



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE BASES Y SUB-  
BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. JOSÉ ARTURO DÍAZ RITO

TUTOR PRINCIPAL  
M.I. JAIME ANTONIO MARTÍNEZ MIER  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis 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.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: M.I. HECTOR SANGINES GARCIA

Secretario: M.I. HUGO SERGIO HAAZ MORA

Vocal: M.I. JAIME ANTONIO MARTÍNEZ MIER

1<sup>er</sup>. Suplente: ING. ERNESTO RENÉ MENDOZA SÁNCHEZ

2<sup>do</sup>. Suplente: DR. JESÚS HUGO MEZA PUESTO

Lugar donde se realizó la tesis: CIUDAD DE MÉXICO.

**TUTOR DE TESIS:**

NOMBRE

M.I. JAIME ANTONIO MARTÍNEZ MIER

---

**FIRMA**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por permitirme lograr hasta ahora todas mis metas.*

*A mis padres, quienes han sido ejemplo y pilar para mi formación como persona y profesionista, a quienes les debo todo lo que soy, por su amor, dedicación y esfuerzo en cada etapa de mi vida, esto es gracias a ustedes.*

*A mis hermanos que son parte fundamental en vida, con quienes he compartido todos los buenos y malos momentos, gracias por su confianza y alegría.*

*A mi novia, por el apoyo incondicional y motivación para concluir mis metas, por estar presente en los momentos más importantes y ser parte de mis logros.*

*A mis tíos, primos, sobrinos y en especial a quienes ya no se encuentra con nosotros, gracias por todo su apoyo y cariño.*

*Al M.I. Jaime Antonio Martínez Mier por su dedicación y disposición para la elaboración de esta tesis, así como por sus experiencias y conocimientos brindados en clase.*

*A los maestros del jurado y demás profesores que aportaron a mi formación y realización de este trabajo.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de estudiar un posgrado en esta gran institución.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante mis estudios de maestría.*

*A mis compañeros de maestría quienes se convirtieron en grandes amigos y han alentado esta etapa, así como aquellos que siempre han estado.*

## ÍNDICE

### RESUMEN

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### OBJETIVOS

### METAS

### JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

### CAPITULO I

#### CONCEPTOS GENERALES..... 9

##### 1.1 Pavimentos ..... 9

##### 1.1.1 Generalidades ..... 10

##### 1.1.2 Estructura de un pavimento flexible..... 11

##### 1.2 Terreno de cimentación ..... 12

##### 1.3 Terracerías ..... 13

##### 1.3.1 Capa subyacente..... 15

##### 1.3.2 Capa subrasante..... 16

##### 1.4 Clasificación de suelos ..... 17

##### 1.4.1 Sistema de Clasificación AASHTO ..... 18

##### 1.4.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos..... 20

### CAPITULO II

#### BASES Y SUB-BASES..... 23

##### 2.1 Tipos ..... 23

##### 2.2 Materiales ..... 24

##### 2.2 Materiales estabilizadores ..... 26

##### 2.4 Equipos para construcción de bases y sub-bases..... 28

### CAPITULO III

#### CONTROL DE LOS MATERIALES ..... 35

##### 3.1 Muestreo ..... 35

##### 3.1.1 Tipos de muestreo..... 35

##### 3.1.2 Sitios de muestreo ..... 35

##### 3.2 Preparación de muestras..... 37

3.3 Ensayes de laboratorio.....	38
3.3.4 Compactación .....	46
3.3.5 Valor relativo de soporte VRS.....	53
3.3.6 Desgaste de Los Ángeles.....	54
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE BASES Y SUB-BASES.....</b>	<b>56</b>
4.1 Bancos de préstamo .....	56
4.2 Carga, acarreo y tendido de materiales.....	61
4.3 Compactación en campo.....	68
4.4 Prácticas recomendables de construcción.....	69
4.5 Fallas y soluciones.....	72
4.6 Control de calidad.....	79
4.7 Terraplenes de prueba.....	82
4.8 Seguridad.....	84
<b>CAPITULO V</b>	
<b>ANÁLISIS DE COSTOS Y RENDIMIENTOS.....</b>	<b>89</b>
5.1 Costo directo.....	89
5.1.1 Mano de obra.....	90
5.1.2 Materiales.....	91
5.1.3 Costo horario .....	92
5.1.4 Costos fijos .....	93
5.1.5 Costos por consumo .....	95
5.1.6 Costos por operación.....	98
5.2 Rendimientos .....	106
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>113</b>
<b>REPORTE FOTOGRÁFICO.....</b>	<b>121</b>

## **RESUMEN**

El presente trabajo está basado en el estudio de la construcción y calidad de las bases y sub-bases granulares que conforman un pavimento flexible, con el objeto de divulgar los procesos constructivos más adecuados para su elaboración, así como los costos de materiales y maquinaria necesarios en su ejecución.

