTER | | 1" IP Máx. 6% | 6" (152.4 mm) | 27 Ton | Carga Descarga | 3 | 25 Punta de bala | 1 |
|--------|--|------------------|---------------|--------|----------------|---|---------------------|---|

Tabla 1-A Relación entre diferentes tipos de pruebas de compactación.

El esfuerzo por hacer que el contenido de agua se aproxime a su punto óptimo puede parecer un desperdicio de tiempo y dinero; sin embargo, cuando mayor sea la diferencia entre el contenido de agua real y el óptimo, tanto mayor será también el esfuerzo de compactación que se necesite. El aumento en el número de pasadas del equipo también cuesta tiempo y dinero y hace que se incrementen las posibilidades de que se rechacen capas de terracería, terraplén ó las que constituyen el pavimento, por compactación inadecuada, véase la figura 1-3.

Las capas de compactación deben tener un espesor uniforme, el espesor más adecuado para el tipo de equipo de compactación que se utiliza puede determinarse mediante un terraplén de prueba.

| ESPESOR DE CAPAS | TIPO DE COMPACTADOR RECOMENDADO |
|------------------|---|
| 5 cm | Cuando se utilizan pisones manuales. |
| 15 a 20 cm | Compactadores pata de cabra. |
| 25 a 30 cm | Compactadores vibratorios en suelos arenosos. |
| 30 a 35 cm | Compactadores pesados. |

Tabla 1-B Relación entre diferentes espesores y compactadores.

Durante la compactación de terracerías, es común que el ingeniero constructor y/o supervisor disponga que se efectúen pruebas de compactación a la capa terminada. Cuando las pruebas indiquen que aun no se ha alcanzado el % de compactación requerido, se deberán verificar los detalles de los resultados de las pruebas; si el contenido de agua en suelo es demasiado alto o excesivamente bajo, los resultados inadecuados se pueden atribuir al contenido inapropiado de agua, pudiendo en ese momento indicar las correcciones que se deben hacer. Si el suelo tiene el contenido óptimo de agua, es posible que no se hayan efectuado suficientes pasadas del equipo de compactación o que se hayan utilizado equipos inapropiados, si los resultados de las pruebas son irregulares, sin ninguna razón aparente, el material adquirido para las terracerías puede no ser uniforme, se requieren pruebas adicionales para restablecer una nueva curva de compactación. El ingeniero debe utilizar los resultados de las pruebas para obtener la compactación necesaria al mínimo costo.

El contenido óptimo de agua es distinto para diferentes compactadores, según el peso y la energía que se descarguen sobre el terreno en cada pasada. En general para los equipos mayores, el contenido óptimo de agua suele ser menor. Así, si la terracería está ya del lado más seco, se puede obtener buenos resultados con un equipo mayor; si el suelo está mojado, la compactadora más pesada no ayudará, en lugar de ello, se debe usar compactadores más pequeños y hacer más delgadas las capas de terracería. Si esto no funciona será preciso desecar el suelo o agregar productos químicos.

El objetivo primordial de la compactación del suelo es producir un cambio en sus características mecánicas. Entre esos cambios se incluyen:

1. Un aumento de la resistencia del suelo y un mayor valor de capacidad de carga.
2. Una disminución de la compresibilidad (o el asentamiento) del suelo, bajo la acción de las cargas.
3. Una disminución de la permeabilidad del suelo.
4. Suelos más resistentes a la erosión.

El uso que puede darse a los suelos compactados, es muy diverso. Ejemplo de ellos es la lista siguiente, en la que no incluye la gama de aplicaciones que se pueden dar a los terrenos compactados ni tampoco las más importantes, solo se mencionan estas como referencia.

1. Estabilizar terrenos sobre los que se vaya a cimentar estructuras.
2. Estabilizar terrenos sobre los que se vaya a desplantar terraplenes o terracerías.
3. Los suelos compactados tienen un valor más alto de capacidad de carga y se reducen los asentamientos.
4. Proporcionan un apoyo más uniforme a las terracerías.
5. Proporciona suelos firmes para terraplenes y rampas de acceso a las carreteras y puentes.
6. Para la construcción de presas de tierra.
7. Para rellenos de refuerzo en calles, después del tendido de tuberías u otra instalación, así como también los rellenos entorno a zapatas y muros de sótano.
8. Se incrementa la resistencia pasiva del suelo para resistir cargas laterales. Esto puede incluir los suelos compactados entorno a anclajes de bloques de concreto o entorno a cimentaciones sometidas a cargas laterales.

1.1.3 LA MECÁNICA DE LA COMPACTACIÓN.

La compactación hace aumentar el peso del suelo, (*DENSIDAD EN SECO O PESO VOLUMÉTRICO SECO*); esto se logra oprimiendo sus partículas, para acercarlas más unas a otras, reduciendo los espacios vacíos que suelen estar ocupados por aire o agua, que carecen de resistencia.

Si las partículas de suelo pudieran comprimirse tan estrechamente que se eliminaran todos los espacios vacíos, para obtener una masa sólida, el peso resultante del suelo sería de 160 a 170 lb/pie³ (2500 a 2750 kg/m³), lo que equivale al peso de la roca. En condiciones naturales, el suelo pesa de 80 a 100 lb/pie³ (1280 a 1600 kg/m³).

En la figura 1-8 se representa un metro cúbico de suelo, en donde las partículas están comprimidas entre sí, con lo cual se logra una masa sólida de suelo de 66.667 cm, el resto del metro cúbico es aire, se trata de suelo totalmente seco, el peso del suelo es igual a $2/3 * 2500 = 1666.667 \text{ kg/m}^3$.

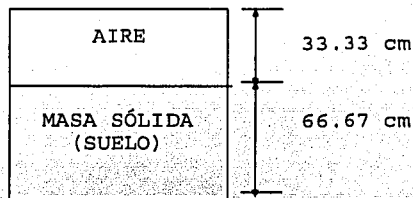


Figura 1-8 Relación sólidos y aire en la masa del suelo.

Si el suelo se ha saturado con agua, figura 1-9, el aire se desplaza y los 33.333 cm superiores de la figura 1-8 serían de agua. En este caso, el peso del suelo original sería como sigue:

$$\begin{aligned}
 \text{Peso de sólidos} &= 2/3 * 2500 &= 1666.67 \text{ kg} \\
 \text{Peso del agua} &= 1/3 * 1000 &= 333.33 \text{ kg} \\
 \text{Peso total del suelo} &= 1666.67 + 33.333 &= 2000 \text{ kg} \\
 \text{Peso volumétrico del suelo} &= 2000 \text{ kg} \times 1 \text{ m}^3 &= \underline{2000 \text{ kg/m}^3}
 \end{aligned}$$

Esto se denomina *DENSIDAD HÚMEDA*.

Si la densidad en seco es igual a 1666.67 kg/m³ y el agua pesa 333.33 kg, el contenido de agua será igual a:

$$333.33/1666.67 = \underline{20 \%}$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

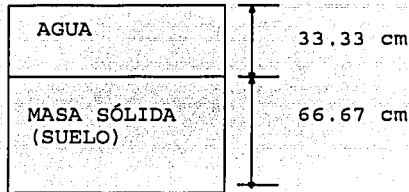


Figura 1-9 Relación de sólidos y agua en la masa del suelo.

Lo más común es que los huecos estén parcialmente llenos de aire, como se representa en el diagrama de la figura 1-10, los 66.670 cm del fondo consisten en partículas sólidas de suelo, los 16.665 cm siguientes son agua y los 16.665 cm superiores aire. En este caso, el peso del suelo es como sigue:

$$\begin{aligned}
 \text{Peso de sólidos} &= 2/3 * 2500 &= 1666.67 \text{ kg} \\
 \text{Peso del agua} &= 1/6 * 1000 &= 166.67 \text{ kg} \\
 \text{Peso total} &= 1666.67 + 166.67 &= \underline{1833.34 \text{ kg}} \\
 \text{Peso volumétrico del suelo} &= 1833.34 \text{ kg} \times 1 \text{ m}^3 &= \underline{1833.34 \text{ kg/m}^3}
 \end{aligned}$$

Entonces, el contenido de agua es igual a:

$$166.67/1666.67 = \underline{10 \%}$$

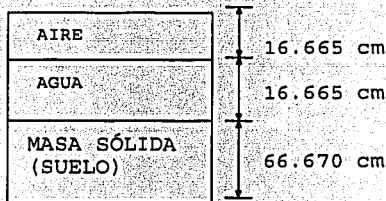


Figura 1-10 Relación de sólidos, agua y aire en la masa del suelo.

Si el suelo se debe comprimir de tal modo que tenga una densidad en seco de 1900 kg/m³, el volumen de las partículas sólidas será igual a:

$$1900/2500 = \underline{3/4}$$

Como se muestra en la figura 1-11, los 75 cm del fondo podrían representarse como partículas sólidas de tierra, mientras que los 25 cm superiores serían agua y aire. Si el suelo está

saturado, el contenido de agua pesará:

$$1/4 * 1000 = \underline{250 \text{ kg}}$$

El contenido de agua es igual a:

$$250/1875 = \underline{13.33\%}$$

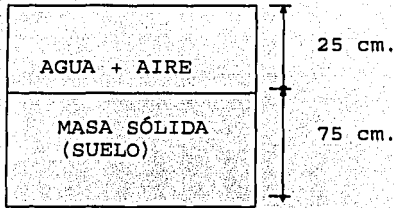


Figura 1-11 Relación de sólidos, agua y aire en la masa del suelo compactado.

La cantidad de agua en el suelo tiene una firme influencia sobre la compactación. Si el suelo está seco, las partículas presentarán demasiada fricción para deslizarse con facilidad. Por consiguiente, es difícil redistribuir las partículas y comprimirlas estrechamente.

Si se agrega agua, ésta actuará como lubricante y las partículas se podrán deslizar con mayor facilidad y oprimirse para tomar una posición más estrecha, pero si hay demasiada agua en el suelo, los espacios vacíos estarán demasiado llenos, entonces no habrá modo de comprimir las partículas, a menos que se saque el agua. En general, es difícil expulsar el agua durante la compactación, excepto en los suelos muy porosos, tales como las arenas limpias. No obstante, la expulsión del agua se puede producir durante un largo periodo.

Si los suelos se mojan mucho, con frecuencia tomarán una consistencia casi plástica, por tanto, es muy importante conocer la cantidad de agua que hay en el suelo y regular la que se agregará para lograr la compactación.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.

Con fines fundamentalmente prácticos, los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. Sin embargo, la flexibilidad o rigidez que un pavimento presenta no es fácil de definir tan adecuadamente como para permitir una diferenciación precisa entre uno y otro tipo de pavimento. Los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en cómo distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidas por los vehículos a las capas inferiores.

Los términos usados para distinguir un pavimento de otro, se han utilizado tan comúnmente en México, que se considera conveniente conservarlos.

Además de los pavimentos anteriormente mencionados, existe un gran número de pavimentos de tipo especial, tales como aquellos formados por adoquines, ladrillos, bloques de madera, etcétera, empleados algunas veces, en calles y plazas.

1.2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles se pueden clasificar así:

A) Tratamientos artificiales.

- Simple o de un riego.
- Doble o de dos riegos.
- Triple o de tres riegos

B) Macadam Asfáltico.

C) Mezclas en el lugar.

- Elaborado con motoconformadora.
- Elaborado con mezcladora ambulante.

D) Mezcla en planta.

- Dosificada por volumen.

E) Concreto asfáltico.

- Dosificado por peso en planta, y empleando cemento asfáltico y agregados que se mezclan calientes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2.2 PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos como también se les designa, son de dos tipos básicamente, los que tienen acero de refuerzo y los que no lo tienen, difieren de los pavimentos flexibles, primero, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, y segundo, en que son afectados gradualmente por los cambios de temperatura. Los pavimentos rígidos están sujetos a los esfuerzos siguientes:

A) Esfuerzos abrasivos causados por los neumáticos de los vehículos.

B) Esfuerzos directos de compresión y flexión causados por las cargas de las ruedas,

C) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la flexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.

D) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.

E) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efecto de los cambios de temperatura.

1.3 SECCIONES Y FUNCIÓN DE CADA UNA DE LAS CAPAS QUE COMPONEN UN PAVIMENTO.

La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una variedad de posibilidades, de tal manera que puede estar formado por una sola capa o más comúnmente por varias y a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados y sometidos a diversos tratamientos, la superficie de rodamiento puede ser una capa asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados.

Es evidente que la superficie terrestre no ofrece jamás las condiciones de rodamiento que exigen los modernos medios de transporte.

A medida que los vehículos evolucionaron en peso, velocidad, comodidad y autonomía se fue creando la necesidad de proporcionar una pista de circulación con condiciones de curvatura, pendiente, visibilidad, sección transversal, uniformidad, textura, etcétera, apropiadas a una demanda de operación cada vez más exigente. Las ideas anteriores condujeron a la construcción de terracerías y condicionaron su evolución. Obviamente la superficie de las

terracerías debería ofrecer condiciones de rodamiento apropiadas y confortables al volumen creciente de vehículos cada vez más rápidos y pesados. Por razones económicas que saltan a la vista, en la construcción de las terracerías se impone el empleo de los materiales inmediatos a ellas; esto llevó desde un principio a la utilización de suelos y fragmentos de rocas.

Cuando el nivel del tránsito empieza a tener importancia se hace imperativo recubrir la superficie de las terracerías con una capa que cumpla los siguientes requisitos:

- 1.-Estable ante los agentes del intemperismo.
- 2.-Resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- 3.-Textura apropiada al rodamiento.
- 4.-Durable.
- 5.-Condiciones adecuadas en lo referente a permeabilidad.
- 6.-Económica.

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

La capa de que se habla resulta entonces necesariamente de mayor costo que el material de las terracerías y esto hace que los factores económicos adquieran en ella un factor relevante.

1.3.1 PAVIMENTO FLEXIBLE.

El sistema con que típicamente se estructuran la mayor parte de los pavimentos flexibles que se construyen en la actualidad, es como se muestra en la figura 1-12, para los pavimentos en una sección de balcón.

Bajo una carpeta asfáltica formada típicamente por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico que constituye la superficie de rodamiento, se dispone casi siempre por lo menos de dos capas bien diferenciadas; una base de material granular y una sub-base formada, preferentemente, también por material granular, aunque el requisito exija menos que en la base, en el sentido de

poderse admitir suelos de menor calidad, con mayor contenido de finos y menor exigencia en lo que se refiere a granulometría.

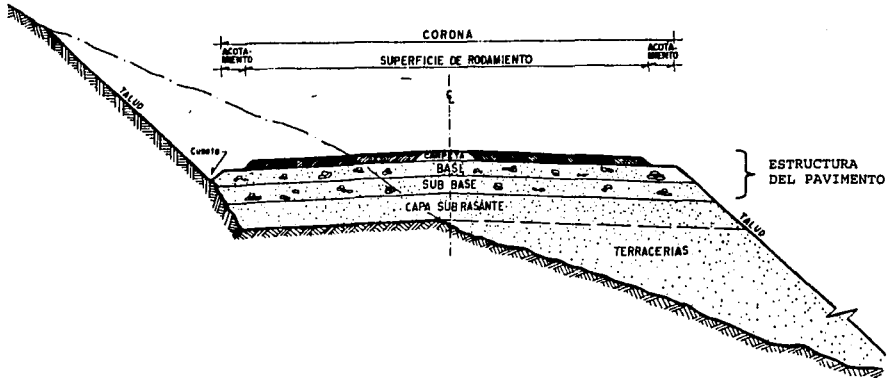


Figura 1-12 Secciones típicas de los pavimentos flexibles, en balcón.

Bajo la sub-base se dispone otra capa, denominada subrasante, todavía con menores requisitos de calidad que la sub-base.

Bajo la subrasante aparece el material convencional de la terracería, tratado mecánicamente sin excepción, por lo menos en lo referente a la compactación.

CAPA SUB-RASANTE

De su capacidad de soporte depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Si el terreno de la subrasante es pésimo, debe desecharse este material y sustituirse por otro de mejor calidad, también puede mejorarse agregando cal, cemento Pórtland o productos asfálticos. Si el terreno es malo, deberá colocarse una sub-base granular de material seleccionado antes de poner la base y capa de rodamiento. Si el terreno es regular o bueno, posiblemente no se requerirá la capa de sub-base. Finalmente, si el terreno es excelente, bastaría colocar encima la carpeta de rodamiento, las capas que pudieran ser colocadas dependerá estrictamente del tránsito para la cual se diseñó el pavimento.

Una subrasante del suficiente espesor y calidad permitirá muy importantes ahorros en los espesores de los pavimentos

suprayacentes, sin perjuicio de la función estructural conjunta, pues será capaz de absorber niveles de esfuerzos relativamente altos provenientes de la superficie y transmitidos suficientemente disminuidos a las terracerías.

Los materiales que se usan en la capa subrasante nunca pueden ser demasiado buenos, de manera que la contribución de la capa usualmente descansa más en el espesor que en la calidad, pero es incuestionable que si se logra una alta calidad en el material de la subrasante podrán tenerse los más importantes ahorros en los espesores de las capas de pavimento.

En muchos países, la subrasante no constituye un material diferente al de las terracerías y se distingue de éste solo por un mejor tratamiento de compactación.

SUB-BASE

Para muchos, la principal función de la sub-base de un pavimento flexible, es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría constituirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirla en parte por una de menor calidad, aunque haya de ser aumentado el espesor, pues, naturalmente, cuanto menor sea la calidad del material colocado tendrá que ser mayor el espesor necesario para soportar y transmitir los esfuerzos.

Otra función de la sub-base consiste en servir de transición entre el material de la base y el de la subrasante que tiende a ser mucho más fino. La sub-base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante; por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento.

Otra función de la sub-base, es actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre desde la superficie y para impedir la acción capilar hacia la base de agua procedente de la terracería.

BASE

Hasta cierto punto existe en la base una función económica, pues permite reducir el espesor de la carpeta, más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento flexible es

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

estructural y consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas. La base tiene también una importante función drenante, según la que debe ser capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir radicalmente la acción capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

CARPETA

La carpeta debe proporcionar en el pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la aplicación directa de la carga, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenado, los producidos por las fuerzas centrifugas, los impactos, etc.; debe tener la textura necesarias para permitir un rodamiento seguro, cómodo y un frenado apropiado. La naturaleza de la carpeta debe ser tal que resista la acción de los agentes del intemperismo. Es de desear que tenga un color que evite reflejos del sol durante el día o de luces artificiales durante la noche.

Su función primordial será proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base debido al tránsito de los vehículos.

Asimismo, la capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad de soporte del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable.

La exposición directa a las cargas del tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta esté formada por material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal y exterior nula, ("cohesión") el producto asfáltico que liga los agregados pétreos la proporciona, en el caso de las carpetas bituminosas.

La mejor práctica es buscar un material en el que las partículas se defiendan de la abrasión por su peso y por un fuerte amarre, este buen acomodo puede beneficiarse con una granulometría relativamente variada, donde las partículas hasta del tamaño de las arenas puedan rellenar los huecos entre las partículas más grandes del conjunto. El añadir finos, dependerá estrictamente de cumplir los requisitos de granulometría y calidad en general.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

carreteras y la aparición de aviones más grandes en aeropuertos, pusieron de manifiesto la influencia de un apoyo adecuado en la vida de las losas de concreto y, como consecuencia, en la actualidad se ha establecido la norma de construir una sub-base apropiada a todas las carreteras de tráfico pesado y en la mayoría de las aeropistas. Esta sub-base consiste en una o más capas de materiales granulares, muchas veces estabilizados; Solamente cuando la subrasante cumpla de por sí las características que se estiman deseables para la sub-base podrá evitarse él construirla en forma especial.

SUB-BASE

Las principales funciones de la sub-base de un pavimento rígido son las siguientes:

1. Proporcionar un apoyo uniforme a la losa de concreto.
2. Incrementar la capacidad de soporte de los suelos de apoyo, respecto a la que es común a las terracerías y capa subrasante.
3. Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la subrasante.
4. Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de la terracerías o de la capa subrasante.
5. Evitar el bombeo.

Dada la rigidez comparativa de las losas de concreto y su resistencia, los esfuerzos que se transmiten a la sub-base son pequeños, por lo que la resistencia no suele ser un requisito importante. En cambio, el correcto trabajo de la losa exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento; un buen apoyo debe incluir transiciones graduales en donde haya cambios abruptos en la capacidad de carga del terreno.

SUBRASANTE Y TERRACERÍAS

La susceptibilidad a la expansión deberá vigilarse también en los materiales de terracería, pues naturalmente si estos sufren fuertes cambios de volumen se tendrán deformaciones de importancia en la superficie de la sub-base, con los correspondientes problemas de pérdida de apoyo aún si la subrasante y la propia sub-base están formadas con materiales no susceptibles. Desde este punto de vista,

las regiones áridas son de peligrosidad especial. Debe contarse con que el contenido de agua de la mayor parte de las subrasantes y sub-bases se incrementará después de la construcción a un valor no lejano al límite plástico de los suelos constituyentes, lo que suele quedar ligeramente por arriba del óptimo del campo. Par lograr un material compactado en el que se produzcan mínimos cambios de volumen durante la vida del pavimento.

1.4 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS PAVIMENTOS.

Las siguientes pueden considerarse como las características fundamentales de un pavimento, considerado como un conjunto:

- a) La resistencia estructural.
- b) La deformación.
- c) La durabilidad.
- d) El costo.
- e) Los requerimientos de conservación.
- f) La comodidad.

a) LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL

La primera condición que debe cumplir el pavimento es soportar las cargas impuestas por el tránsito dentro de los niveles de deterioro y destrucción previstos por el proyecto. Las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura; como consecuencia, en el estudio de los pavimentos flexibles suele considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural, por lo que la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental.

Además de los esfuerzos cortantes, también actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y frenado de los vehículos y esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura, a cierta distancia del área cargada, cuando esta se deforma verticalmente hacia abajo.

Otro factor que influye substancialmente en la resistencia de los materiales es el tipo de carga que se le aplica y la velocidad con que ello se hace. De hecho, el problema de la resistencia se plantea en general en relación con la estructura de los materiales del pavimento, pues aunque los materiales de la terracería son de menor calidad, el espesor protector que el propio pavimento representa hace que los esfuerzos que llegan a aquellos niveles alcancen niveles inferiores a la capacidad de carga a la falla de los suelos.

La resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista.

1.- En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes de los pavimentos para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.

2.- En cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituye la unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos que recibe del pavimento y transmitirlos a la terracería, a niveles convenientes.

b) LA DEFORMACIÓN.

Dada la naturaleza de los materiales con que se forman las capas del pavimento, la deformación suele crecer y ser mayor a partir de la capa subrasante hacia la terracería. Desde este punto de vista la deformabilidad interesa sobre toda a niveles relativamente profundos, ya que las capas superiores soportan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento dos tipos de deformación principales; Las ELÁSTICAS que son de recuperación instantánea y las PLÁSTICAS que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles.

La deformación elástica repetida preocupa sobretodo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que pueden llegar a generar falla por fatiga si la deformación es importante y los materiales son susceptibles. Otro problema importante radica en medir la deformación que el pavimento va a sufrir bajo la carga.

La estimación de las deformaciones elásticas, que es posible hacer con razonable precisión, una vez conocidos los materiales que constituirán el pavimento, se logra obteniendo su módulo de deformación por medio de alguna de las diversas pruebas de campo que hoy existen y pueden realizarse sobre terraplenes de prueba en las condiciones consideradas críticas.

En cuanto a la medición de deformaciones plásticas, efecto acumulativo de la carga repetida, se ha atacado con criterios puramente empíricos, cuyo aprovechamiento por los métodos de diseño requiere de extrapolaciones experimentales.

Existen dos criterios para fijar la deformación máxima permisible, entendiéndose por ésta la condición en la que el pavimento llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado (criterio AASHTO o de índice de servicio), o bien se toma en cuenta la deformación que obligue a una reconstrucción de determinada importancia económica (criterio BRITÁNICO).

c) LA DURABILIDAD.