Para llevar a cabo este estudio se investigó la normativa vigente en el País, en particular el área de calidad de materiales, que contiene especificaciones sobre sus propiedades más significativas como: granulometría y tamaño máximo de partículas, límites de consistencia, grado de compactación, valor relativo de soporte, entre otros. También dentro de la normativa se revisan los métodos de muestreo y ensayos de laboratorio.

Uno de los aspectos más importantes de la investigación se refiere a la correcta ejecución de los procesos constructivos para cumplir con el control de calidad.

El trabajo inicia con la descripción y planteamiento de la problemática, a partir de lo cual se establecen los objetivos y metas de la presente investigación, seguido de la justificación y el alcance. Enseguida se presenta la práctica general de los procesos constructivos de bases y subbases en el País, para finalmente plantear las conclusiones de acuerdo a los resultados encontrados.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las carreteras son la infraestructura de transporte más usadas en México, ya que son esenciales para impulsar el desarrollo y crecimiento económico del País y facilitan en gran medida la cobertura y calidad de servicios básicos; además, es el sustento de numerosas cadenas de producción y distribución de bienes. La infraestructura carretera moviliza mercancías y personas a través de distancias considerables, la mayor parte de la carga (55% del total) y de las personas (98% del total) que transitan el País. Para atender esta demanda, la red carretera cuenta con 377,660 km de longitud, dividida entre red federal (49,652 km), carreteras alimentadoras estatales (83,982 km), red rural (169,429 km) y brechas mejoradas (74,596 km). En este sentido, es importante que las carreteras del País cumplan con todos los requerimientos necesarios de calidad, durabilidad, seguridad y economía que demandan los usuarios.

Sin embargo, hay varios impactos negativos que deben tenerse en cuenta durante la planificación y construcción de carreteras, los cuales pueden ser problemas de tipo social, geográfico, económico o constructivo. Los problemas más relevantes son aquellos que se ven reflejados en el pavimento y afectan directamente su funcionalidad, así como la comodidad del usuario; éstos pueden ser fallas en el pavimento como baches, deformaciones, fisuras o grietas. Dichos problemas se derivan de un mal procedimiento constructivo o mala calidad de los materiales empleados.

Las bases y sub-bases son parte medular de la estructura de un pavimento y en muchas ocasiones no se tiene el conocimiento de los procesos constructivos óptimos para su colocación y compactación, así como de la normativa vigente. Por esta razón, es importante el conocimiento de la normativa y de las especificaciones de materiales y procesos constructivos que aseguren el buen funcionamiento de un pavimento.

Algunas de las preguntas de la investigación son: ¿Por qué es importante conocer el proceso de compactación de una base?, ¿Qué características deben tener los materiales empleados en la construcción de bases y sub-bases?, ¿Qué relación existe con la compactación de campo y de laboratorio?, ¿Cuáles son los equipos más utilizados para la



colocación de bases y subbases? y ¿Cómo afecta la influencia del agua en las propiedades mecánicas de una base?

## **OBJETIVOS**

### *General:*

Analizar los procedimientos constructivos que se emplean en la actualidad en la República Mexicana para bases y sub-bases con el fin de conocer logros y deficiencias principales en su ejecución.

### *Particular:*

Investigar cuales son los factores que afectan directamente al comportamiento de los resultados así como su calidad. Observar las principales causas que ocasionan que no se obtengan los resultados adecuados.

## **METAS**

Obtener la información necesaria para que cualquier constructor conozca los métodos de compactación, calidad y control de los materiales, pruebas, normativa, procedimientos, costos y todos los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento de bases y sub-bases granulares de un pavimento.

## **JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

Como ya se mencionó existen deficiencias durante la construcción de bases y sub-bases que no son consideradas y afectan directamente al pavimento. Por esta razón se pretende que el trabajo tenga un alcance de tipo descriptivo-correlacional, con visitas de campo donde se puedan observar y estudiar los puntos más importantes de la construcción de bases y sub-bases y establecer conclusiones y recomendaciones.



---

# CAPITULO I

## CONCEPTOS GENERALES

### 1.1 Pavimentos

Un pavimento se define como la capa o conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores. Este conjunto de capas proporciona una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficazmente con un tránsito rápido y confortable. Existen varios tipos de pavimentos; flexibles, rígidos, semi-rígidos y articulados; los más usados en nuestro País son los dos primeros.

#### Pavimentos flexibles

Se denominan pavimentos flexibles aquellos en que su estructura se deflecta o flexiona. Estos pavimentos están formados por una carpeta bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, denominadas base y sub-base, las cuales se construyen sobre una capa subrasante.

#### Pavimentos rígidos

Están constituidos por una losa de concreto hidráulico como superficie de rodamiento, la cual distribuye las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, la losa se apoya sobre una capa sub-base. La capacidad estructural de este tipo de pavimento depende de la resistencia de la losa, por lo que algunos autores consideran que el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño de su espesor.<sup>1</sup>

Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse directamente sobre la capa subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos de

---

<sup>1</sup>Montejo Fonseca, Alfonso, Ingeniería de pavimentos fundamentos, estudios básicos y diseño Pág. 5.



---

ésta sean “bombeados” hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en las losas.

### Pavimentos semi-rígidos

Este tipo de pavimento tiene una estructura similar a la de pavimento flexible. Una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser asfalto, emulsión, cemento, cal o sustancias químicas. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento.

### Pavimentos articulados

Están compuestos por una capa de rodamiento elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. La capa se apoya sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez está sobre una capa granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circulan por el pavimento.

#### 1.1.1 Generalidades

De la misma forma en que los vehículos han evolucionado en peso y velocidad de circulación, los pavimentos se han mejorado en comodidad y seguridad de su superficie de rodamiento. Ha habido mejoras tanto en las condiciones geométricas, como curvatura de los caminos, pendiente, secciones transversales, entre otros.

El factor económico condiciona el tipo de superficie que reciba la terracería. En caminos de muy bajo tránsito, la superficie de rodamiento puede estar formada por un revestimiento consistente en una mezcla de grava-arena, que aunque es de bajo costo, tiene el inconveniente de que tendrán menor tiempo de funcionalidad.

Por aspectos económicos se busca que la construcción de pavimentos en las terracerías se utilicen materiales con mejores características, que ayuden a disminuir espesores de las



---

capas superiores de mayor costo. Las superficies de rodamiento deben cumplir con diferentes características. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México considera que las de mayor importancia son las siguientes:

- Estable ante el intemperismo.
- Resistente a las cargas producidas por el tránsito.
- Con textura adecuada para el rodamiento.
- Durable.
- Con condiciones de permeabilidad adecuadas.
- Económica.

Todas estas características implican que en el medio donde se desarrollará la obra, se utilicen los materiales más convenientes para que la construcción de las capas sea de buena calidad.

### 1.1.2 Estructura de un pavimento flexible

La estructura de un pavimento flexible está conformada por la superficie de rodamiento y las capas de características controladas que la subyacen, es decir la carpeta asfáltica y las capas de base y sub-base.

#### Carpeta

La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito de vehículos, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del mismo tránsito. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento y una resistencia a la tensión que complemente la capacidad estructural del pavimento.



### Base granular

La función fundamental de la base granular consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

### Sub-base granular

Corresponde a una capa de transición. Una sub-base bien diseñada impide la incrustación de los materiales de la base en los de la subrasante, además de actuar como filtro de la base, impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen, afectando su calidad. También permite el drenaje del agua que se introduzca a través de la carpeta, impedir el ascenso capilar, así como absorber deformaciones asociadas a cambios volumétricos de la capa subrasante. Esta capa debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitirlos con un valor adecuado a la subrasante.

## **1.2 Terreno de cimentación**

Las terracerías que requiere una obra vial transmiten esfuerzos al terreno natural bajo ellas. Esos esfuerzos a su vez producen deformaciones que se reflejan en el comportamiento estructural de las terracerías y pavimentos, de ahí la necesidad de estudiar el terreno de apoyo o cimentación. Además, existen factores independientes de la superestructura de la obra vial, como es el agua, que produce efectos desfavorables en el terreno de cimentación y que a su vez se reflejan en el comportamiento de la misma obra. La interacción del terreno de cimentación y la superestructura de la obra vial afecta de tal manera al comportamiento conjunto, que es de extrema importancia el estudio de los métodos para modificar las condiciones del terreno de cimentación cuando sean desfavorables, convirtiéndolas en más propicias.