Las incertidumbres prácticas ligadas a la durabilidad de un pavimento flexible son grandes. Evidentemente que están ligadas a una serie de factores económicos y sociales del propio camino; en una obra modesta, la duración del pavimento puede ser mucho menor, con tal que la serie de reconstrucciones que entonces se requieran valga menos que el costo inicial de un pavimento mucho más durable, más el valor que pueda darse a las interrupciones de servicio a que las reconstrucciones den lugar; por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy durables a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Una vez fijado el criterio que proporcione la duración deseada en el pavimento, surgen muchas incertidumbres de carácter práctico para lograrla. Los pavimentos pueden estar expuestos durante su vida útil a circunstancias de orden extraordinario, tales como lluvias ciclónicas, inundaciones, terremotos, etcétera; resulta aun más complicado tratar de establecer la resistencia deseable de un pavimento ante este tipo de eventos o las normas de proyecto que han de implantarse para alcanzar una determinada duración.

d) EL COSTO.

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

De hecho, la primera posibilidad se tiene al elegir el tipo de pavimento a emplear en cada caso; los pavimentos rígidos, flexibles o semirígidos son ventajosos o inconvenientes según los casos, hablando comparativamente. En general los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco, pero su costo de construcción es alto y está circunscrito a la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más costosa. Los pavimentos semirígidos pueden constituir soluciones muy económicas cuando los materiales que se dispone para la construcción lo hacen convenientes, pues permiten muy apreciables reducciones en los espesores. No hay reglas fijas que permitan establecer el tipo de pavimento conveniente en cada caso y el punto deberá establecerse en cada situación particular.

Elegido el tipo de pavimento, deberán seleccionarse los materiales que intervendrán en su estructura, homogeneidad de los bancos, los métodos de extracción a seguir, los tratamientos a dar a los diferentes materiales, el volumen de los desperdicios y el del material aprovechable, etcétera, todos los cuales se reflejan mucho en los costos.

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

e) LOS REQUERIMIENTOS DE LA CONSERVACIÓN.

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

La intensidad del tránsito también se refleja en el aspecto de prever el crecimiento futuro, tanto del número como del tipo de vehículos circulantes.

Otro factor a tomar en cuenta en la conservación de los pavimentos es el futuro comportamiento de las terracerías, sus deformaciones, derrumbes, saturaciones locales, etcétera, pues de otra manera ha de llegarse a graves problemas de conservación y reconstrucción. Es frecuente que el comportamiento esperado para las terracerías se refleje en forma decisiva en los pavimentos.

Las condiciones de drenaje y subdrenaje de la vía terrestre son seguramente uno de los puntos más importantes para definir tanto la vida de un pavimento, como su necesidad de conservación.

La degradación estructural de los materiales constitutivos por carga repetida, es otro aspecto a reflejarse en los requerimientos de conservación. Aunque existen en la actualidad algunas pruebas orientadas al comportamiento de los materiales.

Frecuentemente a los pavimentos se les realiza una conservación sistemática y en algunos casos, deficiente, con lo que su vida se acorta imprevisiblemente. Esto sucede sobre todo por falta de recursos o impostergables necesidades sociales para la construcción de obras nuevas.

f) LA COMODIDAD.

Especialmente en grandes autopista y caminos de primer orden, los problemas y métodos de diseño de los pavimentos deben verse afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad del proyecto. Evidentemente dentro de este requisito quedan incluidos muchos otros, de los que la seguridad es el más importante; la estética y su efecto en la reacción psicológica del conductor merecen también consideración.

CAPÍTULO 2.- ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.

Los estudios geotécnicos realizados en las vías terrestres son los estudios que se realizan tanto en campo como en laboratorio, mediante recorridos, inspecciones, análisis y cálculos, que conducen a la elaboración de recomendaciones geológicas en que han de apoyarse los proyectos y los procedimientos constructivos de las vías terrestres. Los estudios geotécnicos se dividen comúnmente en dos etapas; en la primera se realiza el reconocimiento del lugar, exploración y muestreo del terreno y pruebas de laboratorio (ver tabla 2-A), mientras que en la segunda se recopila la información disponible la cual es analizada para generar recomendaciones.

En estos estudios se presenta la información relevante sobre el terreno de cimentación, los tipos de materiales a emplear y el uso que pudiera darse a los materiales existentes en el lugar indicando el comportamiento futuro de los mismos y si requieren tratamiento especial para su uso, ver tabla 2-B.

En los reconocimientos previos se realiza la identificación del sitio donde se encuentra el trazo del proyecto para elaborar una zonificación geotécnica general, también se identifican los posibles bancos de materiales y se programan los sondeos.

En los reconocimientos definitivos se utiliza la información del reconocimiento previo que servirá para realizar un segundo recorrido en el cual se iniciará con la excavación de pozos a cielo abierto a lo largo del trazo obteniendo los espesores y características de los materiales.

En la exploración y muestreo se define el perfil del suelo de las zonas de cimentación, obteniendo muestras de cada sondeo, definiendo las propiedades mecánicas de los materiales y conociendo los coeficientes de variación volumétrica de los mismos.

| | | |
|------------------------|--|--|
| RECONOCIMIENTOS | Previos | Zonificación, bancos de materiales, programación de sondeos. |
| | Definitivos | Pozos a cielo abierto |
| EXPLORACIÓN Y MUESTREO | Perfil del suelo. Muestras. Pruebas mecánicas. Coeficiente de variación volumétrica. | |
| PRUEBAS DE LABORATORIO | Granulometría, límites de Atterberg, equivalente de arena, humedad natural y óptima, peso volumétrico seco máximo y valor relativo de soporte. | |

Tabla 2-A Primera etapa de los estudios geotécnicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| ETAPA DE LA EXPLORACION | | TIPO DE PRUEBA QUE SE PUEDE REALIZAR | TIPO DE MUESTRA | CANTIDAD O TAMAÑO DE LA MUESTRA |
|--|---------------------|---|-----------------------------------|--|
| Reconocimiento exploratorio | | Clasificación visual. Contenido de agua. Límites de plasticidad. | Representativa | Muestra de posteadora, barrenos o penetrómetro. También de pozos a cielo abierto o zanjas. |
| Exploración detallada | | Límites de plasticidad. Análisis granulométrico. Peso específico relativo. | Representativa | Alrededor de 1 dm ³ . Alrededor de 50 kg. Alrededor de 1 dm ³ . |
| Pruebas menores, (rapidas). | | Contenido de agua. Peso específico. | Representativa, bien sellada. | Suelen ser adecuadas de 5 cm. de diámetro, pero se usan con frecuencia algo mayores. En pozos a cielo abierto suelen extraerse muestras del orden de 30 cm. de lado. |
| | | Compresión simple. Prueba directa de esfuerzo. Corte. | Inalterada. | Para pruebas de esfuerzo corte es deseable muestras de 10 cm. de diámetro. |
| Exploración detallada. Pruebas mayores, (elaboradas). | | Permeabilidad. Consolidación. Compresión triaxial. | Inalterada. | Ocasionalmente muestras de 5 cm. de diámetro, pero resultan más convenientes las de 10 cm. y aun más las de 15 cm. de diámetro. |
| | | Pruebas directas; pruebas especiales de esfuerzo cortante. | Inalterada. | Muestras de 10 cm. de diámetro como mínimo; preferentemente de 15 cm. de diámetro. En pozos a cielo abierto muestras cúbicas de 30 ó 40 cm. de lado. |
| Materiales de construcción | Exploración | Análisis granulométrico. Compactación y valor relativo de soporte. Compresión triaxial. Prueba en agregados para concreto. | Representativa en estado natural. | 50 a 100 kg. como mínimo, pero a veces la serie completa de pruebas sobre un mismo material requiere 250 kg. |
| | Control de calidad. | Peso específico seco. Contenido de agua. Valor relativo de soporte. Compresión triaxial. | Inalterada. | Muestra de 5 a 10 cm. de diámetro. En pozos a cielo abierto, muestras cúbicas de 30 cm. de lado por lo menos. Muestras procedentes del molde V.R.S. |
| Agua | ----- | Análisis químico. Análisis bacteriológico. | Representativo. | 10 lts. |
| Corazones de roca, (nucleos). | ----- | Inspección visual. Pruebas mineralógicas. Compresión, esfuerzo cortante, porosidad, permeabilidad al aire. | Inalterada. | Muestras de 2.2 cm a 2.9 cm (7/8" y 1 1/8", barras EX y AX, respectivamente). Preferiblemente de 4.13 cm a 5.40 cm (1 5/8" a 2 1/8", barras BW y NW, respectivamente). En roca suave o muy fracturada convendrá llegar a muestras hasta 15 cm. de diámetro. |

Tabla 2-B Etapas de la exploración y pruebas de laboratorio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1 ETAPAS DE LOS ESTUDIOS PREVIOS Y DEFINITIVOS.

En las vías terrestres se utilizan esencialmente los mismos métodos de exploración y muestreo, comunes a todos los campos de aplicación de la mecánica de suelos.

2.1.1 ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y FOTOINTERPRETACIÓN.

En las vías terrestres se considera como información básica la que proporcionan los mapas geológicos, con trabajo de campo o fotointerpretación pueden determinarse los tipos de formaciones de suelos y rocas, así como sus límites y secuencias, lo cual proporcionará la primera idea en relación con las propiedades mecánicas de los suelos existentes en la zona, lo mismo que la primera información sobre problemas de estabilidad. Por los mismos procedimientos es posible definir las estructuras geológicas de interés, tales como fallas, trayectorias de juntas y fisuras, deslizamientos de suelo, etc. Un estudio geológico es el primer paso obligado en el proyecto de una vía terrestre.

Los principales datos que es posible obtener de estudios de fotointerpretación son los siguientes:

1. Características sociales y económicas de la zona por la que se desarrollará la vía terrestre, incluyendo población, industrias, cultivos, minería, y un levantamiento de las obras de ingeniería existentes en la región.

2. Topografía de la zona, incluyendo facilidades de acceso.

3. Datos relacionados con el clima, tales como vegetación, humedad, etc.

4. Factores hidrológicos, tales como corrientes importantes, longitud, y localización de puentes y la configuración precisa del drenaje regional.

5. Descripción general de rocas y suelos.

6. Identificación de características hidrológicas y geológicas de interés, tales como formaciones lacustres o pantanosas, formaciones inestables, lugares de erosión acelerada, falta o abundancia de materiales de construcción, posibles dificultades para realizar excavaciones, zonas de infiltración, llanuras de inundación, etc.

7. Definición del uso de la tierra, de los tipos de cultivo, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una vez completado el trabajo de fotointerpretación en cualquiera de las etapas de proyecto, será preciso verificar sus conclusiones en el campo, examinando la zona por la que pasará la vía terrestre para comprobar todas las características del estudio; completado este paso, deberá rehacerse en lo necesario la fotointerpretación realizada, ratificando o rectificando las conclusiones obtenidas.

Un informe geológico para cualquiera de las etapas de proyecto debe incluir datos sobre rocas, suelos, cruces, etc. con el grado de detalle necesario según la etapa del proyecto a que corresponda.

2.1.2 EXPLORACIÓN DIRECTA DE SUELOS Y ROCAS.

En cada caso ha de planearse la exploración de un modo distinto, no sólo diferenciando una vía terrestre de otra, sino los diferentes tramos de cada una o las diversas zonas de cada tramo.

Existen cinco tipos de problemas fundamentales que requieren de exploración de suelos en conexión con la construcción de vías terrestres.

1. Análisis de estabilidad en cortes y terraplenes.
2. Investigación de bancos de materiales.
3. Estudio de cimentación para puentes y otras estructuras.
4. Exploraciones con fines de control de calidad.
5. Estudio de drenaje subterráneo y superficial.

Además de los anteriores existen problemas menos generales o frecuentes que exigen también exploración directa, como puede ser obtener agua para la compactación en una carretera que cruce una zona desértica.

2.1.3 REQUERIMIENTOS DE MUESTREO.

La naturaleza de las muestras que se deben obtener, fija el método de exploración que se ha de utilizar. En la tabla 2-B se presenta una relación comúnmente utilizada.

2.1.4 MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA (MÉTODOS GEOFÍSICOS).

Cada día es mayor el uso que se da a los métodos geofísicos en el campo de las exploraciones para las vías terrestres, tales métodos de exploración pueden rendir excelentes frutos por su capacidad de explorar grandes superficies a un costo relativamente bajo y con una precisión que muchas veces resulta suficiente.

Los métodos que más se utilizan en la actualidad son:

- a) Sísmico.
- b) Eléctrico
- c) Magnético.
- d) Gravimétrico.
- e) Radiactivo.
- f) Geotérmico.

De estos métodos, los dos primeros son los más usados en proyecto y construcción de vías terrestres.

El método sísmico, se basa en la diferencia de velocidad de propagación de las ondas elásticas en medios de constitución diferentes. Por lo general los diferentes minerales tienen densidades y pesos específicos bastante parecidos; en cambio, los módulos elásticos son muy distintos; la velocidad de propagación de las ondas elásticas depende mucho del módulo de elasticidad y se correlacionan con él en forma bastante confiable, por lo que las medidas de propagación pueden poner en evidencia cambios en la naturaleza de los materiales y estratificaciones.

En las aplicaciones del método sísmico se provocan las ondas elásticas por medios artificiales, tales como impactos o explosiones. Las vibraciones que transmite el suelo se recogen en aparatos sensibles capaces de registrarlas e inscribirlas, llamados sismógrafos ó geófonos.

El método sísmico se aplica de dos maneras distintas, por reflexión o por refracción.

El método eléctrico esta basado en la diferencia de conductividad eléctrica que presentan los materiales en el subsuelo, los cuales son bastante correlacionables con otras

características geológicas y mecánicas. La resistividad de las rocas ígneas sanas es mucho mayor que las de los suelos saturados sueltos; sin embargo, algunos depósitos sedimentarios secos pueden tener resistividades bastante altas. En general, la resistividad depende principalmente de la calidad y salinidad del agua contenida en el subsuelo y, en menor grado, de la composición mineralógica de los suelos y las rocas.

Existen dos variantes principales en los métodos geofísicos eléctricos, el de resistividad propiamente dicho y el de caída de potencial.

El método de resistividad consiste en producir un campo eléctrico en el terreno por medio de dos electrodos de corriente, (ver figura 2-1).

En el método de la caída de potencial se colocan dos electrodos de corriente muy alejados (5 ó 10 veces la profundidad que se desea explorar) y se hacen las medidas cerca de uno de tales electrodos (ver figura 2-2).

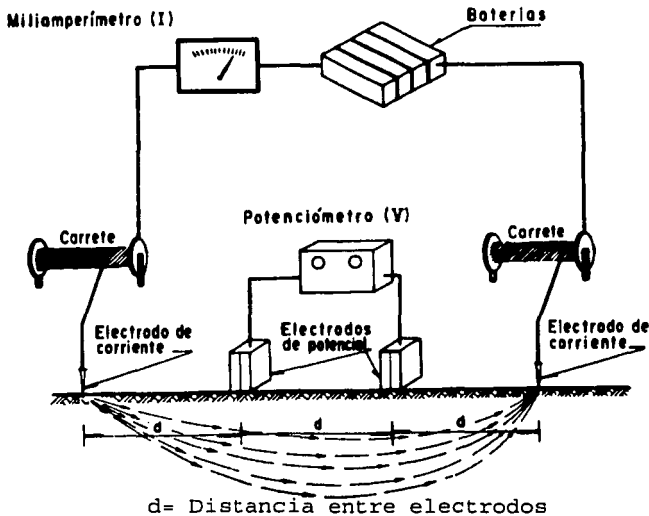


Figura 2-1 Esquema del dispositivo para exploración geofísica por el método de resistividad eléctrica.

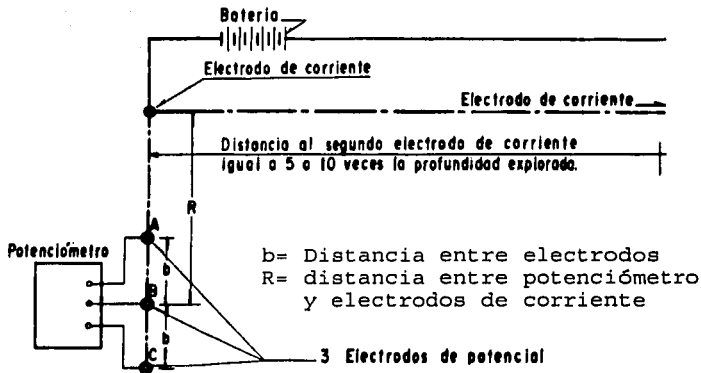


Figura 2-2 Método eléctrico de la caída de potencial.

2.2 ESTUDIOS DE LABORATORIO.

Con objeto de que los ingenieros tanto de campo como de oficina estén en condiciones de entenderse con respecto a los suelos, es necesario disponer de un método estándar de identificación y clasificación de los mismos.

Un sistema que describa a los suelos y los coloque en categorías o grupos que tienen distintas propiedades, capacita a los ingenieros para intercambiar información y obtener provecho de la experiencia de los demás.

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

La mayoría de los suelos son acumulaciones heterogéneas de granos de materiales no cementados, el uso del término suelo o tierra usado por los ingenieros incluyen todos los materiales orgánicos e inorgánicos, cementados o no, que se encuentran en la tierra. La roca que conserva sus características después de sufrir un largo período de intemperismo, es excluida del concepto anterior.

Para el ingeniero interesado en el diseño y construcción de cimentaciones y obras de terracería, las propiedades físicas de los suelos, tales como peso volumétrico, permeabilidad, resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad e interacción con el agua, son de primordial importancia.

Para el diseño final de estructuras importantes, la clasificación deberá ser complementada por pruebas de laboratorio que determinen las características de comportamiento del suelo, tales como permeabilidad, resistencia al esfuerzo cortante, y compresibilidad, para condiciones previstas en campo.

El conocimiento de la clasificación del suelo, incluye sus propiedades típicas, los informes que contienen clasificaciones adecuadas de suelos y descripciones correctas de ellos, pueden utilizarse para hacer estimaciones preliminares, determinar la extensión de las investigaciones de campo, en la planeación de un programa económico de pruebas de laboratorio y en la aplicación de los resultados de las pruebas a exploraciones adicionales.

En la naturaleza de los suelos, rara vez existen separadamente gravas, arena, limos, arcillas o materia orgánica, sino que generalmente se encuentran en forma combinada y proporciones variadas. El S.U.C.S. se basa en el reconocimiento del tipo y predominio de los materiales, considerando tamaño de grano, graduación, plasticidad y compresibilidad. Esta clasificación los divide en tres grupos principales: suelos gruesos, suelos finos y suelos orgánicos (turba).

En 1952, el "Bureau of Reclamation" y el "Corps of Engineers", en unión con el profesor A. Casagrande, como consultor, llegaron a un acuerdo para modificar su clasificación de suelos para aeropuertos, dando origen al llamado "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos" (S.U.C.S.). Este sistema toma en cuenta las propiedades de los suelos relacionadas con la ingeniería; es descriptivo y fácil de adaptarse al suelo real, y tiene la flexibilidad suficiente para poder usarse en el campo y en el laboratorio. Su mayor ventaja se encuentra en que se puede clasificar rápidamente por examen visual y manual, sin necesidad de pruebas de laboratorio. El S.U.C.S. está basado en el tamaño de las partículas, sus cantidades y variedades de tamaños, así como en las características de los granos finos.

Actualmente, el Sistema Unificado Para Clasificación de Suelos es el más efectivo.

El sistema clasifica a los suelos finos principalmente con base en sus características de plasticidad, cuya correlación con las propiedades mecánicas básicas es consistente y confiable. Los suelos gruesos mayores que la malla N°200 (0.074 mm de abertura), se clasifican sobre todo con criterio granulométrico.

El S.U.C.S. nació como medio para clasificar suelos finos únicamente, (menores que la malla N°200), y después fue extendido hasta incluir gravas y arenas. Para el ingeniero de vías terrestres

tiene aún la deficiencia de que éste ha de manejar en muchos casos fragmentos de rocas, de tamaños más o menos grande, que queda fuera del sistema original. Los técnicos mexicanos han venido usando el S.U.C.S. desde hace muchos años, siempre con resultado satisfactorio, y su familiaridad con él les ha ido induciendo a hacerle pequeñas modificaciones de orden secundario, dictadas en cada caso por la conveniencia práctica. También lo han complementado con un sistema para clasificar los fragmentos de roca (mayores de 7.6 cm) que con tanta frecuencia han de ser manejados en la ingeniería de las vías terrestres.

A pesar de que la mayor parte de las clasificaciones del suelo se harán a simple vista y por medio de pruebas manuales, el S.U.C.S. ha tenido la manera de clasificar con precisión a un suelo por medio de pruebas de laboratorio, que consisten en análisis mecánicos y determinación de los límites de Atterberg. Las clasificaciones en laboratorio se hacen sobre muestras representativas de suelos que han sido sujetas a pruebas de resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad y permeabilidad.

La curva granulométrica se usa para clasificar al suelo, como grueso o fino, y siendo grueso como grava o arena, haciendo uso del criterio del 50%.

De acuerdo a la tabla 2-B muestreo en suelos, presentada anteriormente, las pruebas que se realizan varían de acuerdo al objetivo, tipo de material a estudiar y principalmente al momento o etapa en que se encuentre el proyecto.

Las pruebas de que hablamos, generalmente son las siguientes: clasificación del material, límites de consistencia o Atterberg, límites de plasticidad, análisis granulométricos, pesos específicos, compresión simple, pruebas directas de esfuerzo, corte, densidades, V.R.S., expansión y contracción comúnmente, las cuales nos darán una idea clara del comportamiento del material a la hora de utilizarlo o nos pondrá al tanto de los problemas que se tendrán si se utilizara.

Con estas pruebas el Ingeniero será capaz de determinar la utilización o no de los materiales y posibles mejoras que se pudieran hacer para la utilización obligada de ellos.

2.3 PRUEBAS DE CAMPO.

El suelo se clasifica inicialmente como suelo grueso o suelo fino, (excluyendo las partículas mayores de 3"), estimando si el 50% en peso de las partículas pueden o no verse individualmente a simple vista (granos gruesos). Los suelos que contienen mas del 50% de partículas gruesas son suelos gruesos; los que contienen mas del 50% de partículas finas (menores a los que el ojo puede distinguir), son suelos finos.

Si el suelo es predominantemente grueso se clasifica como grava o arena si más del 50% son granos mayores o menores que la malla N°4 (4.69 mm).

Si el suelo es grava deberá identificarse como limpia (si contiene pocos finos o ningún fino), o sucia si contiene gran cantidad de finos. Para las gravas limpias la clasificación final se hace estimando la buena graduación o mala graduación. las gravas sucias son del tipo plástico (arcilloso) o no plástico (limoso), la determinación de sí es finos o plásticos se hace mediante las siguientes tres pruebas:

- A.- Movilidad del agua de los poros (reacción al agitado).
- B.- Quebrantamiento (resistencia en seco).
- C.- Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico).

Para poder determinar las propiedades de un suelo es necesario contar con una muestra representativa, tomando en cuenta que un muestreo adecuado tiene el mismo valor que un ensaye.

Las muestras pueden ser de dos tipos:

Alteradas; cuando no guarda las mismas características del material de donde procede.

Inalteradas; en caso contrario.

Para obtener muestras alteradas el muestreo debe efectuarse según el fin que se persiga.

1.- Se puede tomar muestras individuales de un sondeo a cielo abierto (pozo de 1.5 m x 1.5 m de superficie y de profundidad requerida), tomando una muestra fresca de cada estrato.

2.- Muestras individuales mediante perforación con barrena, tomando una porción representativa de cada material encontrado.

3.- Muestras integrales, ya sean de zanjas abiertas o de cortes, excavando un canal vertical de sección uniforme desde la parte superior hasta el fondo de la excavación.

4.- Muestras integrales procedentes de perforaciones con barrena, tomando todo el material extraído.

5.- En materiales acordonados, se corta en forma transversal el material, tomando el producto de toda la sección.

Para obtener muestras inalteradas.