---

Se entiende por terreno de cimentación la parte de la corteza terrestre en que se apoya la estructura de la obra vial y que es afectada por la misma; su función es soportar a dicha obra vial en condiciones razonables de resistencia y deformación.<sup>2</sup>

Posiblemente el problema más grave que entraña un suelo de cimentación fino y compresible, es el que se refiere a los asentamientos que en él pueden producirse al recibir la sobrecarga que representan los terraplenes.

Existen diversos métodos para mejorar un terreno de cimentación, ya sea en lo referente a resistencia o a compatibilidad. Entre ellos destacan los siguientes:

- Uso de materiales ligeros
- Sobreelevación de rasante
- Construcción previa de terraplenes (precarga)
- Uso de drenes verticales

### 1.3 Terracerías

Las terracerías se definen como los volúmenes de material que se extraen o sirven de relleno para la construcción de una vía terrestre. Los volúmenes retirados a lo largo de la línea de la obra se denominan cortes y los de relleno, terraplenes. La finalidad de los cortes y terraplenes es fijar los niveles y alineamientos del proyecto y satisfacer las especificaciones geométricas.

Cuando todo el volumen de corte se usa en la construcción del terraplén, se dice que la terracería es compensada. El volumen de corte que no se usa se denomina desperdicio. Cuando el volumen de corte es insuficiente para construir los terraplenes, se necesita extraer y acarrear material en zonas de préstamo. Si estas zonas están muy cercanas a la obra, entre 10 y 100 m a partir del centro de la línea, se denominan préstamos laterales y si se encuentran a más de 100m, se les llama préstamos de banco.

---

<sup>2</sup> Rico R. A. y Del Castillo H. La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas Tomo I pág. 113.

Las terracerías de un terraplén se dividen en dos zonas (Fig. 1.1): el cuerpo del terraplén en la parte inferior, y la capa subrasante en la superior, con espesor mínimo de 30 cm. Muchos especialistas distinguen separadamente a los rellenos o terracerías que constituyen el cuerpo del terraplén, de la capa subrasante. Cuando el tránsito que va a operar sobre el camino es mayor a 5000 vehículos diarios, bajo la capa subrasante se coloca otra de material compactable y 50 cm de espesor, que se denomina capa subyacente (Fig. 1.2).