- 1.- El caso más simple corresponde al cortar un trozo del suelo del tamaño deseado (generalmente de 30cm x 30cm x 30cm), cubriéndolo con manta de cielo y una mezcla de brea y parafina para evitar perdida de humedad.
- 2.- Muestras inalteradas de la pared de un sondeo a cielo abierto o de la pared de un corte, se excava a los lados y por atrás dando forma al trozo y cubriéndolo también con parafina.

Los pozos a cielo abierto siempre dan una información correcta hasta donde él llega ya que permite una inspección visual de los estratos.

2.4 SELECCIÓN DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN.

Una vez que se han realizado los estudios socioeconómicos que justifican la construcción de una nueva carretera, es necesario programar los estudios de vialidad, que permitan el establecimiento de prioridades para elaborar los proyectos y las obras correspondientes.

Se realizan una serie de trabajos preliminares que básicamente comprenden el estudio comparativo de las rutas posibles y convenientes, para seleccionar de estas, la que ofrezca las mayores ventajas económicas y sociales.

Cabe mencionar que la ruta, es la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual se puede hacer la localización de un camino.

Los puntos obligados son aquellos sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino, por razones técnicas, económicas, sociales y políticas, estos pueden ser poblaciones, sitios o áreas productivas y puertos orográficos.

La selección de ruta involucra varias actividades, desde el acopio de datos, examen y análisis de los mismos, hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios para la determinación a este nivel, los costos y ventajas de las diferentes rutas para elegir la más conveniente.

En la figura 2-3 se presenta el diagrama de flujo general, para la elección de ruta.

El acopio de datos, la topografía, la geología, la hidrología, el drenaje y el uso de la tierra, son factores determinantes en la localización y en la elección del tipo de carretera, los cuales conjugados con los datos de tránsito, constituyen la información básica para el proyecto.

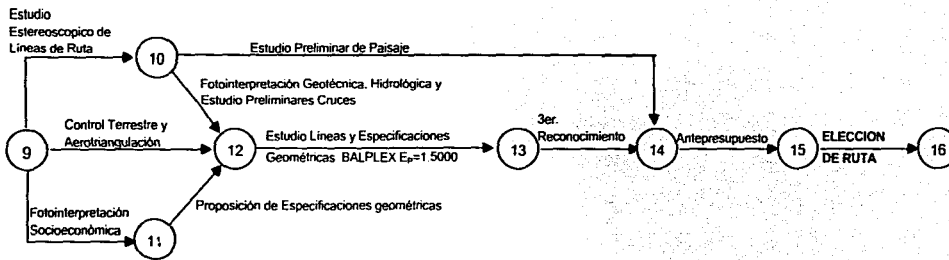
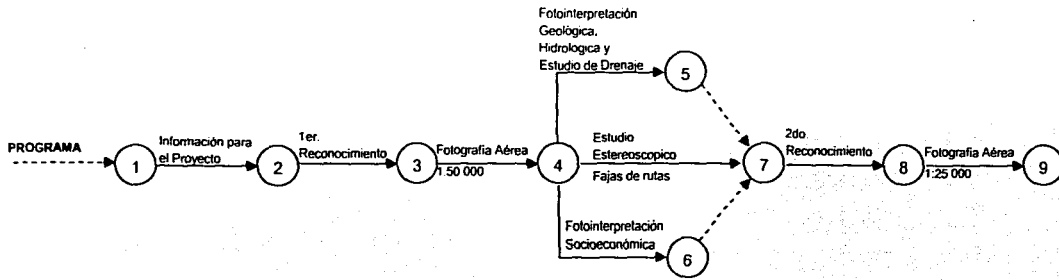


Figura 2-3 Diagrama de flujo para elección de ruta.

Se recopila la información sobre las obras existentes, así como la que se pueda obtener sobre las planeadas a corto y largo plazo, para determinar la zona de influencia del nuevo proyecto carretero.

Con los estudios que se deben hacer sobre las cartas geográficas, el ingeniero se forma una idea de las características más importantes de la región, principalmente en lo que respecta a la topografía, hidrología y lo correspondiente a las poblaciones. Las principales cartas geográficas disponibles en la actualidad son a escalas 1:250 000, 1:100 000, 1:50 000, y 1:25 000.

Especial cuidado debe tenerse en aquellos puntos obligados, primarios o principales que guíen el alineamiento principal de la ruta. Para ello la ruta principal se divide en tramos, los cuales también, son divididos en sub-tramos, designados generalmente por los nombres de las poblaciones ubicadas en sus extremos. De esta manera es posible señalar sobre las cartas geográficas las posibles rutas.

Una vez representadas las posibles rutas en las cartas geográficas, se inicia el reconocimiento del terreno, el cual puede ser aéreo, terrestre y combinación de ambos.

El reconocimiento aéreo es el que mayor ventaja ofrece, por la oportunidad de observar el terreno a la altura que convenga, abarcando grandes zonas.

El primer reconocimiento aéreo tiene por objeto determinar las rutas que se consideren viables y fijar el área que deba fotografiarse a escala 1:50 000, esta actividad se realiza por especialistas en planeación, localización y geotecnia.

El especialista en planeación verifica la potencialidad de la zona, observando las áreas de cultivo o de agostadero, así como las poblaciones que queden dentro de la zona de influencia en las diferentes rutas; el especialista en localización verifica en el terreno si las rutas marcadas en el plano son correctas, sobre todo en lo relacionado con el relieve topográfico; El especialista en geotecnia comprobará la clasificación general de rocas y suelos, la morfología del terreno, la existencia de fallas y problemas de suelo.

El segundo reconocimiento se lleva a cabo después de haber hecho la interpretación de las fotografías 1:50 000 y tiene por objeto comprobar en el terreno lo estudiado en las fotografías, este reconocimiento permite a los especialistas descender en los lugares de interés y recabar en ellos la información que consideren necesaria. Al final de este reconocimiento, se delimita la zona que deberá cubrirse con fotografías escala 1:25 000.

El tercer reconocimiento, que puede ser aéreo o terrestre, es el refinamiento del estudio que se ha efectuado, realizado a lo largo de la poligonal en estudio llamado trazo preliminar del camino. En este reconocimiento, un ingeniero especialista en estudios topohidráulicos de cruces substituye al geólogo, con el fin de estudiar el comportamiento de los ríos y de acuerdo con el ingeniero localizador fija el lugar donde debe cruzarse.

El reconocimiento terrestre se lleva a cabo cuando por las circunstancias existentes no es posible realizar el aéreo. Tiene como desventaja que no se puede realizar un estudio abarcando grandes áreas.

El reconocimiento se lleva a cabo después de haber estudiado en las cartas geográficas las diferentes rutas y estimar las cantidades de obra de cada una de ellas, eligiendo la más conveniente, pues por este procedimiento es difícil analizar todas las alternativas posibles. El técnico en planeación realiza sus estudios previos y marca los puntos obligados auxiliado con cartas topográficas.

Durante este reconocimiento se dejan señales sobre la ruta para que posteriormente puedan ser seguidas por el trazo preliminar.

El reconocimiento combinado se lleva a cabo en las siguientes circunstancias:

- a) Cuando no se dispone de fotografías aéreas de la zona y existe la posibilidad de recorrerla en avión o helicóptero.
- b) Cuando se cuenta con fotografías aéreas de la zona y de momento no es posible continuar con el reconocimiento aéreo.

El futuro de la carretera depende de la elección de la mejor ruta entre varias posibles.

Es preciso encontrar el costo aproximado de construcción, operación y conservación que ha de recibir la vía por proyectar y compararla contra los beneficios probables que se deriven de ella. De la misma manera deben tenerse en cuenta los perjuicios ocasionados por la obra, a fin de considerarlos en la evaluación. Por lo tanto una vez establecidas las rutas probables, es necesario comparar los costos anuales.

2.5 SELECCIÓN DE AGREGADOS.

No cualquier tipo de agregado pétreo puede emplearse en forma adecuada para formar parte de la estructura de un pavimento. De ahí la necesidad de que conozcamos sus características físicas.

Para conocer las características de los agregados que se pretenden emplear en la elaboración de carpetas asfálticas, es necesario practicarles pruebas de laboratorio tales como: peso volumétrico seco y suelto, granulometría, densidad, absorción, desgaste, afinidad con el asfalto, índice de plasticidad, contracción lineal, entre otros.

En los meses de lluvias frecuentes, los suelos que pudieran compactarse muy bien en verano, pueden humedecerse demasiado en invierno, de tal modo que se imposibilita su compactación. Si los suelos se escarifican para que se sequen, es frecuente que otras lluvias saturen los materiales todavía más.

Por consiguiente, la selección de los materiales más apropiados para la construcción, depende de lo siguiente:

- 1.- Las condiciones meteorológicas durante la construcción de las terracerías.
- 2.- Lo apropiado de los materiales.
- 3.- La calidad que deba tener al ser terminado.

Se puede designar una zona de extracción de tierras para terracerías, sin embargo, el ingeniero tendrá la responsabilidad de verificar si el depósito natural de material es o no adecuado. Esto incluye la calidad del suelo, la extensión y el volumen del material aprovechable, la uniformidad del suelo o la presencia de estratos no convenientes dentro de los depósitos naturales.

En general los suelos arenosos, las mezclas de arcillas y arenas o limo y arena, el granito desmenuzado y algunas arcillas, son buenos suelos para el trabajo. Otros suelos pueden ser difíciles de compactar, como sucede en el caso del limo, las rocas limosas, la arena redonda y limpia, la arcilla común y la plástica.

En la tabla 2-C se aprecian los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, dependiendo de la capa del pavimento para la cual se pretenda utilizar, según las normas de la S.C.T.

| VRS (%) | EQUIV DE ARENA | INDICE DE DURABILIDAD | EXPANCIÓN (%) | RELACION No 200 No 40 | IP | LL | CL | VALOR CEMENTANTE | | GRANULOMETRIA | NO UTILIZAR MATERIAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----------------------|---------------|-----------------------|--|----|----|-------------------|-----------------------|-----------------|---|---------|---------|---|--------|---------|---------|---------|---|--------|---------|---------|---------|---|---|---------|---------|---------|--|---|
| | | | | | | | | max. en masa seca | max. en estado fresco | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TERRAZO | 10 mm | | 1 máx | | | | | | | | Fragmentos de óxido de color rojo, color verde y azul (1.1, entre 50 y 100), (2.1.1) mayor de 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 mm | | 1 máx | | | | | | | | Fragmentos de óxido color rojo color verde y azul (1.1, entre 50 y 100), (2.1.1) mayor de 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUB-BAKER (A)(B)(C) | 50 mm | 20 mm Tentativo | 35 mm | 0.65 máx | DE ACUERDO A LAS ZONAS GRANULOMETRICAS <table border="1"> <tr><td>1</td><td>50 máx</td><td>1.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>2</td><td>40 máx</td><td>4.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>3</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> </table> | | | | 1 | 50 máx | 1.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 2 | 40 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | Entre el lím inferior de la zona 1 y superior de la zona 3 (significa el 200 2 ^o) preferentemente materiales entre zonas 1 y 2 sin presentar cambios bruscos y presentar una forma semejante a las curvas de zona | | | | | |
| | 1 | 50 máx | 1.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 40 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BASES (A)(B)(C) | 80 mm | 30 mm | 35 mm | 0.65 máx | DE ACUERDO A LAS ZONAS GRANULOMETRICAS <table border="1"> <tr><td>1</td><td>80 máx</td><td>2.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>5.5 máx</td></tr> <tr><td>2</td><td>60 máx</td><td>4.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>3</td><td>40 máx</td><td>4.5 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> </table> | | | | 1 | 80 máx | 2.5 máx | 1.5 máx | 5.5 máx | 2 | 60 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 3 | 40 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | Entre el lím inferior de la zona 1 y superior de la zona 3 (significa el 200 2 ^o) preferentemente materiales entre zonas 1 y 2 sin presentar cambios bruscos y presentar una forma semejante a las curvas de zona | | | | | |
| | 1 | 80 máx | 2.5 máx | 1.5 máx | 5.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 60 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 40 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BASES (A)(B)(C) (100 mm) | 100 mm | 50 mm | 40 mm | 0.65 máx | DE ACUERDO A LAS ZONAS GRANULOMETRICAS <table border="1"> <tr><td>1</td><td>100 máx</td><td>2.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>5.5 máx</td></tr> <tr><td>2</td><td>80 máx</td><td>4.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>3</td><td>60 máx</td><td>4.5 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> </table> | | | | 1 | 100 máx | 2.5 máx | 1.5 máx | 5.5 máx | 2 | 80 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 3 | 60 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | Entre el lím inferior de la zona 1 y superior de la zona 3 (significa el 200 2 ^o) preferentemente materiales entre zonas 1 y 2 sin presentar cambios bruscos y presentar una forma semejante a las curvas de zona | | | | | |
| | 1 | 100 máx | 2.5 máx | 1.5 máx | 5.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 80 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 60 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BASES (A)(B)(C) (100 mm) | 80 mm | 30 mm | 35 mm | 0.65 máx | ANTES DE ESTABILIZAR NOTA el contenido de materia orgánica debe ser menor de 3% DE ACUERDO A LAS ZONAS GRANULOMETRICAS <table border="1"> <tr><td>1</td><td>45 máx y 10 mín</td><td>45 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>2</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>3</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> <tr><td>4</td><td>30 máx</td><td>2.0 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> </table> | | | | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | Entre el lím inferior de la zona 1 y superior de la zona 3 (significa el 200 2 ^o) preferentemente materiales entre zonas 1 y 2 sin presentar cambios bruscos y presentar una forma semejante a las curvas de zona |
| | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BASES (A)(B)(C) (100 mm) | 100 mm | 50 mm | 40 mm | 0.65 máx | ANTES DE ESTABILIZAR NOTA el contenido de materia orgánica debe ser menor de 3% DE ACUERDO A LAS ZONAS GRANULOMETRICAS <table border="1"> <tr><td>1</td><td>45 máx y 10 mín</td><td>45 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>2</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>3</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> <tr><td>4</td><td>30 máx</td><td>2.0 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> </table> | | | | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | Entre el lím inferior de la zona 1 y superior de la zona 3 (significa el 200 2 ^o) preferentemente materiales entre zonas 1 y 2 sin presentar cambios bruscos y presentar una forma semejante a las curvas de zona |
| | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BASES (A)(B)(C) (100 mm) | 80 mm | 30 mm | 35 mm | 0.65 máx | ANTES DE ESTABILIZAR NOTA el contenido de materia orgánica debe ser menor de 3% DE ACUERDO A LAS ZONAS GRANULOMETRICAS <table border="1"> <tr><td>1</td><td>45 máx y 10 mín</td><td>45 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>2</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>3</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> <tr><td>4</td><td>30 máx</td><td>2.0 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> </table> | | | | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | Entre el lím inferior de la zona 1 y superior de la zona 3 (significa el 200 2 ^o) preferentemente materiales entre zonas 1 y 2 sin presentar cambios bruscos y presentar una forma semejante a las curvas de zona |
| | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BASES (A)(B)(C) (100 mm) | 100 mm | 50 mm | 40 mm | 0.65 máx | ANTES DE ESTABILIZAR NOTA el contenido de materia orgánica debe ser menor de 3% DE ACUERDO A LAS ZONAS GRANULOMETRICAS <table border="1"> <tr><td>1</td><td>45 máx y 10 mín</td><td>45 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>2</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>1.5 máx</td><td>4.5 máx</td></tr> <tr><td>3</td><td>30 máx</td><td>4.5 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> <tr><td>4</td><td>30 máx</td><td>2.0 máx</td><td>2.5 máx</td><td>3.5 máx</td></tr> </table> | | | | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | Entre el lím inferior de la zona 1 y superior de la zona 3 (significa el 200 2 ^o) preferentemente materiales entre zonas 1 y 2 sin presentar cambios bruscos y presentar una forma semejante a las curvas de zona |
| | 1 | 45 máx y 10 mín | 45 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 30 máx | 4.5 máx | 1.5 máx | 4.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 30 máx | 4.5 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 30 máx | 2.0 máx | 2.5 máx | 3.5 máx | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- (A) Materiales pétreos que no requieren ningún tratamiento de disgregado, cribado o trituración
 (B) Materiales pétreos o de origen animal, que para su utilización requieren tratamientos de disgregado, cribado o trituración
 (C) Mezcla de 2 o más materiales del grupo (A), del grupo (B) o de materiales provenientes de ambos grupos
 (D) Materiales de los grupos (A), (B) o (C), mezclados con un material aglutinante
 (E) Materiales de los grupos (A), (B) o (C), mezclados con cemento portland y puzolana
 (F) Materiales de los grupos (A), (B) o (C), mezclados con cal hidratada y puzolana, o cal hidratada y cemento portland

Tabla 2-C Requisitos de calidad señalados por la S.C.T.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2.5.1 BANCOS DE MATERIALES.

Uno de los costos más importantes en la construcción y mantenimiento de las carreteras corresponde a los materiales, rocas, grava, arena y otros suelos, por lo que su localización y selección es un problema básico.

Durante años la detección de bancos de material dependió de métodos exploratorios comunes, desde la simple observación sobre el terreno, pozos a cielo abierto, posteadoras, barrenos y máquinas perforadoras hasta estudios geofísicos.

LOCALIZACIÓN DE BANCOS.

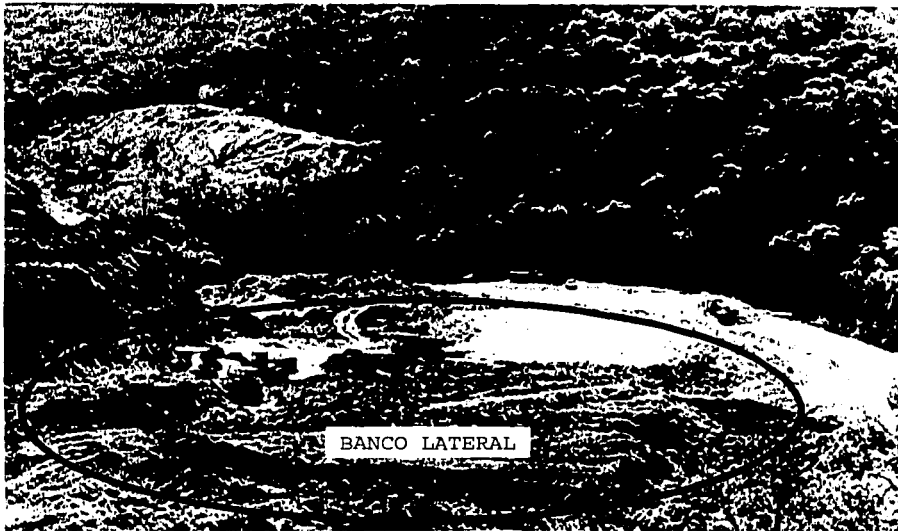
La localización de un banco no es mas que descubrir un lugar donde exista el material suficiente que pueda utilizarse en la construcción de determinada parte de la vía, satisfaciendo los requerimientos de calidad y ha de garantizarse que el banco es el mejor de entre los disponibles, de fácil acceso, que se pueda explotar con los procedimientos más eficientes y menos costosos, debe estar localizado de tal manera que su explotación no conduzca a problemas legales de difícil o lenta solución, además de no perjudicar a los habitantes de la región y que produzca las mínimas distancias de acarreo ya que éste es el concepto que más incide en el costo de la obra.

La búsqueda y localización de bancos de material puede hacerse principalmente por fotointerpretación o por reconocimientos terrestres directos; estos últimos pueden auxiliarse, a su vez, por la fotointerpretación o por métodos de prospección geofísica.

Comúnmente hay que localizar bancos para material de terracerías, para subrasante, para sub-base, base hidráulica y carpeta de concreto asfáltico o hidráulico, dependiendo de la estructura del pavimento que será construida.

Los bancos de terracerías en general abundan y son fáciles de localizar, ver fotografía N°1, conviene fijarlos no demasiado espaciados, para no dar lugar a distancias de acarreo excesivas, la separación óptima está en la mayoría de los casos, allá donde se alcance el equilibrio de costo entre el acarreo, por un lado y por otro el costo del despilme y costo de la preparación del banco. Las distancias que resultan suelen ser no mayores de 5 km entre banco y banco, aunque puede haber casos especiales en que estas distancias sean mucho mayores, sobre todo en zonas agrícolas, en los que los costos de afectación son mucho más altos. En lo que se refiere a la calidad, solo se tiene la restricción de calidad mencionada en la tabla 2-D lo mismo que los bancos de material para subrasante, para los cuales las distancias comunes pueden extenderse hasta en 10 Km

para lograr homogeneidad en longitudes significativas, para evitar que las estructuras y espesores de las capas de pavimento suprayacente varíen con demasiada frecuencia.

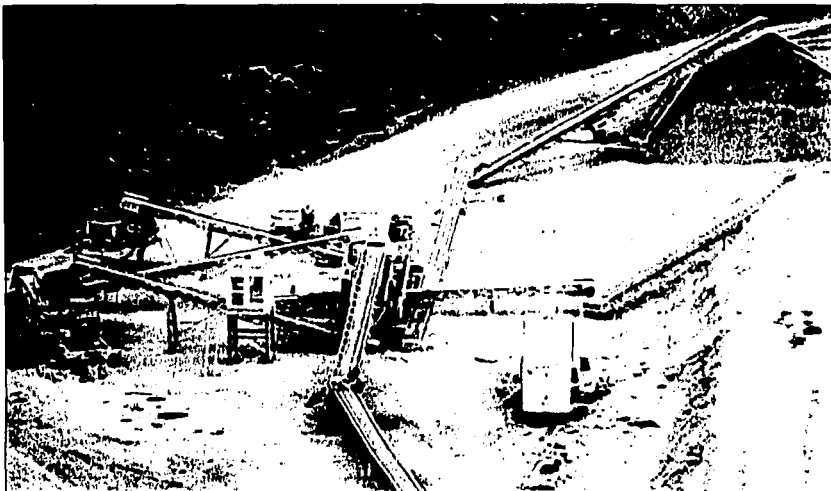


Fotografía N°1 Banco de préstamo lateral para terracerías.

Los materiales para sub-base y base hidráulica suelen estar condicionados en forma importante por los tratamientos mecánicos que llegan a requerir para satisfacer las normas de calidad, además de que para ello requieren de la instalación de equipos especiales y plantas complejas, que no conviene mover demasiado. Por lo anterior los bancos de este tipo suelen estar mucho más espaciados, al grado de que no es difícil encontrar distancias del orden de 30 Kilómetros.

Los materiales para base hidráulica, concretos asfálticos e hidráulicos se obtienen casi siempre por trituración de roca sana, ver fotografía N°2. La mampostería se extrae de formaciones rocosas fracturadas o de recolección superficial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fotografía N°2 Planta de trituración, para producción de base hidráulica.

La exploración de una zona en la que se pretenda establecer un banco de materiales debe tener las siguientes metas:

- a) Determinación de la naturaleza del depósito, incluyendo toda la información que sea posible obtener sobre su geología, historia de explotaciones previas, relaciones con escurrimientos de agua superficial.
- b) Profundidad, espesor, extensión, profundidad y composición de los estratos de suelo o roca que se pretenda explotar.
- c) Situación del agua subterránea, incluyendo posición y variación del nivel freático.
- d) Obtención de toda la información posible sobre la propiedad de los suelos y las rocas, los usos que de ellos se hallan de hecho.