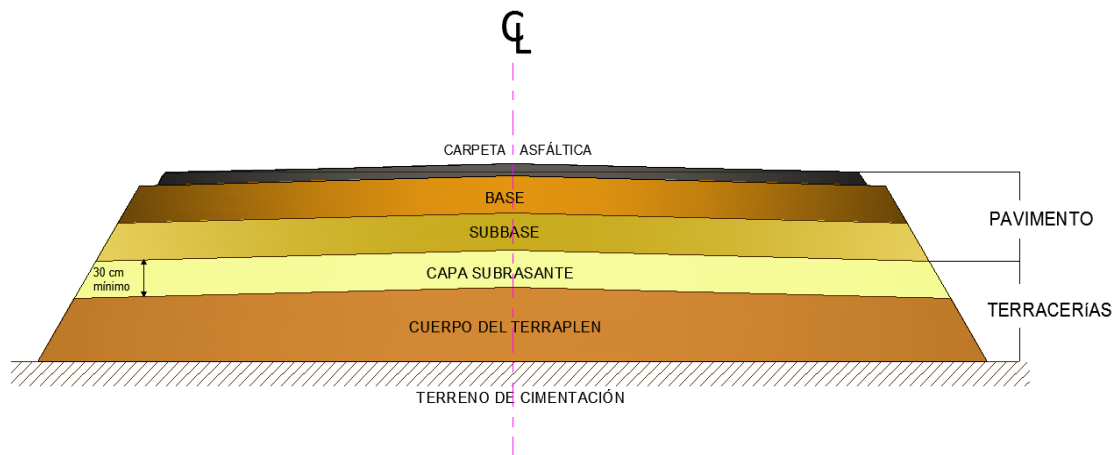


Fig. 1.1 Sección transversal típica de un terraplén

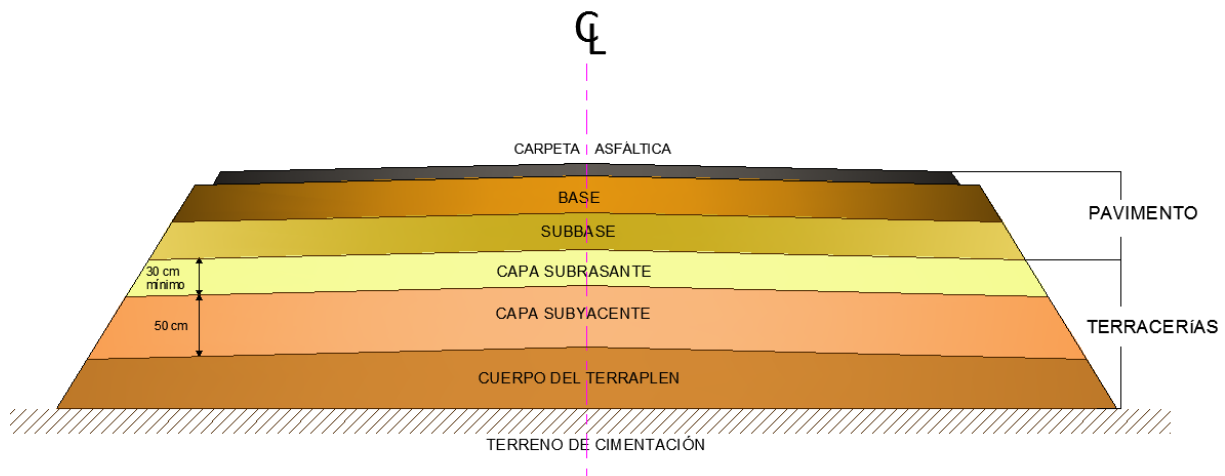


Fig. 1.2 Sección transversal de terraplén con capa subyacente

El objetivo de los materiales que conforman las capas de terracería es resistir las cargas de tránsito transferidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos para transmitirlos en forma adecuada al terreno de cimentación. Es importante señalar que para la ejecución de



los trabajos de terracerías, en los cuales incluyan cortes y terraplenes, se deberán tomar en cuenta los estudios geotécnicos para proyectar sus taludes en forma adecuada.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales para terraplén se encuentran indicados en la norma “N-CMT-1-01-02” de la SCT.

Tabla 1.1 Requisitos de calidad que deben cumplir los materiales utilizados en terraplenes.

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Límite líquido % máximo	50
Valor Soporte de California (CBR) % mínimo	5
Expansión % máxima	5
Grado de compactación %	90± 2

### 1.3.1 Capa subyacente

Como su nombre lo indica, esta capa subyace de la subrasante, forma parte de las terracerías y su principal función es resistir las cargas transmitidas por la capa subrasante, para después distribuir las y transmitir las uniformemente al cuerpo del terraplén o terreno natural.

Esta capa puede ser o no construida, dependiendo del tipo de pavimento y del tránsito promedio diario anual esperado. Los materiales que constituyen esta capa son suelos o fragmentos de roca, producto de cortes o de la extracción de bancos.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) recomienda en la norma “N-CMT-1-02-02”, los siguientes espesores mínimos para la construcción de esta capa, en función del número de ejes equivalentes de vehículos:

- Si la intensidad del tránsito es menor a 10 000 ejes equivalentes, no será necesario construir esta capa.





- Si la intensidad del tránsito es de 10 000 a 1 millón de ejes equivalentes, la capa deberá contar con espesor mínimo de 30 cm.
- Si la intensidad del tránsito es de 1 millón a 10 millones de ejes equivalentes, la capa deberá ser construida con espesor mínimo de 70 cm.
- Si la intensidad del tránsito es mayor a 10 millones de ejes equivalentes, la capa requerirá de un diseño especial.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales de una capa subyacente, de acuerdo a dicha norma, son los siguientes:

Tabla 1.3 Requisitos de calidad que deben cumplir los materiales utilizados en la capa subyacente.

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Tamaño máximo y granulometría	Que sea compactable
Límite líquido % máximo	50
Valor Soporte California (CBR) % mínimo	10
Expansión máxima	3
Grado de compactación %	95±2

### 1.3.2 Capa subrasante

La capa subrasante es la última de las terracerías y que indica el punto donde inicia el pavimento. Su función principal es resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas y distribuirlas adecuadamente al cuerpo de terraplén.