La investigación completa está formada por tres etapas:

- a) Reconocimiento preliminar, que debe incluir la opinión de un geólogo. En el cual se debe contar con un estudio geológico de la zona, por sencillo que este sea.
- b) La exploración preliminar, en la que por procedimientos simples, puede obtenerse información sobre el espesor y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

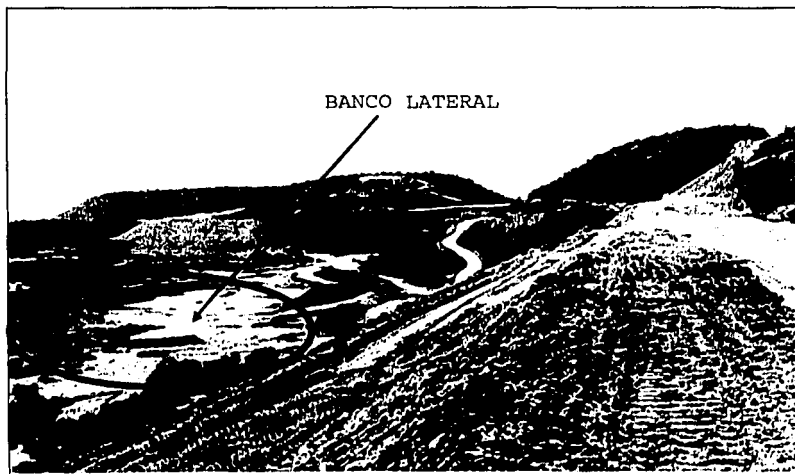
composición del subsuelo, la profundidad del agua freática y demás datos que permitan definir lo prometedor de la zona, además de la conveniencia de continuar con las investigaciones.

- c) La exploración definitiva, en la que por medio de sondeos y pruebas de laboratorio han de definirse detalladamente las características de calidad de los suelos.

La diferencia entre el estudio preliminar y el definitivo suele radicar en el número de sondeos, se debe corroborar la información preliminar, definiendo las diferentes formaciones existentes y cubicar con la aproximación requerida el volumen del material que vaya a ser necesario.

Los bancos de suelo han de muestrearse, para conocer en laboratorio las características que interesen para definir o autorizar su uso. No existe regla alguna para cuantificar el número de sondeos que es necesario hacer en cada banco aunque algunas instituciones fijan un determinado número de sondeos para un volumen mínimo de material por extraer. Naturalmente, la muestra que se extraiga dependerá de la utilización que pretenda hacerse del suelo.

En bancos para terracerías es común realizar análisis granulométricos, límites de plasticidad, pruebas de compactación, cálculo del coeficiente de variación volumétrica, para lo cual se requieren entre 50 y 100 Kg de material, observar fotografía N°3.



Fotografía N°3 Banco de préstamo lateral para subrasante.

En materiales para pavimentos, además de las pruebas anteriores, los bancos de material deben sujetarse en general a la prueba de valor relativo de soporte o similares, de acuerdo con el método de diseño que se pretenda utilizar.

En general, las pruebas que requieren los suelos que van a usarse en pavimentos, aunque sean las mismas que las de terracerías, suelen hacerse con mayor minuciosidad y en mayor número. De la misma manera los análisis de compactación y valor relativo de soporte se harán con mayor intensidad en la subrasante y capas superiores que en las capas bajas de la estructura del pavimento.

En la tabla 2-D, se observan las pruebas generales que se hacen a los diferentes materiales provenientes de los bancos, según el uso que se pretenda dar.

| TERRACERÍAS | |
|-------------------|--|
| a) Clasificación | Límites de plasticidad y granulometría. |
| b) Calidad | Peso volumétrico seco máximo y valor relativo de soporte. |
| SUBRASANTE | |
| a) Clasificación | Límites de plasticidad y granulometría. |
| b) Calidad | Peso volumétrico seco máximo, valor relativo de soporte, expansión y equivalente de arena. |
| c) Diseño | Valor relativo de soporte o bien prueba de Hveem o Triaxiales de Texas. |
| BASE Y SUB-BASE | |
| a) Clasificación | Límites de plasticidad y granulometría. |
| b) Calidad | Peso volumétrico seco máximo, valor relativo de soporte, expansión y equivalente de arena. |
| c) Diseño | Si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa subrasante. |
| CARPETA ASFÁLTICA | |
| a) Clasificación | Límites de plasticidad y granulometría. |
| b) Calidad | Pruebas de desgaste y/o alterabilidad, equivalente de arena, afinidad con el asfalto y forma de la partícula. |
| c) Diseño | Prueba marshall o bien prueba de Hveem y contenido óptimo de asfalto. |

Tabla 2-D Pruebas de laboratorio que se efectúan a los materiales extraídos de los bancos de material según su utilización.

Las pruebas están divididas en tres tipos, las de clasificación, las que tienen por objeto establecer la calidad de los materiales, que entre otras cosas, permitirán establecer si cumplen con las normas mínimas de calidad que establezca la Institución constructora.

2.5.2 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

Las propiedades más importantes de los agregados son:

- a) Tamaño y composición granulométrica de las partículas.
- b) Dureza o resistencia al desgaste.
- c) Durabilidad o resistencia al intemperismo.
- d) Densidad relativa y absorción.
- e) Estabilidad química.
- f) Otras propiedades de los agregados, (forma de la partícula, textura y ausencia de partículas nocivas entre otras).

a) TAMAÑO Y COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PARTÍCULAS

Una propiedad clave de los agregados que se usan en las bases, sub-bases y superficie de las carreteras es la granulometría. La combinación de tamaños de partículas de las mezclas, afecta la densidad, la resistencia y la economía de la estructura del pavimento.

Para llevar a cabo, un análisis granulométrico, se pesa una muestra del agregado seco y se pasa a través de un juego de mallas cuyo tamaño de abertura ha sido seleccionado previamente:

| | |
|--------|------------|
| 1" | (25.40 mm) |
| 3/4" | (19.05 mm) |
| 1/2" | (12.70 mm) |
| 3/8" | (9.52 mm) |
| 1/4" | (6.35 mm) |
| N° 4 | (4.76 mm) |
| N° 10 | (2.00 mm) |
| N° 20 | (0.840 mm) |
| N° 40 | (0.420 mm) |
| N° 60 | (0.250 mm) |
| N° 100 | (0.149 mm) |
| N° 200 | (0.074 mm) |

La muestra de agregado se agita con un vibrador mecánico y se determina el peso de material retenido en cada malla, el cual se expresará como un porcentaje de la muestra original.

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras son aquellas con aberturas de 3/8, 1/2, 3/4, 1, 1½, 2, 2½ de pulgada cuadrada para los fracciones grandes, y con las mallas N°4, 10, 40, 80, 100 y 200, (los números equivalen al número de hilos por pulgada cuadrada que contiene una malla), para las fracciones más pequeñas.

La porción del agregado que queda retenido en las mallas N°10, (con partículas mayores de 2.00 mm), se les conoce como agregado grueso o gravas. Al material que pasa la malla N°10 y queda retenido en la malla N°200, (partículas mayores que 0.075 mm), se les conoce como arenas. El material que pasa la malla N°200 se le llama fino.

b) DUREZA O RESISTENCIA AL DESGASTE

Los materiales que se usan en la construcción de carreteras deberán ser duros y soportar el desgaste, por efecto del tránsito y los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas, así como los climáticos. La prueba más comúnmente aceptada para medir la dureza de los agregados es la prueba de abrasión en la máquina de los Ángeles (ver figura 2-4).

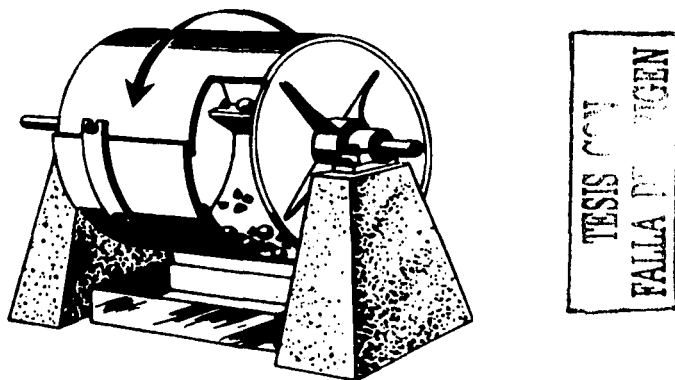


Figura 2-4 Máquina para la prueba de abrasión de los Ángeles.

Para ejecutar la prueba de abrasión de los Ángeles, se coloca dentro de un cilindro una muestra limpia del agregado que se ha de probar junto con un peso estándar de esferas de acero como carga abrasiva. El tambor se hace girar 500 veces a una velocidad de 30 a 33 r.p.m., terminado esto se retira el material y se criba en la malla N°12 (1.70mm). El material retenido en la malla se lava y se seca hasta alcanzar un peso constante. El desgaste será la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada expresada en porcentaje. Es importante señalar, que el tamaño del agregado empleado para esta prueba, depende de la capa en que se pretenda utilizar.

c) DURABILIDAD O RESISTENCIA AL INTEMPERISMO

La durabilidad de los agregados se mide con una prueba de integridad. Esta prueba mide la resistencia de los agregados a la desintegración en una solución saturada de sulfuro de sodio o magnesio que simula el intemperismo de los agregados en la naturaleza, (intemperismo acelerado).

Para la prueba se sumergen fracciones conocidas del agregado en la solución, posteriormente se retira el agregado y se seca en un horno hasta alcanzar una masa consistente. Se repite el ciclo cinco veces comúnmente. Después de los ciclos alternados de saturación y secado, se divide el agregado en fracciones haciéndolo pasar por mallas y se determina para cada fracción el porcentaje de pérdida en peso. El porcentaje de pérdida se expresa como un promedio pesado.

d) DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN

La densidad relativa y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concretos hidráulicos y asfálticos. La densidad relativa de un sólido es el equivalente de su masa con un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica. Como los agregados pueden contener huecos permeables al agua, se usan dos medidas de la densidad relativa: densidad relativa aparente y densidad relativa de la masa.

La densidad relativa aparente, G_A , se calcula sobre la base del volumen neto de los agregados sin contar los huecos permeables al agua:

$$G_A = \frac{M_D / V_N}{w}$$

Donde:

M_D = masa seca del agregado.

V_N = volumen neto de los agregados sin considerar el volumen del agua absorbida.

w = densidad del agua.

La densidad relativa total, G_B , se calcula sobre la base del volumen total de los agregados, incluyendo los vacíos permeables al agua:

$$G_B = \frac{M_D / V_B}{w}$$

Donde:

V_B = Volumen total de agregados, incluyendo el volumen de agua absorbida.

La diferencia entre las densidades mencionadas equivale a los huecos permeables o sea el agua de los agregados. El volumen de los huecos se puede medir pesando los agregados secos y en condiciones superficiales secas y saturadas.

e) ESTABILIDAD QUÍMICA

Algunos agregados pueden ser inadecuados para la construcción de carreteras o de algunas aplicaciones en particular, debido a la composición química de las partículas de los agregados.

En las mezclas de asfalto, algunos agregados tienen una afinidad excesiva por el agua, lo que contribuye a que se remueva fácilmente el asfalto y en consecuencia a la desintegración de la superficie de rodamiento.

Para las mezclas asfálticas, un agregado de naturaleza hidrofóbica es aquel que tiene un alto grado de resistencia a la remoción de su capa de asfalto en presencia del agua. Los agregados que pierden resistencia al corte debida a la disminución de la cohesión, debida al reemplazo de la película bituminosa que rodea a la partícula del agregado por una película similar de agua, se llaman agregados hidrofílicos.

De los métodos para conocer la resistencia a la remoción del asfalto en los agregados, los más destacados son:

- a) Prueba de remoción de asfalto.
- b) Prueba de inmersión-compresión.

La prueba de remoción de asfalto, consiste en recubrir el agregado con material bituminoso, sumergiéndolo en agua durante 16 a 18 horas, observando si el área del agregado recubierto está por arriba o abajo del 95%.

La prueba de inmersión-compresión, consiste en comparar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de la mezcla

bituminosa, (probados de manera estándar), con reproducciones del mismo material sujetas a inmersión en agua con un tiempo definido y estandarizado.

En las mezclas de concreto hidráulico también pueden causar daño los agregados que contienen sustancias nocivas que reaccionan desfavorablemente con los álcalis presentes en el cemento. Las reacciones de los álcalis con el agregado provocan la expansión anormal del concreto. Los métodos creados para detectar estas características son los C227, C289 y C33 de la ASTM, además en la C33 se incluyen indicaciones adecuadas para su determinación.

f) OTRAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Por lo general, las especificaciones para los agregados que son usados en la construcción de carreteras, mezcla asfáltica y mezclas de concreto hidráulico, tienen requerimientos relacionados con la forma de la partícula, la textura de la superficie, la limpieza del agregado, resistencia y libre de sustancias nocivas como arcillas y sílice hidratado, limo y otras impurezas orgánicas.

Se garantiza la limpieza del agregado si se incluye dentro de las especificaciones, los requerimientos relativos a los porcentajes máximos permisibles de sustancias dañinas. Los requerimientos específicos a este respecto varían ligeramente para las diferentes dependencias.

2.6 MATERIALES ASFÁLTICOS.

Los materiales asfálticos son muy importantes para la ingeniería de las carreteras, debido al poder cementante o aglutinante que poseen así como sus propiedades impermeables.

En la actualidad los materiales asfálticos se utilizan en la construcción de superficies de rodamiento y bases, su aplicación fluctúa entre caminos de bajo tránsito hasta pavimentos de alta calidad, construidos con el propósito de soportar cantidades extremadas de tránsito. La gran mayoría de las carreteras y calles pavimentadas se han construido con procesos que incluyen materiales asfálticos.

Los materiales asfálticos utilizados en la construcción de carreteras se dividen como sigue:

- a) Alquitranes
- b) Asfaltos
 - 1) de petróleo
 - 2) naturales

a) ALQUITRANES

En términos generales, los alquitranes son más susceptibles a los cambios de temperatura que los asfaltos de grano similar, los alquitranes son de naturaleza tóxica y poseen más carbón libre y se endurecen de manera mucho más rápida cuando se exponen al aire, que es el caso cuando se incorporan a la superficie de rodamiento o pavimento.

En la actualidad, los alquitranes no se utilizan ampliamente como aglutinantes en los pavimentos.

b) ASFALTOS

Para producir asfaltos adecuados y utilizados en la construcción de carreteras se puede utilizar una amplia variedad de procesos de refinación, ver figura 2-5. En general los asfaltos se obtienen por destilación con vapor, refinación al aire, formación de emulsiones y por inyección de aire a altas temperaturas, (fraccionamiento térmico).

Los tipos básicos de destilación son dos:

1.- *Destilación fraccionada:* En la cual se separa los materiales volátiles contenidos en el aceite crudo, (petróleo), a temperaturas sucesivas cada vez mayores, sin que se produzcan cambios químicos substanciales. Las fracciones volátiles que se obtienen de la destilación son: gasolina, nafta, kerosena, gasóleo y el aceite lubricante, mientras que el residuo obtenido es el asfalto.

2.- *Destilación destructiva:* en la cual se produce un cambio químico bajo la aplicación de calor y presión extremas. El fraccionamiento térmico (cracking), es una forma de destilación destructiva y los residuos de la descomposición se utilizan para la fabricación de materiales asfálticos.

Los asfaltos naturales son los que se encuentran en estado puro o casi puro en la naturaleza. El uso más frecuente que se dio a estos fue en Estado Unidos, en el período de 1880 hasta el final de la primera guerra mundial. A partir de ese período su uso se incremento hasta hacer que en la actualidad, los asfaltos naturales (sin incluir las rocas asfálticas) ya no sean determinantes en la construcción de carreteras.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

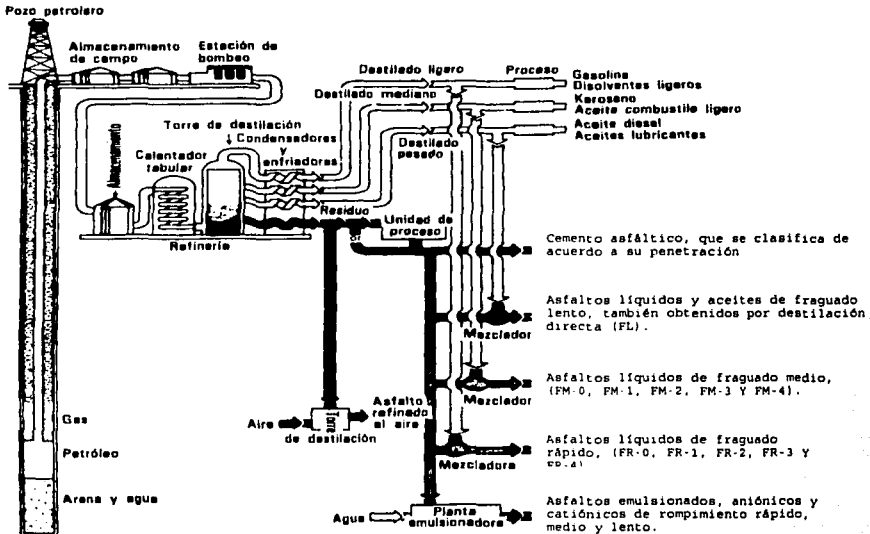


Figura 2-5 Diagrama de flujo simplificado de la recuperación y refinación de los asfaltos del petróleo.

2.6.1 PRUEBAS EN MATERIALES ASFÁLTICOS.

Se utilizan un gran número de pruebas de laboratorio en los materiales asfálticos con objeto de que cumplan con las especificaciones marcadas por las diferentes dependencias. La mayoría de las pruebas son ejecutadas de acuerdo a los métodos establecidos por la AASHTO y por la ASTM. Algunas de las pruebas tiene como objeto medir las propiedades específicas del material en tanto que otras se utilizan para la identificación del mismo o para verificar su uniformidad.

En la tabla 2-E, se listan las pruebas más utilizadas, las denominaciones correspondientes de la AASHTO y la ASTM para cada método de prueba. Se indica su aplicación como (1) cuando se realiza para material asfáltico, (2) alquitranes y (3) asfaltos y alquitranes.

| NOMBRE DE LA PRUEBA | NORMA AASHTO | NORMA ASTM | APLICACIÓN |
|--|--------------|------------|------------|
| GENERAL | | | |
| DENSIDAD RELATIVA | T228 | D70-D76 | 3 |
| TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN (COPA ABIERTA) "Cleveland" | T48 | D92 | 1 |
| TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN (COPA ABIERTA) "Tag" | T79 | - | 1 |
| AGUA EN PRODUCTOS DE PETRÓLEO, ETC. | T55 | D95 | 3 |
| SOLUBILIDAD | | | |
| SOLUBILIDAD DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS | T44 | D2042 | 3 |
| ENSAYO POR GOTAS | T102 | - | 1 |
| CONSISTENCIA | | | |
| VISCOSIDAD ESPECÍFICA (Engler) | T54 | D1665 | 2 |
| VISCOSIDAD CINEMÁTICA | T201 | D2170 | 3 |
| VISCOSIDAD ABSOLUTA | T202 | D2171 | 1 |
| PRUEBA DE FLOTACIÓN | T50 | D139 | 3 |
| PENETRACIÓN | T49 | D5 | 1 |
| PUNTO DE ABLANDAMIENTO (MÉTODO DEL ANILLO Y LA BOLA) | T53 | - | 3 |
| DUCTILIDAD | | | |
| DUCTILIDAD | T51 | D113 | 1 |
| VOLATILIDAD | | | |
| DESTILACIÓN | | | |
| PRODUCTOS ASFÁLTICOS REBAJADOS | T78 | D402 | 1 |
| PRODUCTOS ALQUITRANADOS | T52 | D20 | 2 |
| PERDIDA POR CALENTAMIENTO | T47 | D6 | 1 |
| PRUEBA EN HORNO DE UNA PELÍCULA DELGADA | T179 | D1754 | 1 |
| PRUEBAS PARA EMULSIONES | T59 | D244 | 1 |

Tabla 2-E Comparación de pruebas de laboratorio, utilizadas para materiales asfálticos y alquitranes, según las normas AASHTO Y ASTM.

A continuación se enlistan las pruebas de laboratorio, comúnmente empleadas para verificar la calidad de los materiales asfálticos.

Pruebas generales:

- Densidad relativa.
- Temperatura de inflamación.
- Determinación del contenido de agua.

Pruebas de solubilidad:

- Solubilidad en bisulfuro de carbono y otros disolventes orgánicos.

Pruebas de consistencia:

- Viscosidad cinemática y viscosidad absoluta.
- Prueba de flotación.
- Penetración.
- Punto de reblandecimiento (método del anillo y la bola).

Pruebas de ductilidad:

- Ductilidad.

Pruebas de volatilidad:

- Destilación.
- Perdida por calentamiento.
- Prueba al horno de una película delgada.

CAPÍTULO 3.- MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN.

3.1 TIPOS DE COMPACTACIÓN Y MAQUINARIA EMPLEADA.

Los equipos de compactación realizan su trabajo de cuatro formas principales diferenciadas solo por la naturaleza en que son aplicados los esfuerzos y por la duración de los mismos, estos son:

- a) Por Peso Estático ó presión.
- b) Por Amasado.
- c) Por Impacto.
- d) Por Vibración.
- e) Métodos mixtos.

3.1.1 POR PESO ESTÁTICO Ó PRESIÓN.

Los compactadores de peso estático ó presión son rodillos lisos de acero o rodillos con llantas neumáticas, utilizan presión estática, con un mínimo de manipulación en los materiales plásticos.

1.- RODILLOS METÁLICOS.

Cuando los rodillos inician la compactación, el área de contacto es más o menos ancha, forman un bulbo de presión de cierta profundidad, conforme avanza el proceso de compactación el área de contacto se reduce, con la reducción consecuente del bulbo de presión y aumentan los esfuerzos de compresión en la cercanía de la superficie. Estos esfuerzos con frecuencia son suficientes para provocar la trituration de los materiales granulares, formando costras en la superficie de la capa compactada.

Si a lo anterior se agrega que es común incrementar agua durante la compactación, para compensar la pérdida por evaporación, en capas de terracería donde la penetración del agua es difícil, llegaremos a la formación de un estrato húmedo (bache).

El efecto de compactación de los rodillos se reduce considerablemente a medida que se profundiza en la capa que se compacte, y el efecto de compactación se produce de arriba hacia abajo, ver figura 3-1 y fotografía N°4.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

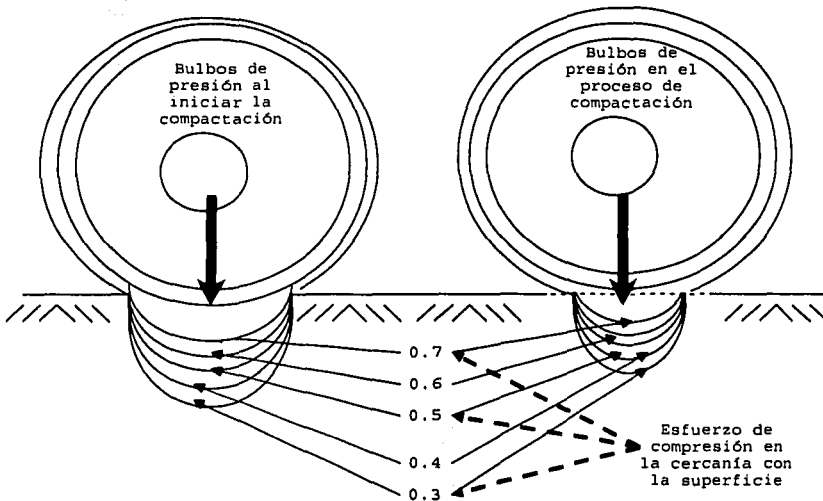


Figura 3-1 Bulbos de presión bajo un rodillo metálico.

Los rodillos son generalmente huecos, para ser lastrados con agua y/o arena. El sobre lastrar estos equipos cuando no se obtiene la compactación, para aumentar la penetración y la profundidad del bulbo de presión, tiene como consecuencia el sobre esforzar la superficie.

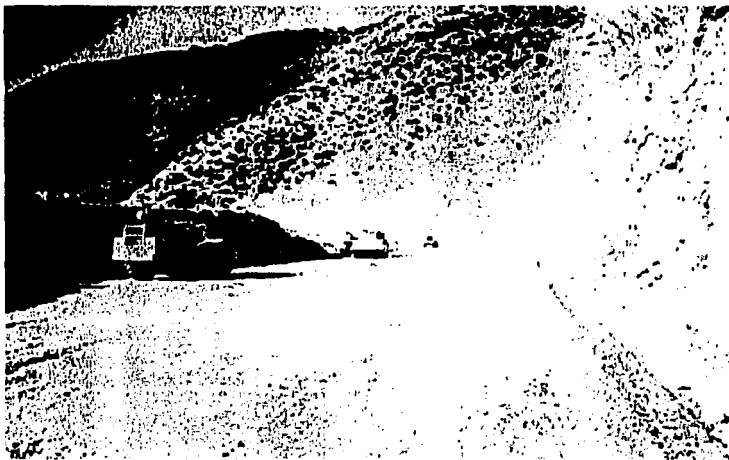
Dentro de este grupo se puede hacer la siguiente división.

a) Planchas tándem; Son aquellas que tienen dos o tres rodillos metálicos paralelos.

b) Planchas de tres ruedas; Estas planchas tienen dos ruedas traseras paralelas y una rueda paralela, las cuales pueden ser huecas para ser lastradas o formadas por placas de acero.