Otras de las funciones de la subrasante es economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande, evitar que los materiales finos plásticos del terraplén contaminen a las capas del pavimento y evitar que estas se incrusten en las terracerías cuando estén formadas por fragmentos de roca.

En cuanto a los procedimientos de construcción, la compactación se debe realizar utilizando el equipo más adecuado según las características del suelo, usualmente en capas



de 15 cm de espesor. No siempre es necesario utilizar préstamos de banco, ya que en ocasiones el material de corte es adecuado para utilizarse en la capa subrasante.

La subrasante puede estar constituida por suelos en estado natural, pero cuando no cumplan con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos con algún proceso de mejoramiento mecánico, o físico-químico con aditivos (cemento Portland, cal, asfalto).

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a su resistencia, como a las eventuales variaciones de volumen. Los cambios de volumen en un suelo susceptible de expansión, pueden ocasionar graves daños a las estructuras que se apoyan sobre éste.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales para una capa subrasante están señalados en la norma “N-CMT-03-02” de la SCT.

Tabla 1.2 Requisitos de calidad que deben cumplir los materiales utilizados en la capa subrasante.

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Tamaño máximo mm	76
Límite líquido % máximo	40
Índice plástico % máximo	12
Valor Soporte California (CBR) % mínimo	20
Expansión máxima	2
Grado de compactación %	100±2

#### **1.4 Clasificación de suelos**

La clasificación de suelos permite identificar aquellos cuyas características y propiedades son similares entre sí, clasificándolos en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Dos sistemas de clasificación de suelos son los más usados en vías terrestres:

- a) El sistema de clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- b) El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



#### 1.4.1 Sistema de Clasificación AASHTO

El Departamento de Caminos Públicos de Estados Unidos (Bureau of Public Roads) introdujo en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras. En 1945 fue modificado y a partir de entonces se le conoce como Sistema AASHTO.

Este sistema clasifica los suelos en siete grupos basado en las determinaciones de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo", el cual se calcula con la fórmula siguiente empírica:

$$IG = (F - 35) (0.2 + 0.005 (LL - 40)) + 0.01 (F - 15) (IP - 10) \quad (1.1)$$

Donde:

F, Porcentaje de partículas menor de 0.08 mm (pasa la malla No 200).

LL, Límite líquido.

IP, Índice de plasticidad.

El índice de grupo se reporta en números enteros; si es negativo se indica como 0.

La clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases. Disponiendo de los resultados de los ensayos requeridos, se utiliza la Tabla 1.1 de izquierda a derecha. El primer grupo desde la izquierda que satisface los datos de ensaye es la clasificación correcta. Todos los valores límites son enteros; si alguno de los datos es decimal, se debe aproximar al entero más cercano. El valor del índice de grupo debe ir siempre entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.



Este método define como:

- Grava: material que pasa por la malla 80 mm y es retenido por la de 2mm
- Arena gruesa: material comprendido entre 2 mm y 0.5 mm
- Arena fina: material comprendido entre 0.5 y 0.08 mm.
- Limo, arcilla: material que pasa la malla 0.08 mm.

El término material granular se aplica a aquellos suelos con 35% o menos que pasa el tamiz 0.08 mm; limoso a los materiales finos que tienen un índice de plasticidad de 10 o menor; y arcilloso a los materiales finos que tienen índice de plasticidad 11 o mayor. Los limos y arcillas contienen más del 35% de partículas menores de 0.08 mm.

Cuando se calcula el índice de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, se usa solamente el término del índice de plasticidad de la fórmula. Cuando el suelo tiene índice de plasticidad de NP o el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar (0).

Si un suelo es altamente orgánico, como la turba, puede ser clasificado como A-8 sólo con una inspección visual, sin considerar el porcentaje que pasa 0.08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto.



Tabla 1.2 Clasificación AASTHO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 <sup>A</sup>	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. <sup>B</sup>
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

### 1.4.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras de aeropuertos durante la segunda guerra mundial. El sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros y normado con la prueba D-2487 ASTM.

Este sistema divide los suelos en dos grandes grupos: suelos gruesos y suelos finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200. Las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino si más de la mitad de sus partículas en pesos, son finas.

Los símbolos de grupo gruesos comienzan con un prefijo G o S que significan suelo gravoso y suelo arenoso respectivamente, por sus siglas en inglés de las palabras gravel y sand. Los símbolos de grupo finos comienzan con un prefijo M, que significa limo



inorgánico, C para arcilla inorgánica y O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas.