Tanto las planchas tándem como las de tres rodillos, tienen baja velocidad de operación y poca seguridad al compactar las orillas de terraplenes altos.

Los compactadores tándem se utilizan con efectividad para nivelar los puntos altos dejados por rodillos pata de cabra, vibratorios o de neumáticos. Sin embargo, este tipo de compactación tiene una tracción limitada.



Fotografía N°4 Compactador por peso estático.

2.- COMPACTADOR DE NEUMÁTICOS.

Los compactadores de llantas neumáticas son unidades de superficie que utilizan el principio de la acción amasadora, pueden ser jalados o autopropulsados como el de la figura 3-2, son muy eficientes y esenciales en la compactación de sub-bases, bases y carpetas asfálticas. Los bulbos de presión provocados por estos equipos son similares a los de los rodillos metálicos, pero el área de contacto permanece constante por lo que no se produce la reducción del bulbo de presión.

El chasis del vehículo es también un recipiente para lastres sólidos o líquidos cuyo peso varía de acuerdo al material por compactar. Los compactadores pueden ser divididos de acuerdo al tamaño de sus llantas.

a) De llantas pequeñas; Generalmente tienen dos ejes en tándem y el número de llantas puede variar entre 4 y 13, ver figura 3-2. Las llantas están arregladas de tal manera que las traseras traslapan con las delanteras. En algunos equipos se tienen montadas llantas que oscilan o bailan al rodar, lo que aumenta su efecto de amasamiento.

Los compactadores de llantas pequeñas proporcionan la misma presión superficial unitaria que los equipos de llantas grandes, con un peso global menor sobre el material a compactar.

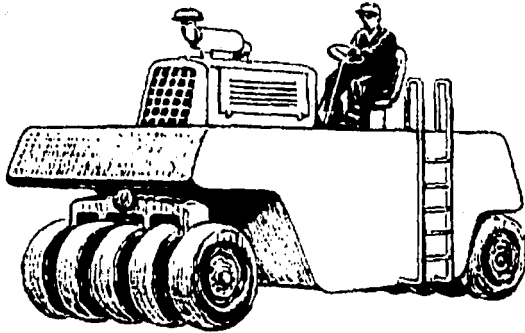


Figura 3-2 Compactador de neumáticos.

Los rodillos de neumáticos proporcionan una presión de contacto semejante a la que proporcionan los equipos de mayor peso y neumáticos grandes, tiene mayor maniobrabilidad, no empuja mucho material al frente de los neumáticos, tiene poca profundidad de acción y poca flotación en materiales sueltos.

b) De llantas grandes; Son generalmente arrastrados por tractor y pesan de 15 a 50 toneladas. Tienen 4 ó 6 llantas en un mismo eje.

Su mejor aplicación se encuentra al usarlos como compactador de prueba.

Existen dos factores de importancia en este tipo de compactadores, el peso total y la presión de inflado.

En el peso total dependiendo del número de llantas y del sistema de suspensión se puede conocer el peso o fuerza aplicada por rueda.

La presión de inflado está ligada a la carga por llanta, si se aumenta el peso sin aumentar la presión se aumenta la profundidad del bulbo, pero no se aumenta la presión permitiendo trabajar con capas mayores, pero el aumento de la eficiencia es casi nulo y las llantas durarán menos.

Si aumentamos la presión sin aumentar la carga, disminuimos la profundidad del bulbo de presión y se puede llegar a encarpetar la capa. Esto suele ser eficiente en capas delgadas como suelen serlo la base y sub-base.

Si se aumenta el peso y la presión, se aumenta la presión

efectiva sobre la capa y por lo tanto el trabajo de compactación, sin embargo esto puede disminuir la vida útil de nuestro equipo y neumáticos.

Cabe señalar que la presión de inflado no es la misma que la de contacto, ya que intervienen otros factores tales la rigidez de la llanta inflada.

En general estos equipos tienen gran utilidad para sellar las capas superiores, con lo que se logra una buena impermeabilidad, están limitadas a una compactación de poca profundidad.

3.1.2 POR AMASADO.

Los equipos ocasionan un movimiento lateral de las partículas, mezclando más afondo las partículas gruesas con las finas. Este equipo es el conocido como pata de cabra, produce la compactación por penetración y amasamiento más que por el efecto del bulbo de presión, ver figura 3-3.

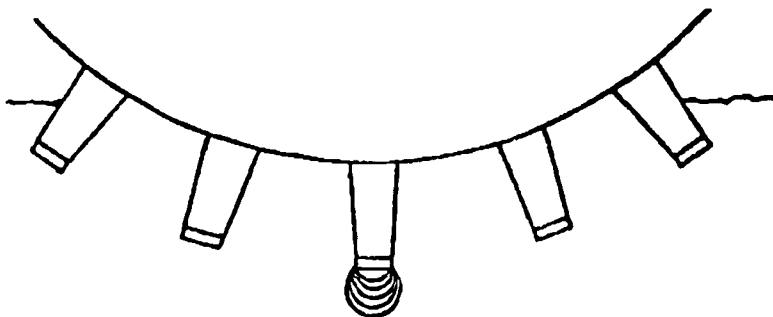


Figura 3-3 Bulbo de presión bajo un compactador pata de cabra.

Los compactadores tienen un peso de 2 a 20 toneladas y un ancho de 30 a 10 pulgadas (76 a 254 cm). Las patas de cabra pueden tener distintas formas y en general su longitud no pasa de 10 pulgadas (25.4 cm).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

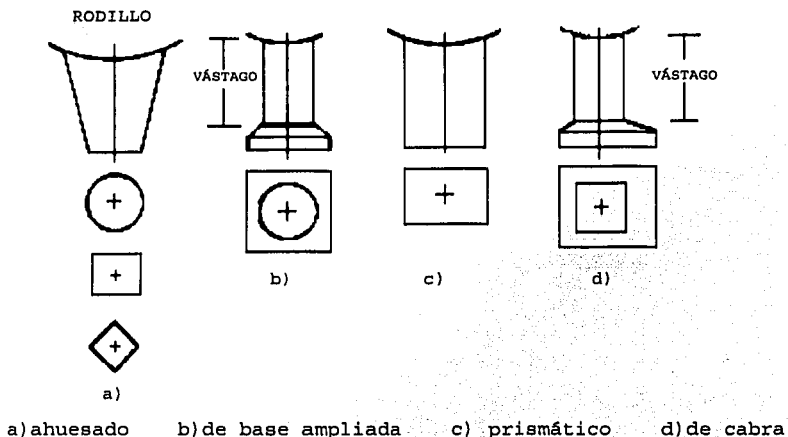


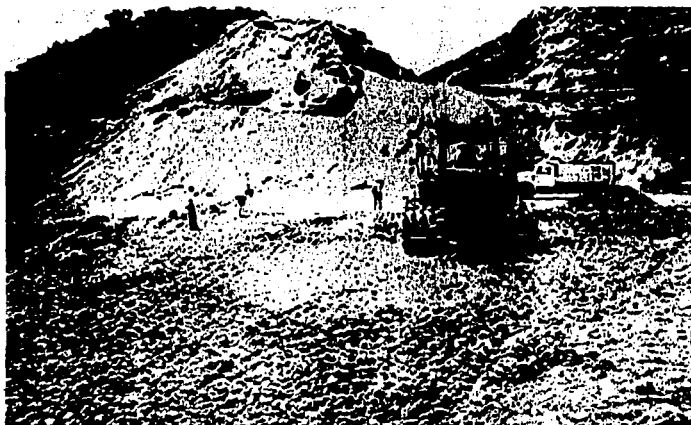
Figura 3-4 Tipos de punta usuales en los rodillos pata de cabra.

Estos compactadores concentran la fuerza de compactación sobre la pequeña área del conjunto de puntas de forma variada, (ver figura 3.4), ejerciendo una fuerza estática muy grande en las puntas que penetran el suelo. Conforme avanza del proceso de compactación, las puntas penetran cada vez menos llegando al punto en que no se presenta compactación adicional; en una profundidad aproximada de 6 cm, la superficie siempre queda distorsionada, compactándose ésta al tender la siguiente capa.

Normalmente este equipo tiene su mejor efectividad en capas con espesores de entre 25 y 65 cm.

Otro modelo de estos equipos es el denominado TAMPING ROLLER (ver fotografía N°5), éste es un rodillo metálico, en el que se fijan salientes de forma aproximada a una pirámide rectangular truncada de diferentes alturas. Están equipados con dientes sujetos al marco que limpian la superficie del rodillo.

Lo más importante de estos equipos es que están diseñados de tal manera que el área de contacto se incrementa con la penetración, ajustándose automáticamente la presión a la resistencia del suelo compactado, ver figura 3-5.



Fotografía N°5 Compactador Tamping Roller, (pata de cabra).

El diseño contempla también una fácil entrada y salida a la capa, lo que disminuye la resistencia al rodamiento.

Cuando un rodillo de este tipo empieza una nueva capa no mayor de 30 cm, los bulbos de presión y las ondas de impacto proveen suficiente amasamiento con la capa inferior para eliminar la estratificación que ocurre con otros equipos. Son recomendados para la compactación de la mayor parte de los suelos, siendo más versátiles y económicos en terracerías.

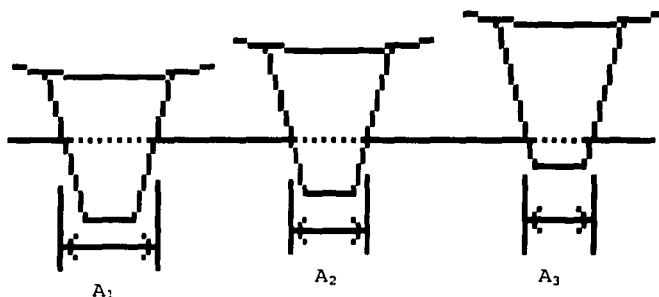


Figura 3-5 Ajuste automática del área de apoyo.

3.1.3 POR IMPACTO.

En el proceso de compactación por impacto, la duración de la transmisión del esfuerzo, es corta. Los equipos que pueden ser clasificados dentro de este grupo son diferentes pisones que van desde el tipo más elemental de caída libre y accionados manualmente, hasta equipos de compresión neumática o por combustión interna, ver figura 3-6. Por razones de costo, en todos los casos se está limitado a zonas pequeñas y/o espacios restringidos; capaces de operar a velocidades mucho mayores que los otros equipos, lo que produce un efecto de impacto sobre la capa de suelo que se compacta.

Una unidad de compactación que tenga una frecuencia muy baja y una amplitud muy alta se clasifica como compactador de impacto.



Figura 3-6 Compactador por impacto.

Según se vio en el capítulo anterior, la cantidad correcta de agua lubricará el movimiento del suelo con la menor resistencia hasta alcanzar la densidad máxima. Esto denominado como humedad óptima. La densidad máxima puede lograrse con todos los equipos de compactación, requiriendo de mayor o menor tiempo según sea este y en consecuencia impacta en el costo.

3.1.4 POR VIBRACIÓN.

Un compactador vibratorio funciona impartiendo una fuerza dinámica al suelo por medio de una serie de impactos rápidos, provocando que los espacios vacíos sean ocupados por partículas del mismo material compactado.

Existen comportamientos en todo proceso de compactación que no se deben olvidar, en primer lugar, si las partículas están secas, la fricción entre ellas impediría su acomodo, y segundo, si el material se encuentra demasiado húmedo, el agua ocupará los vacíos impidiendo la compactación. En consecuencia la incorporación de agua deberá estar regulada para que esta lubrique el movimiento del suelo con la menor resistencia hasta alcanzar la densidad máxima.

Los rodillos vibratorios funcionan con una rápida sucesión de impactos contra el suelo, ver figura 3-7, estos impactos se generan por un rodillo excéntrico, que produce fuerzas y presiones que se transmiten al suelo. Cada ciclo de carga genera una onda de presión que va perdiendo intensidad a medida que se aleja del tambor. Las características de cada onda dependen de las propiedades del suelo ya que reaccionan de una manera diferente al ser sometidos a vibraciones.

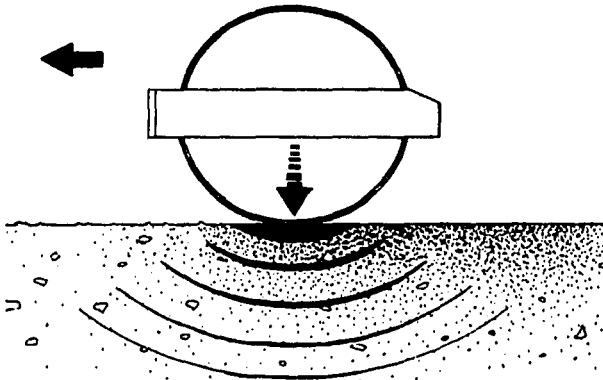


Figura 3-7 Ondas de compactación.

La utilidad de los equipos vibratorios está en su capacidad de compactar una gran variedad de suelos con mayor profundidad y en menor tiempo que con los equipos convencionales estáticos.

Para la compactación por vibración se emplean mecanismos ya sea de masas desbalanceadas o del tipo hidráulico pulsativo. El mecanismo excéntrico está montado sobre la placa vibratoria, el

cual, al girar el eje se imparte una fuerza que proporcionan un efecto vibratorio, ver figura 3-8.

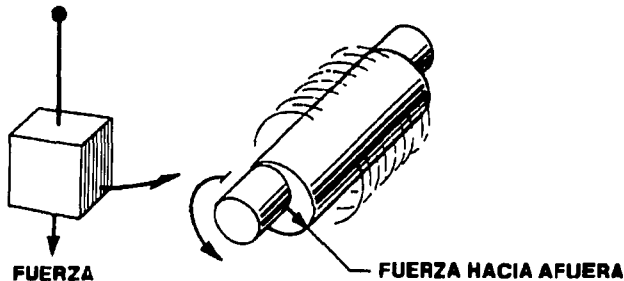


Figura 3-8 Eje excéntrico productor de la acción vibratoria.

Hay varios factores que intervienen en la vibración que influyen substancialmente en el resultado y rendimiento del equipo; los principales son:

- a) La frecuencia, esto es, el número de revoluciones por minuto del eje excéntrico u oscilador.
- b) La amplitud, generalmente medida por una distancia vertical en casi todos los equipos.
- c) El empuje dinámico que se genera en cada impacto.
- d) La carga muerta, es decir, el peso del equipo de compactación.
- e) La forma y tamaño del área de contacto del vibrador con el suelo.
- f) La estabilidad de la máquina.

La frecuencia de vibración, es la velocidad a la que gira el eje excéntrico e influye de sobremanera en el proceso de compactación. Cada equipo está diseñado para funcionar a una frecuencia predeterminada para dar una máxima eficiencia, la cual suele estar comprendida en intervalos de entre 0.5 y 1.5 veces la frecuencia natural del suelo, lo que lleva a los equipos a frecuencias prácticas del orden de 1500 a 2000 ciclos por minuto a pesar de que existen equipos capaces de alcanzar hasta 5000 ciclos por minuto. El nivel de frecuencia se desglosa en una gama baja (500 - 1000), una gama media (1000- 3000) y una gama alta (3000 - 5000) vibraciones por minuto (V.P.M.)

TESES CON
FALLA DE ORIGEN

Todos los compactadores vibratorios producen fuerza centrífuga generada por el eje excéntrico, y la magnitud de esa fuerza está predeterminada de acuerdo al tamaño del eje excéntrico y la velocidad de rotación, ver figura 3-9.

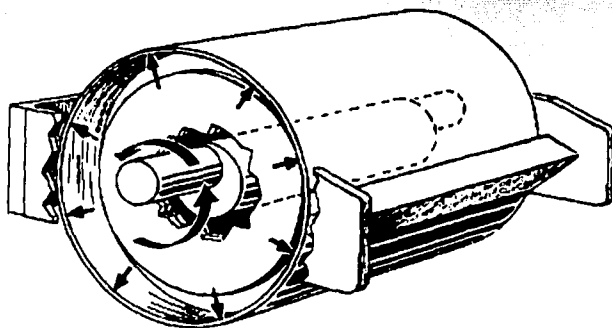


Figura 3-9 Fuerza centrífuga actuando dentro del tambor.

La fuerza centrífuga creada por el eje excéntrico tendrá poco efecto a menos que el peso del armazón del tambor sea el apropiado para mantenerlo contra el suelo durante la vibración. La fuerza centrífuga generada se dirige en una distribución de fuerza de 360° de acuerdo con la rotación del eje excéntrico, actuando dentro del tambor o de la placa. Esta fuerza es diferente a la impartida al suelo por fuerza dinámica.

La fuerza dinámica es la fuerza centrífuga generada por el tambor vibratorio más el peso estático del conjunto del tambor, ver figura 3-10.

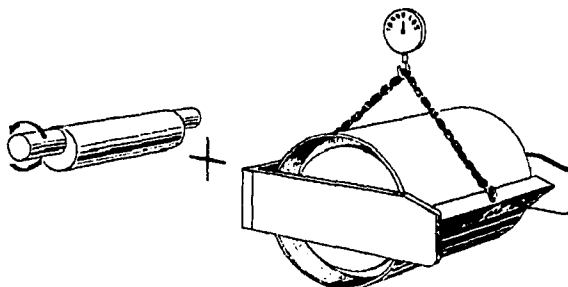


Figura 3-10 Fuerza dinámica.

La distancia vertical total cubierta por el tambor vibratorio o por placa se llama amplitud, la cual está directamente relacionada al peso del tambor y a la conformación del eje excéntrico. La amplitud también depende de la elasticidad y propiedades del suelo, ver figura 3-11.

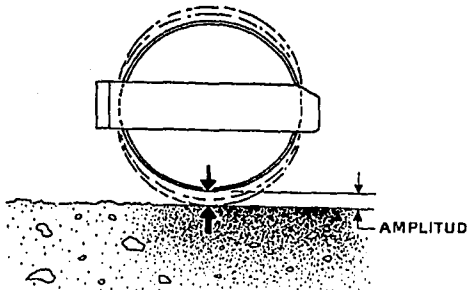


Figura 3-11 Representación de la distancia vertical denominada amplitud.

3.1.5 MÉTODOS MIXTOS.

Son equipos en los cuales se está desarrollando una gran tecnología que busca combinar los efectos de dos o más sistemas tradicionales, para lograr un resultado óptimo capa cada caso en particular. En la fotografía N°6 se aprecia un compactador de rodillo, que cuenta con vibración y el propio peso estático.



Fotografía N°6 Equipo con dispositivo mixto, compactando concreto asfáltico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Existen vibradores de rodillo liso en los cuales la unidad vibrante se acopla a un equipo liso convencional. Su eficiencia es mayor en suelos granulares y pueden combinar los efectos de la vibración y la presión en capas de mayor espesor que la que sería capaz de compactar el rodillo liso por sí solo. Son muy eficientes en la compactación de concretos asfálticos ver figura 3-12.



Figura 3-12 Compactador pata de cabra con llantas neumáticas, complementado con dispositivo de vibración.

3.2 Rendimientos y costo horario.

En todo trabajo que se utilice equipo, se debe conocer cual será el rendimiento.

Para determinar la producción por hora de un equipo de compactación se debe tomar en cuenta el ancho compactado por el equipo, velocidad de operación, espesor de capa y número de pasadas para obtener la compactación especificada.

Para calcular la producción se determinara primero el área cubierta en una hora con una pasada del equipo; dividiendo la cantidad obtenida entre el número de pasadas requeridas para obtener la compactación estipulada, el resultado será entonces el área compactada por hora. Si multiplicamos lo anterior por el espesor compactado se obtiene el volumen compactado por hora.

La siguiente expresión puede ser utilizada para determinar el rendimiento.

$$P = \frac{A \times V \times E \times C \times 10}{N}$$

Donde:

- P= Producción horaria (m³/h)
- A= Ancho compactado por el equipo (m)
- V= Velocidad (m/h)
- E= Espesor de capa (m)
- N= Número de pasadas
- C= Eficiencia (0.6 a 0.8)

La eficiencia (C) afecta la capacidad teórica, reduciéndola por traslapes de pasadas paralelas, por tiempos perdidos al dar vuelta y otros factores.

Lo anterior se puede entender mejor con el siguiente ejemplo:

Supóngase que se quiere compactar un material cohesivo con un compactador SPF-56 que tiene un ancho de 2.134 metros en el tambor, tomando en cuenta una capa de 20 centímetros y usando dos pasadas del tambor a una velocidad de 5 kilómetros por hora ¿Cuál es el rendimiento o producción?

$$P = \frac{A \times V \times E \times C}{N} \quad ; \quad P = \frac{2.134 \times 5,000 \times 0.20 \times 0.80}{2} = 853.60 \frac{m^3}{h}$$

El resultado es: 853.60 m³ por hora de compactación.

Con esta información el ingeniero será capaz de determinar la cantidad de equipos de compactación que requiere para compactar eficientemente el material en obras específicas.

Para conocer el costo por metro cúbico (m³), es necesario determinar el costo horario del compactador, siguiendo los siguientes pasos, (estos son los mismos que son utilizados en el calculo de costo de cualquier otro equipo de construcción).

Se debe obtener:

a) Cargos fijos.

Depreciación.
Intereses.
Seguro.
Almacenaje.
Mantenimiento.

b) Consumos.

Combustibles.
Lubricantes.
Llantas.

c) Operación.

d) Transporte.

De la suma de cargos fijos, consumos, operación y transporte se obtiene el costo horario.

Conociendo la producción y el costo horario, se puede determinar el costo por m³, para un cierto grado de compactación.

Para mayor entendimiento de lo anterior, se presenta el siguiente ejemplo:

Suponiendo que se tratara de compactar un material compuesto por el 30% de limo y 70% de arena, se contara con un compactador de impacto autopropulsado.

COSTO HORARIO

Precio de adquisición \$390,000.00

Se considera una vida útil de 8,000 horas y un valor de rescate de cero.

| | |
|--------------|----------------------|
| Cargos fijos | \$112.00 |
| Consumos | \$ 6.00 |
| Operación | \$ 12.00 |
| Transporte | \$ 3.00 |
| | <u>\$133.00/hora</u> |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PRODUCCIÓN HORARIA

Ancho = 1.94 m

Velocidad = 9 km/h

Espesor = 20 cm

Número de pasadas = 8 pasadas (contando sus cuatro rodillos)

Coefficiente de eficiencia = 0.8 (80%)

$$P = \frac{A \times V \times E \times C}{N} ; \quad P = \frac{1.940 \times 9,000 \times 0.20 \times 0.80}{2} = 349.20 \text{ m}^3/\text{h}$$

Producción = 349.20 m³/hora

COSTO POR COMPACTACIÓN

Costo por compactación (CC).

$$CC = \frac{\text{CostoHorario}(\$ / \text{hora})}{\text{Produccion}(\text{m}^3 / \text{hora})} ; \quad CC = \frac{\$133.00/\text{h}}{349.20 \text{ m}^3/\text{h}} = \$0.53/\text{m}^3$$

Costo = \$0.53 /m³

3.3 Selección de maquinaria.

La selección del compactador más adecuado no siempre es sencilla, ya que depende de muchos factores, tales como el suelo, tipo de trabajo, compatibilidad con equipos de otras actividades, maquinaria disponible, continuidad del trabajo, etc. por tanto al seleccionar el equipo, se han de tomar en cuenta estos factores. Es frecuente y muy eficiente el uso de varios equipos que combinen los diferentes efectos de compactación.

Los factores más importantes que deben tomarse en cuenta para esta selección son:

- a) Tipo de material.
- b) Tamaño de la obra.
- c) Requerimientos especiales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

a) Tipo de material; se clasifican en cohesivos (finos), semi-cohesivos (intermedios) y no cohesivos (granulares), para las sub-base, base y carpeta siempre son usados los materiales no cohesivos, es decir arenas y gravas, mientras que para las terracerías es común utilizar los materiales cohesivos y semi-cohesivos.

La compactación por presión estática producida por rodillos metálicos y neumáticos es aplicable a todos los tipos de suelo, con la limitante de tener bajo rendimiento, excepto en los compactadores neumáticos grandes.

La compactación por amasado producida por los rodillos pata de cabra estática y pata de cabra vibratoria es aplicable para suelos cohesivos y semi-cohesivos (arcillas, limos y algunas arenas limosas), con la limitante de tener alto costo.

La compactación por impacto producida por rodillos de impacto y rodillos de reja, es aplicable a todo tipo de suelo, pero por el mal acabado que dejan estos solo se recomienda para las terracerías, normalmente arcillas y limos, el rodillo de reja se atasca con los materiales cohesivos y hay que parar para limpiarlo frecuentemente por lo que representa una limitante, sin embargo es un excelente disgregador para terracerías que lo requieran.

La compactación por vibración producida por rodillos lisos vibratorios, es aplicable en suelos no cohesivos (arenas y gravas), y a veces algunos semi-cohesivos como son las arenas limosas.

b) Tamaño de la obra; dependiendo del tamaño de la obra y habiendo ya seleccionado el tipo de compactador adecuado para el tipo de material en ésta, se puede determinar el número de compactadores necesarios para cumplir con el plazo estipulado.

c) Requerimientos especiales; existen casos en que por requerimientos especiales, es necesario decidir por determinado tipo de compactador, por ejemplo, cuando las especificaciones marquen un determinado tipo de maquinaria a utilizar, cuando se requiera un compactador que no disgrege el material, es decir que se requiera un compactador que mezcle perfectamente las capas colocadas.

Se debe tener en cuenta que, en la construcción de carreteras y en general en construcción pesada, la inversión en equipo es cuantiosa, por lo que es muy importante pensar cuidadosamente todas las posibilidades para poder escoger la máquina más eficiente; esto es, la menor inversión posible al mas bajo costo unitario en el mínimo tiempo realizable.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación se presenta un ejemplo, con el fin de seleccionar de entre dos posibilidades de equipo.

Supóngase que deseamos compactar al 95% del peso volumétrico seco máximo, 800 m³ sueltos/hora de una arena bien graduada con un factor de reducción de 0.85, y los equipos disponibles son: una plancha tándem y un rodillo vibratorio autopropulsado.

Determinar ¿Qué equipo proporciona una compactación más económica y que cantidad de equipos es necesaria?.

1.-PLANCHA TÁNDEM

- a) Ancho = 2.00 metros
- b) Velocidad = 7 km/h
- c) Espesor = 12 cm
- d) Número de pasadas para obtener el 95% de compactación = 10
- e) Costo horario = \$68.00/hora

2.-RODILLO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO

- a) Ancho = 1.50 metros
- b) Velocidad = 4 km/h
- c) Espesor = 25 cm
- d) Número de pasadas para obtener el 95% de compactación = 3
- e) Costo horario = \$180.00/hora

Se determinara primero las producciones de los equipos.

1.- Plancha tándem

$$P = \frac{A \times V \times E \times C}{N} ; \quad P = \frac{1.940 \times 9,000 \times 0.20 \times 0.80}{2} = 349.20 \text{ m}^3/\text{h}$$

P= 134.40 m³/hora (compactos)

2.- Rodillo vibratorio

$$P = \frac{A \times V \times E \times C}{N} ; \quad P = \frac{1.500 \times 4,000 \times 0.25 \times 0.80}{3} = 400.00 \text{ m}^3/\text{h}$$

P= 400.00 m³/hora (compactos)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como las producciones fueron calculadas de forma compacta y el volumen por compactar esta suelto, se deberá obtener el volumen compacto que ha de ser tratado mecánicamente como sigue:

$$\text{Vol. Compacto por hora} = \text{Volumen suelto} \times \text{factor de reducción}$$

$$\text{Vol. Compacto por hora} = 800 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.85 = 680 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ahora determinamos el costo de compactación para conocer que equipo será el más económico.

1.- Plancha tándem

Costo por compactación (CC).

$$CC = \frac{\text{CostoHorario}(\$/\text{hora})}{\text{Produccion}(\text{m}^3/\text{hora})} ;$$

$$CC = \frac{\$68.00/\text{hora}}{134.40\text{m}^3/\text{hora}}$$

$$\text{Costo} = \$0.51/\text{m}^3$$

2.- Rodillo vibratorio

Costo por compactación (CC).

$$CC = \frac{\text{CostoHorario}(\$/\text{hora})}{\text{Produccion}(\text{m}^3/\text{hora})} ;$$

$$CC = \frac{\$180.00/\text{hora}}{400.00\text{m}^3/\text{hora}}$$

$$\text{Costo} = \$0.45/\text{m}^3$$

Por lo tanto el equipo más económico es el rodillo vibratorio autopropulsado y la cantidad de ellos necesaria será:

$$\text{N}^\circ \text{ de rodillos} = \frac{\text{Vol. compacto}}{\text{Producción del equipo}} ; \quad \text{N}^\circ \text{ rodillos} = \frac{680\text{m}^3/\text{hora}}{400.00\text{m}^3/\text{hora}} = 1.7$$

El número de rodillos necesarios es de 2.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 4.- COMPACTACIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS.

4.1 CONSTRUCCIÓN Y COMPACTACIÓN DE LOS TERRAPLENES.

Los terraplenes son usados en la construcción de carreteras con el objeto de elevar el nivel de la rasante sobre el nivel del terreno natural, con el objeto de mantener normas de diseño o prevenir daños a la carretera. Son construidos con materiales extraídos de cortes cercanos, bancos de préstamo, préstamos laterales y materiales tratados mecánicamente.

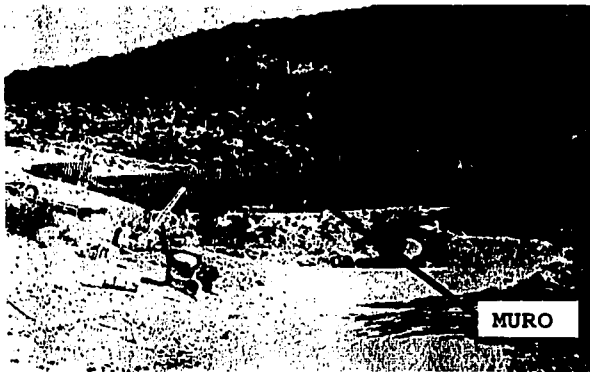
En los terraplenes se contempla como factores básicos de diseño, la altura, estabilidad de taludes, estabilidad de desplante y la selección del material.

La altura de los terraplenes juega un papel importante, establecido de acuerdo a las consideraciones relativas de su localización, es decir, que este pudiera localizarse en laderas donde se espera un escurrimiento de agua con volumen importante, suele ser necesario para mantener la rasante en algún punto fijo, como el acceso a un puente. Otras condiciones de alineamiento horizontal pueden forzar a utilizar un terraplén en lugar de utilizar una sección en balcón o para mantener pendientes convenientes en zonas con lomerío o montañosas.

En zonas donde el nivel freático se encuentra a la altura del nivel de terreno o cerca de él, se establecen alturas mínimas de terraplén para evitar la intrusión de las aguas freáticas en la subrasante, sub-base y base. También se aplica lo anterior cuando se prevé la existencia de agua libre en el área que atraviesa el terraplén.

Los terraplenes constan de una superficie plana con taludes laterales generalmente simétricos a ambos lados que se inician en los hombros y continúan hasta la unión con el terreno natural. En general los taludes se construyen planos para facilitar su mantenimiento y cumplir con normas de seguridad. En otros casos los taludes son interrumpidos por muros de contención, ya sean de concreto hidráulico, mampostería o gaviones, por las restricciones de diseño que rijan el proyecto de la carretera, ver fotografías N°7, 8 y 9 respectivamente.

Todos los terraplenes importantes se someten a análisis de estabilidad y se diseñan de acuerdo con los principios establecidos en la mecánica de suelos.



Fotografía No. 7 Muro de contención construido con concreto hidráulico.

Fotografía No. 8 Muro de contención empleando Mampostería.



Como se menciono anteriormente en el diseño del terraplén se comprobará la estabilidad de los taludes laterales o del conjunto, el diseño incluirá también un examen del suelo de cimentación. Un terraplén puede fallar por los esfuerzos aplicados a la capa del suelo (subyacente), debido a que el peso del terraplén es superior a la resistencia al corte del suelo de cimentación, provocando que éste fluya hacia los lados, dando como resultado su hundimiento. La consolidación de las capas del suelo subyacente, ocasiona la falla en la función de soporte por asentamiento continuo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



Fotografía No. 9 Muro de contención empleando gaviones.

En la selección de los materiales, que serán utilizados en la construcción de un terraplén, suelen utilizarse diferentes suelos satisfactoriamente, solo habrá que tener presente las restricciones emitidas por cada Dependencia y/o proyecto.

Los terraplenes son formados con capas relativamente delgadas de suelo suelto, a cada capa se incrementa agua según lo obtenido en laboratorio como humedad óptima y es compactada hasta obtener un grado de densidad ó compactación satisfactorio, antes de colocar la siguiente capa, el terraplén se forma con la adición de capas sucesivas hasta obtener la altura deseada, ver fotografía N°10.

Fotografía No. 10
Descarga directa de
material pétreo, para
la formación del
cuerpo de terraplén.



Es necesario que las capas sean construidas con un espesor más o menos uniforme, sobre todo el ancho y longitud del terraplén hasta alcanzar el nivel de diseño como se puede observar en la fotografía N°11. Por lo general no se debe descargar material sobre material no compactado, si los suelos son inestables serán necesarias medidas especiales de construcción.



Fotografía No. 11
Proceso de formación y compactación de un terraplén, previa incorporación de agua.

En la formación de terraplenes se utilizan dos métodos generales; el primero consiste en descargar y tender el material en una sola operación, la cual es realizada por escrapas, el segundo consiste en la descarga directa del material utilizado, empleando camiones de volteo, fuera de carretera u otro, para que posteriormente se inicie el tendido con la ayuda de traxcavos, motoconformadoras u otro, como se ilustra en la fotografía N°12.

Fotografía No. 12
Maniobras en las que se aprecia el proceso de descarga y tendido de material pétreo.



4.2 CONSTRUCCIÓN Y COMPACTACIÓN DE LAS TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS.

Los requisitos de construcción y compactación de los diversos Organismos encargados de la construcción de carreteras, se han modernizado constantemente, impulsado por la tecnología en la construcción de nuevos equipos. Lo mismo ha sucedido con los diversos elementos para la interpretación del comportamiento de los suelos sometidos a compactación y del resultado final de ésta, tales como las diferentes clasificaciones del material, aun que se ha generalizado el uso de la clasificación S.U.C.S., otro elemento de disparidad es el mismo método con que ha de revisarse la compactación, ya sea Pórtter, Próctor Estándar o Modificada y por último la conveniencia de una compactación de capas al 90, 95 o 100%, aun que en esto último imperará la economía.

No obstante, la naturaleza y propósito general de la compactación están claramente entendidos, ya que los suelos deben compactarse con el contenido de humedad óptimo o cerca de él, para alcanzar el porcentaje de densidad máximo establecido en un laboratorio reconocido, se controla la humedad estableciendo algunas veces una especificación general o valores numéricos en +/- 2% de la humedad óptima.

En general, la estructura de las terracerías y los pavimentos (subrasante, sub-base, base y carpeta), es construida, compactada y controlada, siguiendo lo descrito para terraplenes, excepto para las carpetas; el único cambio importante radica en los requisitos de calidad de los materiales con que ha de formarse cada capa, debiendo ser revisados de acuerdo a su diseño y/o de acuerdo a las normas establecidas por la Dependencia correspondiente.



Fotografía N°13 Proceso de afine en subrasante

4.3 CONSTRUCCIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA.

Ahora, se explica lo relacionado con la superficie de rodamiento, o carpeta asfáltica.

Las carpetas de este tipo son diseñadas y construidas de tal forma que tienen capacidad para soportar volúmenes proyectados de tránsito de automóviles, camiones o mixtos. Estipulando solo, que estén soportadas por una estructura de cimentación adecuada.

El espesor puede variar dependiendo del tipo de carpeta y propósito. En términos generales, son compuestas por mezclas distinguidas por el uso de agregados seleccionados y graduados con un aglutinante de origen asfáltico y de naturaleza semisólida. La composición de la mezcla se especifica y controla con mayor rigidez para las mezclas en caliente, (preparadas en plantas dosificadoras y centrales), que los otros tipos de carpeta bituminosa. De la misma manera la preparación, colocación y acabado se efectúa bajo especificaciones y controles rígidos.

Las carpetas asfálticas tienen dos propiedades principales, la estabilidad y la durabilidad; la estabilidad permite a la carpeta soportar los esfuerzos impuestos por el movimiento de los vehículos, sin sufrir una deformación considerable y permanente, mientras que la durabilidad le permite resistir efectos, tales como aire, agua, y cambios de temperatura.

Tanto la estabilidad como la durabilidad, están ligadas a la densidad de la mezcla, ésta densidad es expresada generalmente en términos de los huecos en la mezcla, esto es, la cantidad de poros que la mezcla compacta no se llena con el agregado o material asfáltico. Por lo tanto una mezcla densa tiene un bajo porcentaje de huecos (vacíos), mientras que una mezcla floja tendrá un porcentaje alto de ellos.

Otro factor básico que interviene en el pavimento asfáltico terminado, es la compactación de la mezcla. Se considera como aceptable un alto grado de compactación, ya que éste se asocia con la densidad y alta estabilidad. Sin embargo, la compactación no debe continuarse hasta que el agregado se rompa o se degrade, siendo controlado mediante la verificación de la densidad establecida en el laboratorio con algún método de compactación estándar, generalmente la prueba Marshall.

El mayor y más importante control, se da al contenido óptimo de material asfáltico (recientemente se ha utilizado el cemento asfáltico AC-20), si el agregado mineral solo y seleccionado, alcanza una densidad y una baja estabilidad, con el incremento de pequeñas cantidades de material asfáltico, tanto la densidad como la estabilidad deberán incrementarse, dando en este punto que el

material asfáltico forme finas películas que rodean total o parcialmente las partículas del agregado. Si se agrega mayor cantidad de material asfáltico, se alcanzará un punto en el que se han cubierto por completo las partículas del agregado; el material adicional servirá para llenar los espacios vacíos entre las partículas del agregado y en consecuencia se dará el incremento de densidad y estabilidad. La adición de cualquier otra cantidad de material asfáltico dará como resultado el decremento de la densidad y estabilidad. Por lo anterior se observa que la cantidad de material asfáltico óptima será aquella que llene de manera más exacta los vacíos de la mezcla compactada.

Con el fin de evitar excesos en las mezclas asfálticas, por efecto de expansión ocasionado por incremento de temperaturas entre otros factores, frecuentemente se especifica que la cantidad del producto asfáltico sea tal que produzca una mezcla que tenga, cierto contenido mínimo y máximo de vacíos.

Como resultado de un buen diseño de mezcla sé tendrá:

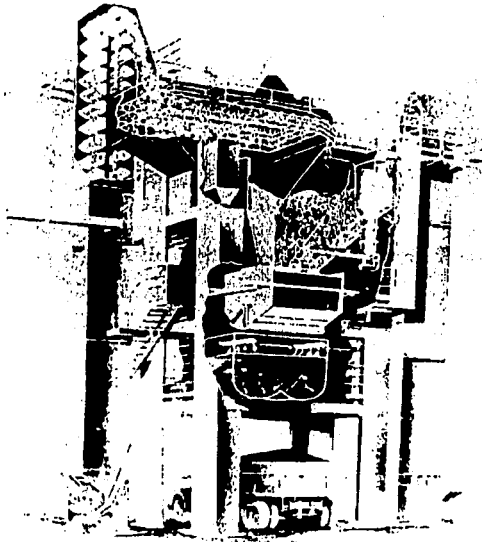
- a) Suficiente asfalto para asegurar un pavimento durable.
- b) Suficiente estabilidad de la mezcla para cumplir con lo exigido por el tránsito sin distorsiones o desplazamientos de la carpeta.
- c) Suficientes vacíos en la mezcla totalmente compactada para permitir un ligero aumento de la compactación adicional, por el tránsito, sin que haya ensanchamiento ni pérdida de estabilidad, pero que sea suficientemente baja para evitar la entrada de aire y humedad.
- d) Suficiente trabajabilidad para permitir la colocación eficiente de la mezcla, sin segregación (separación de partículas).

En relación ha los pasos fundamentales en la construcción y ende de control son:

- a) Preparación de la mezcla.
- b) Preparación de la capa de base o de la capa niveladora.
- c) Transporte y tendido de la mezcla en caliente.
- d) Juntas.
- e) Compactación y acabado final.

4.3.1 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA.

Las plantas dosificadoras que son típicas en la preparación de mezclas asfálticas, pueden ser del tipo continuo ó de mezclas por peso, ver figura 4-1 y 4-2.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4-1 Planta de mezclado en caliente por peso.

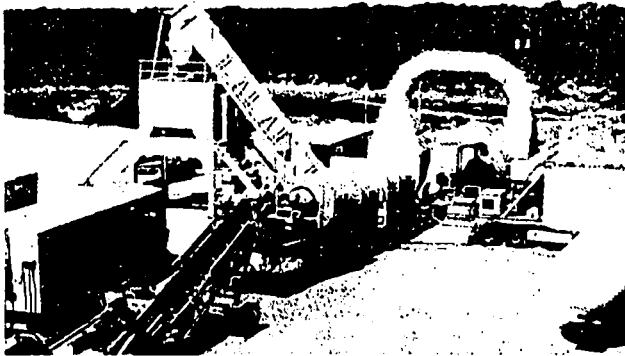


Figura 4-2 Planta de mezclado en caliente con tambor de secado.

Es importante mantener el control en la uniformidad de la mezcla ya que cualquier cambio apreciable en la granulometría o contenido de asfalto, provocaría cambios en las características de la mezcla.

Con relativa frecuencia, es necesario realizar ajustes en las primeras etapas de operación de la planta o si se presenta cambios en los agregados.

Para alcanzar una temperatura de mezcla apropiada deben utilizarse las relaciones, temperatura-viscosidad del asfalto. Muchas Dependencias especifican una temperatura de la mezcla, basada en la viscosidad permitiendo una variación de +/- 20°F, pero las plantas modernas incorporan medidores que registran las temperaturas del asfalto y agregados permitiendo un mayor control sobre éstas. Las temperaturas del asfalto antes de su entrada a la mezcladora en general son de 225° a 350°F y se cuida que el calentamiento previo no se exceda ya que provocaría destrucción de cualidades deseables.

4.3.2 PREPARACIÓN DE LA CAPA DE BASE O DE LA CAPA NIVELADORA.

La colocación de la carpeta asfáltica es tendida regularmente sobre una base nueva o existente que requerirá el barrido y limpieza total para eliminar el polvo suelto y otros materiales extraños.

La base de cimentación es impregnada con dos riegos de un material asfáltico líquido, aplicado con una petrolizadora como la que se ilustra en la figura 4-3, llamados riego de impregnación y liga.

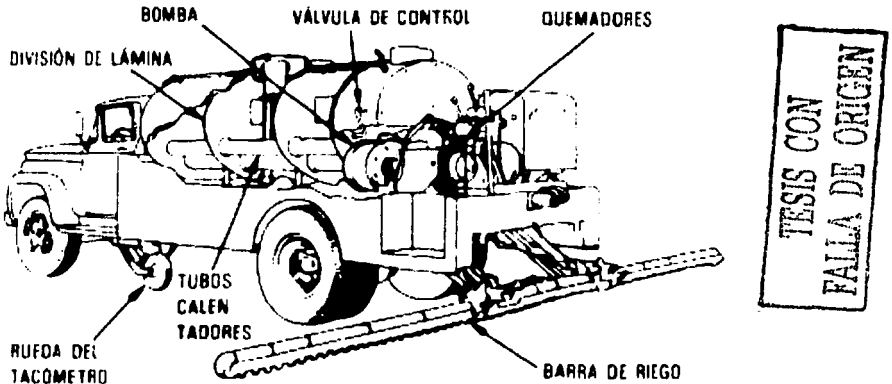


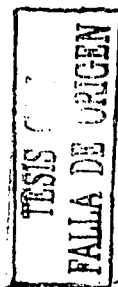
Figura 4-3 Esquema de una máquina petrolizadora.

El primer riego de material penetra en la superficie, la utilidad de éste riego es la de funcionar como barrera para evitar que el agua suba por capilaridad hasta la carpeta, el segundo tiene por objeto mejorar la adhesión entre la base y la superficie de

rodamiento además de que consolida la superficie sobre la cual se aplica.

El material del riego de impregnación, suele ser una emulsión de baja viscosidad, con la cualidad de tener elevada penetración; suelen ser de fraguado medio para superficies de textura abierta y de fraguado lento cuando la superficie es penetrable.

Los asfaltos emulsificados son empleados de forma común, para realizar los riegos de ligas y en general este no deberá realizarse en condiciones extremas de temperatura ya que se puede provocar un rompimiento muy rápido o demasiado lento, ver fotografía N°14.



Fotografía N°14 Proceso de riego de impregnación sobre una base hidráulica nueva.

4.3.3 TRANSPORTE Y TENDIDO DE LA MEZCLA EN CALIENTE.

Las mezclas son transportadas en camiones o remolques, desde el lugar de fabricación hasta el sitio de su colocación. Requiriéndose que los vehículos tengan camas fuerte, lisas y limpias de cualquier material extraño, rociadas de algún material para evitar que se pegue la mezcla. En algunas ocasiones, es necesario que las cajas transportadoras tengan aislamiento térmico, para evitar pérdidas excesivas de temperatura durante su transporte, además de que se cubre el vehículo con lonas para proteger la mezcla contra factores climáticos.

La colocación de la mezcla de concreto asfáltico sólo se realiza cuando la base está seca y bajo condiciones climáticas favorables. Generalmente, las Dependencias especifican temperaturas de mezcla mínimas de tendido.

El proceso de tendido y terminado se realiza con máquinas extendedoras, que procesan un carril a la vez, capaces de producir una superficie lisa con el espesor deseado.

4.3.4 JUNTAS.

En la colocación de la mezcla de concreto asfáltico, se debe poner atención en la construcción de las juntas entre las superficies viejas y las ya construidas ó entre las construidas en días sucesivos de trabajo, ver fotografía N°15 y 16.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fotografía No. 15 Proceso de tendido de carpeta asfáltica, empleando para su tendido una máquina extendedora (Finisher), en curva horizontal derecha.

Las mejores juntas se logran cuando el material que esta en la orilla, sobre el cual se colocará el nuevo, está suficientemente caliente para lograr una compactación eficaz. Cuando la superficie se encuentra fría, se perfila la orilla y se impregna con el material, que comúnmente sea empleado en el riego de liga.



Fotografía No. 16 Proceso de tendido de carpeta asfáltica en tangente, la cual procesa una sola franja.

4.3.5 COMPACTACIÓN Y ACABADO FINAL.

Cuando se terminan las operaciones de tendido y acabado y mientras la mezcla se encuentra todavía caliente, se inicia la compactación, misma que se lleva acabo con aplanadoras de rodillos de acero o llantas neumáticas ó generalmente con la combinación de ellas, ver fotografía N°17.



Fotografía No. 17 Compactación de carpeta asfáltica con un equipo de llantas neumáticas en la fase intermedia.

Con estos equipos se logra una mayor densidad y uniformidad. La presión de contacto, ejercida por una llanta neumática depende de su tamaño, la carga por neumático y la presión de inflado. En general las presiones de inflado oscilan entre 40 y 90 lb/pulg²

En la actualidad, la compactación es realizada con equipos vibratorios con frecuencias de hasta 3000 ciclos por minuto.