Los símbolos de grupo para suelos tipo grava de grano grueso son; GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM Y GP-GC. Similarmente, los símbolos de grupo para suelos finos son; CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML, y Pt así como las arenas SW, SM, SC, SP

Donde:

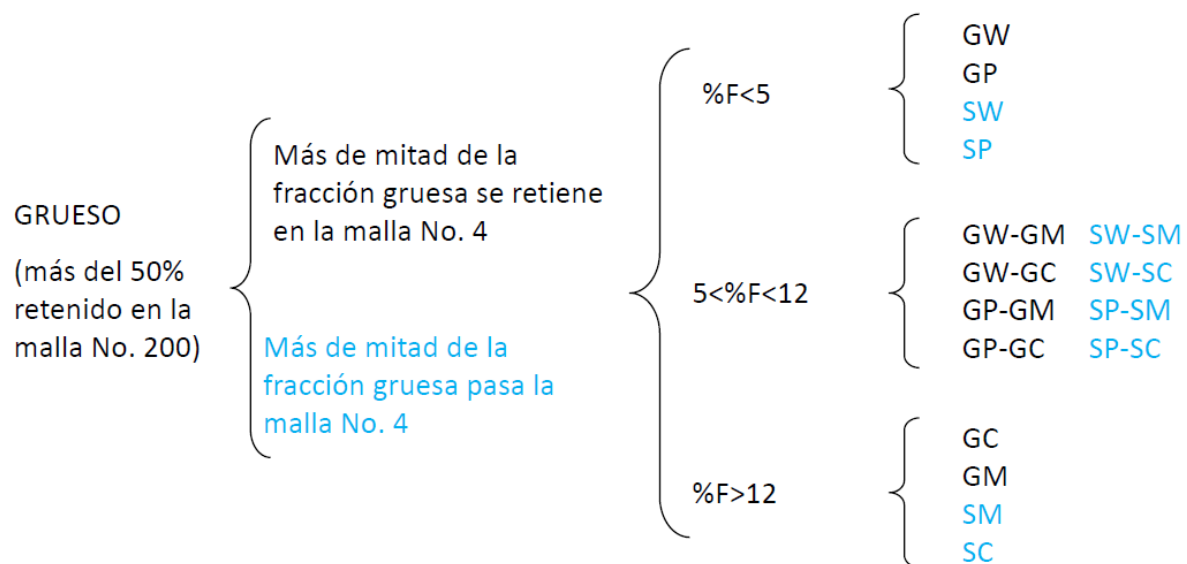
W: bien graduado (well graded)

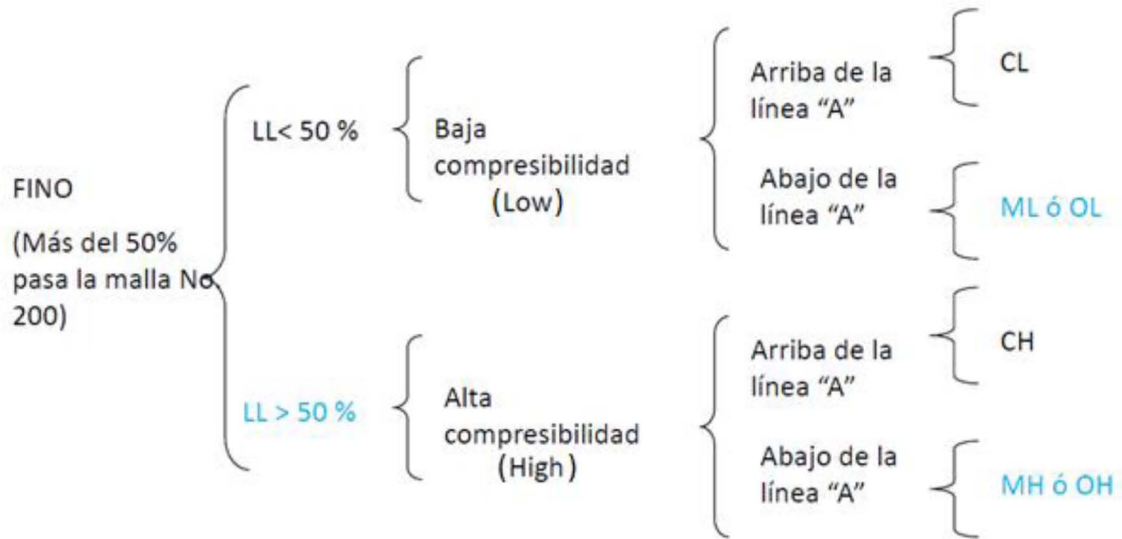
P: mal graduado (poorly graded)