La compactación de las carpetas asfálticas se realiza en forma longitudinal, empezando por las orillas y progresando en forma gradual hacia el centro, excepto en las curvas con sobre elevación donde la compactación se hará iniciando en la parte más baja y avanzando hacia la parte más alta. Los recorridos se harán en forma tal que se traslape el recorrido del equipo asegurando una cobertura amplia y uniforme. El compactado se realiza en tres fases, de detalle, intermedia y de acabado. En la de detalle se utiliza equipos de tres rodillos o de eje tándem, para la fase intermedias utilizan equipos de llantas neumáticas y equipos de eje tándem para la compactación final, ver fotografía N°18.



Fotografía No. 18 Compactación de carpeta asfáltica, empleando un compactador rodillo de acero vibratorio en la fase de acabado.

4.4 CONSTRUCCIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA CARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO.

La construcción de los pavimentos de concreto hidráulico, esta enmarcada por el empleo de maquinaria de diseño especia, que cumplen una función especifica en el proceso constructivo.

En el inicio de la construcción se siguen una serie de operaciones coordinadas, de tal forma que el pavimento terminado cumpla las normas de resistencia estructural y textura especificada. A continuación se presenta la secuencia de un proyecto típico:

1. Preparación y acabado de la subrasante.
2. Colocación de la cimbra.
3. Acabado de la subrasante.
4. Instalación de juntas.
5. Mezclado y colocación del concreto.
6. Extendido y acabado del concreto.
7. Pavimentación con cimbra deslizante.
8. Curado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.4.1 PREPARACIÓN Y ACABADO DE LA SUBRASANTE.

Un paso importante en la construcción de un pavimento, es sin duda, la construcción y preparación de la subrasante ya que proporcionará un apoyo uniforme al pavimento terminado.

En algunos casos, la subrasante proporciona un adecuado cimiento, por lo que requerirá de compactación y drenaje adecuado antes de colocar la losa de concreto hidráulico. En otros casos se requerirá de material de banco que proporcione las características necesarias y se coloque entre la subrasante y la losa o bien, se puede estabilizar el suelo existente con cemento pórtland, material asfáltico o materiales granulares de mejor calidad.

Es muy común incluir una capa de aislamiento entre el terreno natural y la losa de concreto, denominada sub-base, utilizando para formar esta, materiales entre los que se incluyen la grava, arena, grava-arena, roca triturada, etc. con espesores que varían entre 2.50 a 16.00 cm cuando se requiere prevenir el bombeo y capas de material granular mas gruesas cuando se requiere prevenir la acción de las heladas.

Para cualquier solución, se debe lograr que la capa colocada por debajo de la losa, adquiera un alto grado de densidad y estabilidad, debiendo drenarse adecuadamente. El acabado que se dará a la capa se logra utilizando motoconformadora o un equipo similar, que dote a la sección de la elevación de proyecto. En la mayoría de los casos, se hará que la capa subrasante adquiera sus propiedades geométricas, para iniciar la construcción de la losa de concreto hidráulico.

4.4.2 COLOCACIÓN DE LA CIMBRA.

En la actualidad los pavimentos son construidos con cimbras deslizantes, sin embargo aun se emplean las tradicionales cimbras de acero, para las cuales se requiere de asegurar en la posición deseada ya que de ello depende el espesor, ancho, elevación y nivel que debe asegurarse en la losa final.

En la construcción se emplean tramos de cimbra de 3.00 m aproximadamente, alineadas tanto en sentido vertical como horizontal, por medio de juntas deslizantes que se mantienen en su posición mediante estacas. Las cimbras de este tipo varían en altura de 15.00 a 30.00 cm con anchos de base correspondientes.

Diversos equipos son utilizados en conexión a la colocación de la cimbra. Uno de ellos es la niveladora de cimbra, misma que corta una zanja con medidas y posición exacta para recibir la cimbra, entonces la cimbra es clavada con pernos utilizando medios

manuales y/o mecánicos, posteriormente se emplea un segundo equipo para apisonar la cimbra y asegurarla en su lugar. Es importante verificar cuidadosamente, el alineamiento y elevación de las cimbras antes de continuar las operaciones de construcción.

Por lo regular, se requiere tener disponibilidad de una cantidad suficiente de cimbras en el lugar de la obra, de tal manera que se lleve la suficiente longitud por delante de la pavimentadora.

El uso de las cimbras deslizantes, está exclusivamente ligado a la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, con la ventaja de que una pavimentadora con cimbras deslizantes es operada por una sola persona y reemplaza los diversos elementos de una pavimentación tradicional.

Todas las pavimentadoras operan con el mismo principio general de combinar diversas operaciones en una sola máquina. Cada una de las máquinas cuenta con un sistema de conducción electrónico, operado por un cable tensado, que sirve de guía y mantiene el nivel y alineamiento.

El concreto se coloca sobre la sub-base, por delante de la pavimentadora, la cual realiza el extendido con un espesor uniforme, retirando el exceso con una barra oscilante, posteriormente es sometido a vibraciones de gran escala que es forzado a entrar en el espacio comprendido entre las cimbras laterales que son parte de la pavimentadora y una viga o vigas transversales en la parte posterior de la maquinaria. La viga es la que forma la superficie de la losa misma que puede ser ajustada para dar el espesor deseado. Algunos equipos tienen cimbras laterales colgantes de longitud variable detrás de la máquina que confinan el concreto fresco mientras el equipo avanza lentamente. Para obtener resultados favorables es necesario mantener el control de la consistencia de concreto fresco, manteniendo revenimientos comunes de 2.5 a 4.0 cm, así como del aire atrapado.

4.4.3 ACABADO DE LA SUBRASANTE.

En esta fase del proceso se da la forma final a la subrasante, de acuerdo a las dimensiones señaladas en planos y especificaciones. Este proceso se realiza colocando una máquina sobre la cimbra que corta la subrasante en forma exacta requerida, ya que por lo regular esta se deja con un espesor ligeramente mayor al especificado, mismo que es depositado fuera de las cimbras. En muchos de los casos el corte es acompañado de una compactación final.

4.4.4 INSTALACIÓN DE JUNTAS.

Un paso importante en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, es la colocación de juntas, llevada a cabo, al dar el acabado final a la subrasante. Las clavijas usadas comúnmente en las juntas transversales, se colocan cuidadosamente y alinean paralelamente al centro del eje y subrasante evitando obstruir el movimiento libre en los extremos de la losa longitudinalmente cumpliendo adecuadamente con la transferencia de carga.

Las juntas típicas de clavija transversales, son en primer lugar, de clavija unitaria con tapón removible, mismo que se retira una vez tendido el concreto y terminado el acabado preliminar, mientras que en el segundo se realiza una ranura que puede hacerse inmediatamente después de haber concluido la operación de terminado del concreto, ejerciendo presión sobre el concreto y dando la localización deseado o por medio de un corte en el concreto endurecido. Una vez concluida una de las operaciones antes descritas se procede al relleno de la grieta, utilizando selladores que se introducen por medio de máquinas especiales. Es importante que en una de las caras de la clavija sea impregnado con algún producto que evite se adhiera al concreto, mientras que la otra cara si deberá adherirse al concreto. En las juntas donde no se utilicen clavijas, generalmente del tipo plano débil, solo se deberá prevenir en la ranura de la superficie, formando arista e instalación del sellador de juntas. Las juntas longitudinales son instaladas en forma similar, excepto en el tratamiento, ya esta si deberá adherirse al concreto en ambas caras de la junta.

En algunos otros casos las juntas no son colocadas, tal es el caso de los pavimentos de concreto simple, en el cual se forma la junta mediante cortes transversales y longitudinales, realizadas con cortadoras de hoja sencilla, variando en su geometría de acuerdo al tipo de sellador que se empleará. El tiempo que deberá transcurrir entre el proceso final de acabado e inicio de corte, varía de entre 4 y 24 horas, mismo que deberá evaluarse mediante un corte de prueba realizado unas horas después del acabado final, previniendo así la aparición de grietas al azar y desgaste excesivo de las hojas de corte

4.4.5 MEZCLADO Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

El proceso de mezclado más común y utilizado en la actualidad es en el que los agregados y agua son dosificados y mezclados en una planta central, desde la cual se transporta el concreto fresco al sitio en que se ha de colocar, con ayuda de camiones que cuentan con revoladora. El concreto transportado de tal forma es depositado en máquinas extendedoras.

4.4.6 EXTENDIDO Y ACABADO DEL CONCRETO.

El proceso de estos trabajos es realizado en gran variedad de formas variando en cada uno de ellos el tipo y número de máquinas.

El equipo más común utilizado es la máquina extendedora, misma que tiene un tornillo que controla el espesor de la capa tendida de manera uniforme, esta con frecuencia lleva vibradores y barra que permite dar un acabado preliminar a la superficie, mismo que es terminado con una máquina para tal fin.

Generalmente, durante las operaciones de acabado, se corrigen las irregularidades del pavimento con escantillones.

El objeto del acabado final, es el de proporcionar una superficie antiderrapante, misma que se ha logrado de distintas formas; la más utilizada es en la que se arrastra una arpilla en sentido longitudinal a lo largo del pavimento.

4.4.7 PAVIMENTACIÓN CON CIMBRA DESLIZANTE.

El proceso de la pavimentación mediante la utilización de cimbras deslizantes, introducida en Estados Unidos en el año de 1954, presenta la ventaja de que una sola máquina reemplaza diversos elementos y máquinas convencionales, al realizar el mismo proceso de forma más eficiente, combinando diversas operaciones en una máquina.

El proceso con el que funciona este tipo de máquinas, es mediante la colocación de concreto en la parte frontal de la extendedora, mismo que lo acomoda de manera uniforme y retira los excesos con una barra oscilante, paso seguido, el concreto es sometido a vibraciones y se hace pasar por las cimbras deslizantes, que forman parte de la pavimentadora.

4.4.8 CURADO.

Este proceso es realizado con el fin de que el concreto presente el fraguado en forma adecuada, manteniendo el agua necesaria para proporcionar la hidratación requerida en el concreto. La naturaleza de los procesos de fraguado varía de acuerdo a las condiciones de la obra y especificaciones de cada Dependencia, permitiendo generalmente procedimientos alternativos.

TERMINADO
FALLA DE ORIGEN

4.5 PRUEBAS LABORATORIO Y CAMPO QUE SE REALIZAN A LAS ESTRUCTURAS COMPACTADAS DE LOS PAVIMENTOS.

En general, durante el proceso de compactación de campo, se controla con relativa frecuencia la densidad y humedad del suelo, llámese terracería, subrasante, sub-base ó base. La compactación se representa en porcentaje de entre la relación del peso volumétrico obtenido en campo y el peso volumétrico seco máximo obtenido en laboratorio.

$$\% \text{ de compactación} = \frac{\text{Peso Volumétrico Seco de Campo} \times 100}{\text{Peso Volumétrico Seco Máximo de Laboratorio}}$$

Se puede comparar el peso volumétrico seco obtenido, con el de la curva de compactación para el suelo y con el esfuerzo de compactación que interviene, para verificar que se ha obtenido en campo los requerimientos de compactación establecidos en laboratorio.

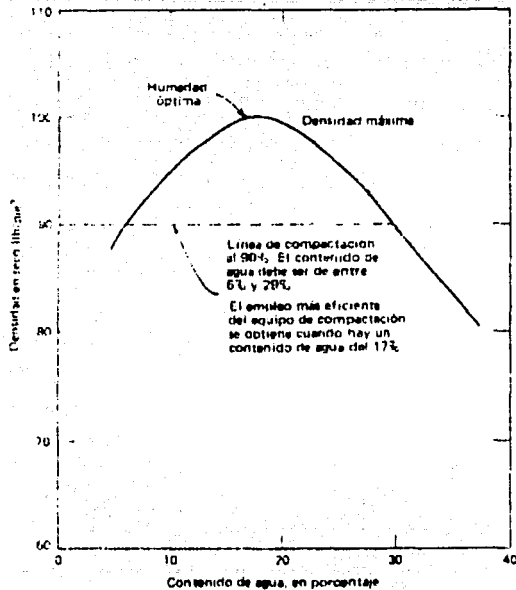
Para cualquier suelo y con un esfuerzo específico de compactación, la muestra se puede compactar hasta diferentes contenidos de humedad. Si se compactan varias muestras a diversos contenidos de humedad, la densidad en seco será distinta para cada muestra compactada. Si se traza una gráfica del contenido de agua del suelo en función de la densidad en seco se gráfica una curva, similar a la que se muestra en las figuras 4-4, esta curva indica el porcentaje de agua que persiste en la densidad más alta en seco y con frecuencia se denomina curva de densidad húmeda o curva de compactación.

Si algunas franjas de prueba se compactan en el área de la obra, utilizando material con varios contenidos de humedad y con un esfuerzo idéntico de compactación, las pruebas de densidad sobre el terreno producirán una curva similar.

La finalidad de las pruebas de compactación en el laboratorio es tratar de reproducir la compactación en el área de la obra.

La curva de compactación representa el contenido de humedad en el que se necesita la menor cantidad de energía para compactar el suelo (contenido óptimo de humedad), si observamos la figura 4-4, donde la línea punteada cruza la curva, indica el contenido mínimo de humedad y el máximo al que es posible compactar el suelo, utilizando equipos de compactación de laboratorio, para un porcentaje de compactación definido, esto puede indicar también el contenido máximo y mínimo de humedad a los que se puede compactar el suelo con equipos de compactación sobre el terreno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Figura 4-4 Gráficas de densidad elaboradas en laboratorio.

En cualquier suelo, el aumento del esfuerzo de compactación produce una mayor densidad. Así mismo, el suelo se compacta con mayor facilidad con un contenido óptimo de humedad. Por tanto, es importante identificar el esfuerzo de compactación que se utiliza, puesto que la curva de compactación varía, (véase generalidades del capítulo 1.2).

Se han establecido diferentes métodos de prueba de compactación en el laboratorio, esos métodos presentan demasiada variación uno del otro, por lo tanto, es importante entender el método de compactación que utilizará el laboratorio para establecer el punto máximo en la curva de compactación, ese punto es el de mayor densidad en seco y equivale a una compactación del 100 %.

Las Instituciones relacionadas con carreteras han utilizado tres métodos convencionales para la determinación de la densidad del suelo. Estos son el método de la arena, del globo y del aceite. En cada uno, la determinación de la densidad inicia con la excavación de un pozo (cala) en la capa de suelo por ensayar, que pueden ser circulares o cuadrados con la profundidad del espesor de

la capa. Todo el material extraído se pesa en una báscula de campo, y se coloca en un recipiente sellado para su transporte al laboratorio. Entonces se podrá determinar el volumen de la capa utilizando uno de los métodos antes mencionados.

En la figura 4-5 se aprecia el equipo necesario para la determinación de la densidad de campo por el método de arena. Para el uso de éste equipo deberá nivelarse la superficie donde se hará la cala, El frasco lleno con arena se invierte sobre la cala y se abre la válvula, para permitir el paso de la arena que llenara la cala. Una vez lleno, se cierra la válvula y se pesa el frasco con la arena restante, pudiendo entonces determinar el peso de arena que ocupo la cala y con el peso volumétrico seco suelto de la misma se conocerá el volumen del sondeo. Después de obtenido el peso y volumen del material extraído, se puede calcular el peso volumétrico húmedo, que servirá para conocer la densidad de la capa analizada.

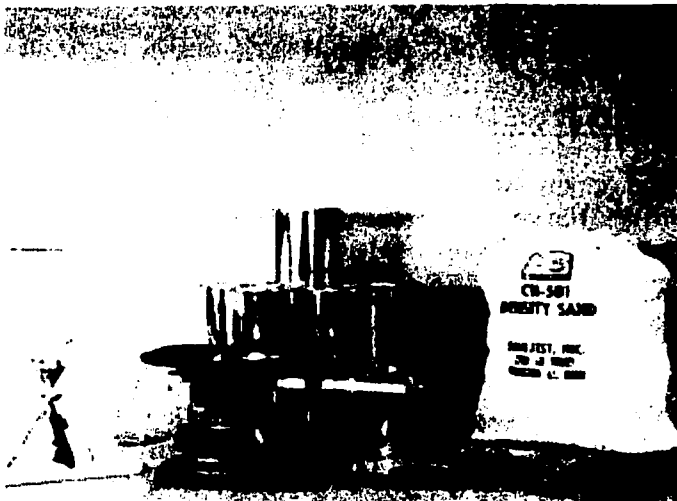


Figura 4-5 Equipo de arena para determinar la densidad en campo.

Si se sabe que el suelo tiene el contenido óptimo de humedad o que está cerca de él, se puede verificar la densidad comparando el peso volumétrico húmedo establecido en laboratorio. No obstante se puede determinar el contenido de humedad mediante un secado rápido, con la ayuda de una estufa de campo.

Rara vez se tiene tiempo disponible para utilizar métodos más seguros, porque la decisión acerca de si la densidad obtenida es o no satisfactoria, debe hacerse con rapidez con el fin de no detener o retrasar el proceso de la obra.

Con respecto a las carpetas asfálticas, éstas tienen propiedades que están ligadas a la densidad de la mezcla, en la cual la compactación, contenido de cemento asfáltico y temperatura interviene como un factor importante, a los cuales se les dará el más importante control.

Existen varios métodos aplicables para determinar el porcentaje de asfalto que contiene una mezcla, ya sea recién elaborada o bien, que forme parte de una capa construida con anterioridad; los cuales consisten fundamentalmente en separar por dilución el cemento o residuo asfáltico de las partículas de agregado pétreo, para cuantificar cada uno de estos dos elementos y determinar la proporción en que se encuentran en la mezcla. Al agregado pétreo libre de asfalto se le determina su composición granulométrica y también, en algunos casos, se podrá recuperar el asfalto para estudiar sus características. Los procedimientos son: el colorimétrico, el de recirculación de disolvente y el de extracción por medio de centrifugado; los dos primeros se aplicarán principalmente en la verificación del contenido de cemento asfáltico y en el control de elaboración de las mezclas, limitándose el segundo a mezclas sin disolventes; el procedimiento mencionado en último término es menos preciso y se utilizará principalmente en la determinación de la composición granulométrica citada.

El procedimiento más comúnmente utilizado para determinar el contenido óptimo de asfalto y granulometría, es el método de extracción por medio de centrifugado, que consiste en someter a la muestra de prueba a un proceso de lavado con tricloroetileno de carbono o benceno, utilizando un aparato (rotarex) adaptado especialmente para el objeto, a efecto de obtener el agregado pétreo de la muestra libre de asfalto y determinar su composición granulométrica; así también se obtiene la cantidad aproximada de asfalto contenido en la muestra, para estimar su proporción en peso con relación al del agregado pétreo de la mezcla y queda representado en la siguiente expresión:

$$C.A.\% = \left(\frac{W}{W_1 + (W_{p1} - W_p)} - 1 \right) 100$$

En donde:

A es el contenido aproximado de residuo o cemento asfáltico de la mezcla, en porciento.

W es el peso inicial de la muestra de mezcla asfáltica, en gramos.

W1 es el peso del agregado libre de asfalto, secado al horno, en gramos.

Wp1 es el peso seco inicial del disco del papel filtro, después del centrifugado, en gramos.

Wp es el peso inicial del disco del papel filtro, en gramos.

Para la verificación de compactación en los pavimentos, generalmente se realiza extracción de corazones, los cuales son ensayados en forma semejante a las pastillas fabricadas durante los diseños Marshall, para las que se deberá determinar la densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos y % V.A.M. y demás propiedades solicitadas en el proyecto, verificando así que se cumpla con lo dispuesto, en caso contrario se procederá a emitir las recomendaciones pertinentes.

Los dos métodos usados ampliamente para el diseño de mezclas son: el método Marshall y el método Hveem.

Con relación al control que se debe tener en la fabricación del concreto asfáltico es importante mantener la uniformidad de la mezcla ya que cualquier cambio apreciable en la graduación o contenido de asfalto, provocaría cambios en las características de la mezcla.

Las pruebas y muestreo son de las funciones más importantes en el control de la planta. Los datos de esas pruebas son con lo que se ejerce el control de calidad de la mezcla. Las muestras pueden obtenerse en cualquier punto de la planta para saber que el proceso sea el adecuado. Con pruebas de extracción se mide el contenido de asfalto y determina la granulometría.

Con relativa frecuencia, es necesario realizar ajustes en las primeras etapas de operación de la planta o si se presenta cambios en los agregados.

También se lleva el control al tender la carpeta asfáltica, para el cual las Dependencias especifican generalmente una temperatura mínima para el tendido e inicio de la compactación.

La densidad que se deberá obtener en la superficie terminada deberá ser un porcentaje de la máxima densidad teórica o de la mezcla compactada en laboratorio, la cual también es especificada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

por las Dependencias encargadas y que generalmente es del 95%.

En ocasiones las Dependencias especifican que la densidad no deba ser menor del 95% de la densidad de la carpeta terminada, los de vacíos deberán ser de entre 3 a 5% como mínimo y máximo respectivamente, el flujo de 2 a 4 mm y estabilidad de 450 a 700 kg, entre otras, las cuales dependerán del tipo de carretera.

4.6 CONTROL DE CALIDAD.

Para construir las vías terrestres, es necesario poner en marcha diferentes controles, a fin de que cada obra construida tenga calidad, sea ejecutada en el tiempo programada y con el costo presupuestado.

El control de calidad es uno de los procesos de mayor importancia durante la ejecución de las obras, mismo que nos permite garantizar que esta cumplirá con el objeto que se proyectó, auxiliados por laboratorios. Este control de calidad se puede entender como el conjunto sistemático de esfuerzos, principios, prácticas y tecnología, para asegurar, mantener o superar la calidad de las obras a un menor costo posible.

En el control de calidad, se consideran cuatro aspectos fundamentales:

1. Establecimientos de normas de calidad.
2. Estimación de la concordancia con las normas.
3. Información clara y oportuna.
4. Acción cuando no se coincide con las normas.

La responsabilidad de la calidad, recae tanto en quien la construye como quien lo contrata, por lo que se deben tener elementos para su control.

La intensidad del control de calidad depende de su utilidad, las necesidades y magnitud de la obra, así como la disponibilidad de elementos y organización.

Las actividades que se deberán desarrollar para el control de calidad son:

1. Preventivas.
2. Control del proceso.
3. Verificación del producto u obra.
4. Motivación.

En las actividades preventivas se realizan investigaciones, se dan especificaciones y proyectos realistas; para el control del

proceso durante la obra, se deben exigir el cumplimiento de las especificaciones y del proyecto; en la etapa de la verificación se deberá constatar la meta propuesta y de acuerdo a lo alcanzado se realizarán los pagos y ajustes correspondientes, así mismo se deberá dar seguimiento al comportamiento de la obra y durante su funcionamiento; por último, es muy importante mantener motivado al personal y se deberá realizar la retroalimentación de las experiencias adquiridas durante la obra, esto servirá adicionalmente para modificar parcial o totalmente las especificaciones y/o proyectos.

El control de calidad interviene en cada una de las etapas que constituyen los proyectos de caminos, aeropuertos, ferrocarriles, etc., es decir, desde el proyecto y construcción hasta la operación y el mantenimiento.

En la etapa de proyecto se realizan los estudios necesarios para determinar los materiales susceptibles de empleo y tratamientos a los que se deberán sujetar, mientras que cuando la obra ya se encuentra en construcción, se verifica que los materiales empleados y que se encuentre en los diferentes frentes de trabajos, sean los adecuados y se hayan aplicado los tratamientos especificados, también se revisarán los procesos constructivos marcados en proyecto así como la geometría.

En la conservación de las obras, el control de calidad interviene al verificar el comportamiento que se manifiesta, recomendando las acciones que se deberán desarrollar para un adecuado funcionamiento y verificar la calidad de los materiales que se emplean.

En la definición del programa de control de calidad, es muy importante el conjunto de especificaciones, que se manejen, pues fijan las metas que se persiguen, los procedimientos de construcción, la forma de medición de los volúmenes de obra, las bases de pago y la forma en que han de verificarse las obras concluidas (procedimiento de pruebas y normas de calidad).

Las especificaciones son indispensables para manejar con calidad todos los aspectos de la obra, las cuales deberán ser aplicadas por personal con estudios técnicos o prácticos que evitarán una interpretación equivocada de la meta que se persigue.

Las especificaciones y normas de calidad, son el resultado de investigaciones, experiencias y estudios minuciosos de correlación, por lo que deberán ser fijadas por personal profesional, apoyado por instituciones especializadas, que tomen en cuenta los datos recabados durante las etapas de construcción y operación de las obras así como las condiciones climáticas, geológica, tránsito, etc., que pudieran afectar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Hay tres tipos de especificaciones:

1. Normas o especificaciones institucionales respecto a la construcción de un tipo general de obra.

2. Especificaciones particulares; que se refieren a la construcción especial de un tipo de obra o distinto del contemplado en las normas.

3. Especificaciones complementarias, que se indican en el proyecto de una obra en particular.

Las especificaciones complementarias tienen más valor en su aplicación; después siguen las particulares y por último las normas, para cuando haya conceptos que se contrapongan.

Con respecto al personal que ejecuta las pruebas para el control de calidad, este debe tener suficiente práctica y habilidad en las labores que le corresponden, ética para no alterar los resultados por dolo o improvisación.

El jefe de laboratorio debe ser un profesionista que conozca la ejecución de las pruebas, con el fin de que pueda detectar los posibles errores de los laboratoristas y garantizar y controlar los trabajos. Debe interpretar de manera adecuada el resultado de las pruebas, con objeto de hacer las observaciones y recomendaciones necesarias en la realización del proyecto.

El supervisor conocerá la capacidad técnica del personal de laboratorios y tendrá un contacto estrecho para transmitir nuevos conocimientos.

4.6.1 DE AGREGADOS.

Para el adecuado control de calidad de los materiales, verificar la calidad de la obra y estructura de la sección transversal de una vía terrestre, es necesario apoyarse con en laboratorios de materiales que cuente con el equipo calibrado y certificado así como el personal capacitado en cada uno de los procesos y pruebas de laboratorio (una prueba es el conjunto de medidas sistematizadas, efectuadas a un espécimen elaborado ex profeso).

Para realizar el control de calidad, se deberá realizar un programa, definido por un conjunto de pruebas necesarias para clasificar los materiales y verificar la calidad de la obra, proyectando la estructura, base metodológica y técnica del programa, que deberá cumplir los siguientes requisitos:

1. Están dirigidas a características esenciales.
2. Basado en amplios estudios locales.
3. Estar rigurosamente estandarizados.
4. Realizables con rapidez y sencillez.
5. Interpretarse con facilidad.
6. Ser confiables.
7. Que requieran equipos económicos y de fácil reparación y calibración.

La elección de las pruebas, deberá estar basada en un estudio detallado de las que se realizan en otros lados para el fin que se persigue. Así mismo, deberán tomar en cuenta la confiabilidad que se puede tener de ellas al ser reproducidas, el grado de dificultad en su ejecución, las posibilidades de error, la precisión requerida en los resultados y la disponibilidad de equipo entre otros.

4.6.2 DE COMPACTACIÓN.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretende dar, se han establecido procedimientos de prueba para llevar acabo la compactación de los suelos en laboratorio, con objeto de referenciar y evaluar la compactación que se alcanza con los procedimientos aplicados en campo, para determinar el grado de compactación del material. Por lo anterior, tomando en cuenta la aplicación de la energía al material, las pruebas de compactación que generalmente se emplean son las siguientes:

1. Por impacto (compactación dinámica):
 - a) AASTHO estándar.
 - b) Próctor S.C.T.
 - c) AASTHO modificada 3 capas.
 - d) AASTHO modificada 5 capas.
 - e) Método California.
 - f) Método Texas.
2. Por carga estática:
 - a) Pórter.
3. Por amasado:
 - a) Método Heveen.
4. Por vibración:
 - a) Método en el que se emplea una mesa vibratoria.

Las pruebas citadas anteriormente, han servido hasta la fecha, para prever el comportamiento que tendrán los materiales pétreos, una vez colocados en la estructura de la carretera.

Por ultimo, para determinar el grado de acomodo (compactación) de las partículas de un suelo en su estado natural o bien, de las de un material pétreo que forma parte de una estructura, ya sea que esta se encuentre en construcción o construida; fundamentalmente consiste en relacionar el peso volumétrico seco en el lugar, con el respectivo peso volumétrico máximo, este ultimo obtenido con alguna de las pruebas antes citadas, expresado en porcentaje; ambas determinaciones se efectúan con porciones del material, correspondientes a un mismo tamaño máximo, el cual queda limitado de acuerdo a la fracción del suelo que se utilice en la prueba de compactación de laboratorio considerada.

El peso específico seco máximo del material se determinará a partir de una de las pruebas de laboratorio antes citadas, empleando los procedimientos descritos anteriormente.

El peso volumétrico seco en el lugar, del material o fracción del mismo, se obtiene siguiendo los procesos descritos anteriormente, no olvidando que para medir el volumen de una cala volumétrica (sondeo), una vez extraído el material, las partículas mayores al tamaño máximo con que se realiza la prueba de compactación en el laboratorio, serán separadas mediante cribado y devueltas al sondeo después de iniciarse el vaciado de arena, aceite u otro, para no considerar este peso y volumen, ni tomarlos en cuenta para determinar el contenido de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GLOSARIO.

ABUNDAMIENTO: Aumento de volumen de un material al ser excavado, explotado y/o manejado.

ACAMELLONAR: Acción de formar un camellón con material pétreo.

ACEITE FLUIDIFICANTE: Es un aceite viscoso, espeso, no volátil, obtenido por la destilación de productos volátiles livianos que se encuentran en el petróleo crudo. Se utiliza para ablandar los asfaltos muy duros, hasta obtener la consistencia deseada.

ACOTAMIENTO: Faja comprendida entre la orilla de la superficie de rodamiento y la orilla de la corona de un camino.

AFINE: Operación general que consiste en dar forma a una superficie según un perfil o un contorno determinado. Operación de acabado de una calzada.

AGLUTINANTE: Material que posee propiedad de aglutinar partículas sólidas, para formar una capa coherente.

AGREGADOS: Son partículas minerales granulares, usadas para bases, sub-bases y rellenos en carreteras. Las fuentes de agregados incluyen los depósitos naturales de arena y grava, los pavimentos pulverizados de concreto y asfalto, el material pétreo triturado y la escoria de altos hornos.

ALINEAMIENTO: Eje de trazo de una vía.

ALINEAMIENTO HORIZONTAL: Proyección sobre un plano horizontal del eje de la sub-corona del camino.

ALINEAMIENTO VERTICAL: Línea definida por la intersección de la superficie de rodamiento y el plano vertical que contiene el eje de la vía. Proyección del desarrollo del eje de proyecto de un camino sobre un plano vertical.

ALQUITRÁN: Es un material bituminoso, viscoso o fluido, obtenido por destilación destructiva de materias orgánicas como, carbón, lignito, madera y material vegetal.

ANCHO DE CORONA: Ancho de la base superior de la sección transversal de un terraplén o parte de la base de la sección transversal de un corte, limitado por las aristas superiores de la cuneta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANTEPROYECTO: Conjunto de datos preliminares que expresan ideas para la realización del proyecto de una obra.

ARCILLA: Suelo de grano fino o la porción fina de un suelo, que posee alta plasticidad dentro de ciertos límites de contenido de humedad y el cual, secado al aire, adquiere una resistencia.

ASFÁLTICO (BITUMINOSO): Adjetivo que contiene asfalto o alquitrán, o que lo produce por destilación. En general se puede definir como sustancia formada principalmente por materia orgánica o, al menos, carbonácea o que contiene un gran porcentaje de ésta. Además sus características comunes se pueden definir como sustancias pegajosas, adherentes, de color café oscuro a negro, asociadas frecuentemente con olores acre característicos, por lo regular de consistencia líquida al momento de su aplicación a agregados.

ASFALTO (BETUN): Son mezclas de hidrocarburos naturales, pirogenados, o combinación de ambos, que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, y que son completamente solubles en bisulfuro de carbono.

ASFALTO DE PETRÓLEO: Obtenido directamente por refinación del petróleo de base asfáltica. Es un material ligante sólido o semisólido, de color negro o marrón oscuro, que se licua gradualmente al calentarlo. Sus constituyentes son principalmente betunes.

ASFALTO EMULSIONADO: Es un cemento asfáltico con agua, conteniendo una pequeña cantidad de agente emulsificante.

ASFALTO LIQUIDO: Es un cemento asfáltico licuado mediante la adición de un fluidificante (destilado del petróleo ligero y volátil). Hay tres tipos: de curado rápido, mediano y lento.

ASFALTO LIQUIDO DE FRAGUADO LENTO (FL): Es un aceite asfáltico residual o una mezcla de estos aceites con destilados de volatilización lenta. De los grados FL-0, FL-1, FL-2, FL-3 y FL-4. A mayor número corresponde mayor porcentaje de cemento asfáltico.

ASFALTO LIQUIDO DE FRAGUADO MEDIO (FM): Es un cemento asfáltico fluidificado con kerosena. De los grados FM-0, FM-1, FM-2, FM-3 y FM-4. A mayor número corresponde mayor porcentaje de cemento asfáltico.

ASFALTO LIQUIDO DE FRAGUADO RÁPIDO (FR): Es un cemento asfáltico fluidificado con nafta, o con un destilado del tipo de la "gasolina". De los grados FR-0, FR-1, FR-2, FR-3 y FR-4. A mayor número corresponde mayor porcentaje de cemento asfáltico.

ASFALTO NATURAL: Material proveniente del petróleo, sometido a un proceso natural de evaporación y a altas presiones, ejercida en las capas inferiores de la corteza terrestre, que lo hace fluir a la superficie de manera natural.

BACHA: Cantidad de materiales mezclados que, en cada ciclo produce una revolvedora o una planta mezcladora.

BANCO DE MATERIAL: Sitio aprobado para la extracción de material o de agua para la construcción o conservación de una obra.

BASE: Parte inferior de una estructura. Capas sucesivas de materiales seleccionados que se tienden sobre la sub-base. Su función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a la sub-base y terracerías, distribuyéndolas en forma tal que no se produzcan deformaciones perjudiciales a éstas.

BASE NEGRA: Mezcla de agregados con asfalto cuya compacidad, una vez colocada, no es elevada y en el cual la granulometría comprende, en general, una gran proporción de agregados gruesos.

BOMBEO: Curvatura transversal de la superficie de rodamiento, en las tangentes de una obra vial, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua.

CAMA: Superficie comprendida entre las aristas inferiores de los taludes de un corte al nivel de la subrasante.

CAMELLÓN: Lomo continuo y uniforme de materiales, colocados temporalmente a lo largo de un tramo de una obra vial durante su construcción.

CAMINO DE ACCESO: El que se construye generalmente en forma provisional por la ruta más conveniente y que comunique a los frentes de trabajo, bancos de materiales y de agua.

CAPA: Parte homogénea del camino, constituida por materiales dispuestos generalmente en espesor uniforme.

CARPETA: Capa de espesor determinado, construida sobre la base, con materiales pétreos de tamaños especificados y un cementante asfáltico o Portland, que se utiliza como superficie o carpeta de rodamiento.

CEMENTO ASFÁLTICO (AC): Es un asfalto refinado, o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante, de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.

COLCHÓN: Terraplén colocado encima de una alcantarilla o puente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COMPACIDAD: Es la forma de medir el acomodo de un material compactado.

COMPACTACIÓN: Operación mecánica para reducir el volumen de vacíos entre las partículas sólidas de un material, con el objeto de aumentar su peso volumétrico y su capacidad de carga.

COMPACTADORA: Instrumento de obras destinado a aglomerar y comprimir uniformemente los elementos de una carretera, autopista, aeropuerto, etcétera.

CONCRETO ASFÁLTICO: Mezcla uniforme y homogénea, en proporciones adecuadas, de cemento asfáltico y material pétreo de dimensiones, características y granulometría fijada.

CONCRETO HIDRÁULICO: Mezcla, en dosificación adecuada de cemento Pórtland, agregados pétreos seleccionados, agua y aditivos si se requieren, que al fraguar endurece y adquiere las características de diseño.

CORONA: Superficie comprendida entre las aristas superiores de los taludes de un terraplén, o superficie de la cama de un corte sin contar las cunetas.

CORTES: Toda excavación realizada a cielo abierto en terreno natural, en ampliaciones y/o abatimiento de taludes, en rebajes de camas y/o coronas, en derrumbes, escalones, cunetas, contracunetas, despalmes, etc. con objeto de preparar y/o formar la sección de la terracería.

CURADO: Aplicación de materiales impermeables, de agua o materiales u objetos húmedos, a las superficies expuestas de obras construidas con cemento Pórtland, para lograr en ellas su completa hidratación. Conjunto de operaciones que tienen por objeto lograr que el disolvente de la mezcla asfáltica se volatilice hasta un límite previamente fijado.

DEFORMACIÓN: Cambio de la forma de una estructura por aplicación de un esfuerzo mecánico.

DENSIDAD RELATIVA: La relación entre el peso de un volumen dado de una sustancia a 25 grados centígrados (C°), y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

DERECHO DE VÍA: Superficie de terreno cuyas dimensiones fija una Dependencia, que se requieren para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y, en general para el uso adecuado de una vía de comunicación y/o de sus servicios auxiliares, y es por lo tanto, un bien de dominio público sujeto al régimen de este tipo de bienes.

TESTS CON
FALLA DE ORIGEN

DESMONTE: Despeje de la vegetación existente en el derecho de vía, en las áreas de construcción y en las áreas destinadas a bancos de material, con el objeto de evitar la presencia de material vegetal en la obra, y permitir buena visibilidad, de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

DESPALME: Remoción de la capa superficial del terreno natural, que por sus características no es adecuado para la construcción de una obra.

DESPLANTE: Superficie sobre la cual se asienta una estructura.

DESVIACIONES: Caminos auxiliares de carácter provisional construidos como lo fijó el proyecto, con el objeto de derivar el tránsito por fuera de una obra vial para facilitar su construcción o reparación.

DUCTILIDAD: Es la propiedad del material que permite que éste sufra una gran deformación (alargamiento) sin llegar a romperse.

EQUIPO DE COMPACTACIÓN: Constituido por el conjunto de máquinas que, en la construcción de terraplenes, sub-base y bases, sirven para consolidar los suelos, de acuerdo al grado de compactación especificado.

EMULSIFICANTE: Producto químico necesario para la preparación de una emulsión y para mantener estable la dispersión.

EMULSIÓN: Sistema en equilibrio estable de dos materiales no miscibles, disperso el uno en el otro.

EMULSIÓN ASFÁLTICA: Producto que se obtiene por dispersión estable de un cemento asfáltico en agua.

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS: Acción de aplicar a un suelo, determinado producto, para que aumente su capacidad de carga y disminuya su plasticidad.

ESPECIFICACIONES DE PROYECTO: Disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones de proyecto, que una Dependencia fija o dicta para la ejecución de una obra o parte de ella, adicionando, modificando, o sustituyendo a las especificaciones y a las normas generales.

ESPECIFICACIONES PARTICULARES: Conjunto de disposiciones, requisitos e instrucciones particulares que modifican, adicionan o sustituyen a las normas generales correspondientes y que deben aplicarse ya sea para el estudio, para el proyecto y/o para la ejecución y equipamiento de una obra, la puesta en servicio, su conservación o mantenimiento y supervisión de esos trabajos. En lo que se oponga a las normas, las especificaciones prevalecerán.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

HIDROFÍLICO: Se dice que es un material que tiene más afinidad por el agua que por el asfalto.

HIDROFÓBICO: Se dice que es el material que tiene más afinidad por el asfalto que por el agua. (Caso contrario al de un material Hidrofílico).

LIMO: Componente del suelo que en estado seco tiene apenas la cohesión necesaria para formar terrones fácilmente friables, el tamaño de sus partículas está comprendido entre 0.005 y 0.050 milímetros.

MATERIAL COMPACTABLE: Son los fragmentos de roca muy alterada, conglomerado medianamente cementadas, areniscas blandas y tepetates que deberán someterse a pruebas de laboratorio para cubrir los requisitos de porcentaje y tamaño del material retenido.

MATERIAL NO COMPACTABLE: Fragmentos de roca provenientes de mantos sanos tales como basalto, conglomerados fuertemente cementados calizas, riolitas, granitos, andesitas, y otras que excedan los requisitos de porcentaje y tamaño del material retenido.

MATERIALES ASFÁLTICOS: Materiales derivados del petróleo con propiedades aglutinantes, sólidas, semisólidas o líquidas, que se utilizan en estabilizaciones, en riegos de impregnación, de liga y de sello, en construcción de carpetas y elaboración de mezclas y morteros.

MEZCLA ASFÁLTICA: Revoltura de material pétreo y asfalto, similares a los concretos hidráulicos, y como éstos, sujetas a normas rígidas, según el tipo de mezclas que se quiera obtener.

NORMA DE MATERIALES: Características de calidad que deben satisfacer los diversos materiales de construcción.

OBRA: Trabajo de construcción que se ejecuta de acuerdo con el proyecto y/o lo ordene la Dependencia, y con apego estricto a lo estipulado en las normas y/o las especificaciones correspondientes.

PAVIMENTO: Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento, de materiales apropiados, formada por las capas de sub-base, base, carpeta de rodamiento y sello, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en ellas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PAVIMENTO FLEXIBLE: Conjunto de capas que tiene en la parte superior, una carpeta de rodamiento flexible o semirígida, construida por una mezcla asfáltica.

PAVIMENTO RÍGIDO: Son aquellos en los cuales la capa de rodamiento está formada por concreto de cemento Pórtland, con o sin armado de acero. En algunos casos, estos pavimentos podrán llevar una carpeta de desgaste o riego de sello.

PENETRACIÓN (EN ASFALTOS): Determinación de la consistencia de un material asfáltico, expresada por la longitud que una aguja estándar penetra verticalmente en el material, en condiciones determinadas de peso, tiempo y temperatura.

RASANTE: En las tangentes de una obra vial, la intersección de la superficie de rodamiento con el plano vertical que contiene su eje. En las curvas, la intersección de la misma superficie con la de la vertical que contiene su eje. Proyección del desarrollo del eje de la corona de una obra vial sobre un plano vertical.

RELLENOS: Tapado de oquedades dejadas por excavaciones para estructuras, obras de drenaje, etc. con el fin de protegerlas, utilizando para ello el producto o materiales provenientes de excavaciones de estructuras, bancos de préstamo, dragado, tal como lo fije el proyecto y/o ordene la Dependencia.

RESIDENTE: Técnico representante de la Dependencia ante el contratista, cuya función es coordinar y supervisar las obras que ejecute el contratista, para que estas se realicen apegadas al proyecto, programa, especificaciones, normas y demás condiciones y requisitos fijados en el contrato.

RIEGO DE IMPREGNACIÓN: Aplicación de un asfalto rebajado (producto asfáltico diluido) sobre una superficie terminada, con objeto de impermeabilizarla y/o estabilizarla y favorecer así la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica.

RIEGO DE LIGA: Material asfáltico aplicado a una capa de pavimento para adherir otra capa de mezcla asfáltica.

RIEGO DE SELLO: Aplicación de un material asfáltico que se cubre con una capa de material pétreo adecuado, para impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

S.C.T.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

SOBRE-ELEVACIÓN: El alineamiento horizontal y en terracerías, desnivel transversal entre los puntos de la corona de una curva.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SUB-BASE: La capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante.

SUBDRENES: Elemento de un sistema de drenaje subterráneo, construido de acuerdo a las características fijadas en el proyecto, cuya función es captar, colectar y desalojar el agua del terreno natural, de una terracería o de un pavimento.

SUBRASANTE: La capa de material seleccionado que se coloca encima de la terracería, terraplén y/o terreno natural.

SUBTANGENTE: Distancia entre el punto de intersección de dos tangentes consecutivas y el punto de tangencia de una curva circular simple o compuesta, con o sin espirales.

SUELO: Puede definirse como todo el material orgánico e inorgánico que cubre la costra rocosa de la tierra. Todos los suelos son, prácticamente, producto de la desintegración de las rocas que forman dicha costra. Esta desintegración o intemperismo se produce a través del tiempo, por las fuerzas químicas y mecánicas que actúan sobre las formaciones de roca madre durante innumerables períodos y que agrupadas sin cimentación estable son de cualquier tamaño comprendido entre gravas y coloidales. Tales fuerzas abarcan la del viento, agua corriente, congelaciones y deshielos, descomposición química, acción glacial y muchas otras.

TERRACERÍA: Conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial, ejecutados hasta la capa subrasante, sirve de fundación al pavimento después de haber sido terminado el movimiento de tierras y que, una vez compactado, tiene las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.

TERRAPLENES: Estructuras ejecutadas con el material adecuado, producto de cortes o de préstamos, de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o lo ordene la Dependencia. Se considera como tales, las cuñas contiguas a los estribos de puentes y de pasos a desnivel, ampliación de corona, tendido de taludes, y la excavación para alcanzar el nivel de la capa en terraplenes existentes; así como el relleno de excavaciones adicionales abajo de la subrasante en cortes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES:

Hemos de entender que la ingeniería en vías terrestres es inmensa, y no hay hasta el momento límites en su estudio, por lo que en esta obra se abarcan aspectos que fueron considerados como necesarios, para el desarrollo del presente trabajo.

La compactación de terracerías, continua siendo un aspecto importante, en lo que a calidad se refiere, ya que garantizará la duración de cualesquier obra para el tiempo que fue proyectada y sin necesidad de realizar inversiones prematuras o adicionales, si no hasta que la vida útil empiece a decaer, momento en el cual se procederá a mejorar la vía nuevamente.

Un aspecto de importancia en la compactación, es la precisión con la que se deberán realizar cada una de las pruebas con que han de controlarse y verificarse las capas de terracería, subrasante, sub-base, base y carpeta asfálticas. Adicionalmente la honestidad y profesionalismo de los recursos humanos que sean empleados para la ejecución de las pruebas de laboratorio y las pruebas de campo, así como la exploración y muestreo de los bancos de material que pudieran ser empleados, serán un aspecto importante en la duración y calidad de las obras.

Otro aspecto que se deberá cuidar, será el empleo de los materiales adecuados y con las características de calidad recomendadas por las Dependencias y/o las Especificaciones Particulares de cada proyecto. La elección de la maquinaria también repercute tanto en calidad como en economía dentro de una obra.

Por ultimo, el desarrollo de la tecnología seguirá progresando paulatina o rápidamente, por lo que cualquier persona interesada en las vías terrestres, se deberá mantener informada de estas mejoras, mismas que impactarán enormemente en la forma y tipos de maquinaria y en consecuencia las pruebas de laboratorio y campo con que han de seguirse regulando la calidad de las obras que sean construidas en el futuro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA:

Ingeniería en las vías terrestres, Tomo 1 y Tomo 2
Rico Rodríguez, Alfonso

Carreteras, calles y autopistas
Valle Rodas, Raúl

Mecánica de suelos y cimentaciones
Crespo Villalaz, Carlos

Manual de datos de compactación
Ingersoll-Rand

Compactación de terrenos
F. Arredondo y Verdu, F. Jiménez

Pavimentos asfálticos; proyecto y construcción
J. Roger Martín y Hugh A. Wallace

Pavimentos
Hale, Gordon

Proyecto y construcción de carreteras
Jeufroy, Georges

Mecánica de suelos y dimensionamiento
L'Herminier, Roberto

Mecánica de suelos, Tomo 1
Juárez Badillo, Eulalio

Normas para muestreo y pruebas de los materiales equipos y sistemas.
Libro 6 S.C.T.

Ingeniería de carreteras
Paul H. Wright y Radnor J. Paquette
Editorial Limusa grupo noriega editores
5ª edición México 1993

Estructuración de vías terrestres
M. en I., I.C. Fernando Olivera Bustamante
Editorial Continental, S.A. de C.V.
2ª edición México 1996