L: baja compresibilidad; limite líquido menor que 50 (low compressibility)

H: alta compresibilidad; limite liquido mayor que 50 ( high compressibility)

A continuación se muestra dos cuadros sinópticos con las divisiones mencionadas







---

## CAPITULO II

### BASES Y SUB-BASES

#### 2.1 Tipos

Como ya se trató, la base es la capa que se encuentra bajo la capa de rodamiento de un pavimento asfáltico, y debido a su proximidad con la superficie debe soportar las altas presiones que recibe y tener alta resistencia a la deformación. Sus funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que éstas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura del pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas y drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea.

Por su parte la sub-base es la capa que se sitúa entre la base y la subrasante en un pavimento asfáltico. Debido a que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior y generalmente está constituida por materiales locales granulares o marginales, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de un pavimento asfáltico, soportar las cargas que éste le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior también prevenir la migración de finos hacia las capas superiores para evitar cambios volumétricos perjudiciales y reducir el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la base, la cual se construye con materiales de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones más rígidas.

A las bases y sub-bases se les agrupa en: a) granulares, b) estabilizadas con diferentes aditivos y c) de subproductos industriales de desecho o recicladas.

- a) Bases granulares. Están compuestas por agregados pétreos y finos. Su resistencia a la deformación está determinada casi exclusivamente por la fricción interna (rozamiento) de los agregados, aunque a veces existe una componente de cohesión dada por los finos plásticos del material.





- b) Bases estabilizadas. Involucran la modificación de un suelo o un agregado procesado, mediante la incorporación y mezcla de productos que le generan cambios físicos y/o químicos, aumentando su capacidad portante, haciéndolo menos sensible a la acción del agua y, eventualmente, elevando su rigidez.
- c) Bases recicladas. Son materiales que no cumplen las especificaciones para uso vial, pero que pueden ser usados con éxito, principalmente como resultado de una experiencia local satisfactoria y un costo reducido.

## 2.2 Materiales

Las bases y sub-bases pueden estar compuestas por materiales pétreos, térreos, asfálticos, cementantes e industriales, los cuales, para aprovecharse, deben cumplir los requisitos marcados en las normas de calidad.

Probablemente los materiales que más uso tienen en sub-bases y bases hidráulicas son las gravas y arenas procedentes de ríos, las cuales generalmente deben ser sometidas a trituración parcial y cribado, y en la mayor parte de los casos, es necesario mezclarlas con otro material que posea ciertas características, para que complementen su granulometría.

Los conglomerados son comúnmente utilizados en sub-bases aunque también se emplean en las bases; en ambos casos, después de su trituración parcial y cribado, lo más usual es que se les agregue un material fino inerte, para reducir sus características plásticas.

Las areniscas constituyen otro de los materiales que pueden emplearse en subbases. Dichos materiales normalmente sólo se someten a tratamiento de disgregado o trituración parcial; también se emplean como materiales de mejoramiento en la base. Las rocas alteradas se emplean generalmente en sub-bases; en la mayoría de los casos se someten a tratamiento de disgregado o trituración parcial, dependiendo de su grado de alteración. Cuando se encuentran alteradas se emplean en la construcción de la capa subrasante.



Existen materiales como el “sahcab” de la península de Yucatán, de origen calcáreo que cuando son de baja plasticidad, se comportan adecuadamente como base y sub-base.

Los suelos de origen pumítico como los jales, la piedra pómez o el tezontle, que se encuentran localizados alrededor de Guadalajara y Tepic, son materiales que aparentemente son buenos para usarse como base, pero solo se pueden utilizar como sub-bases o en terracerías, mezclados con materiales finos de plasticidad aceptable.

Los materiales de tipo industrial, como cemento Portland, cal, asfalto, se adquieren en las empresas estatales o particulares que los producen.

De acuerdo con la norma N·CMT·4·02·002/11 “Características de los Materiales”, de la SCT, los materiales usados para bases y sub-bases se pueden clasificar en:

- Materiales naturales. Corresponden a arenas, gravas y limos, así como rocas muy alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria y que no requieren tratamiento mecánico alguno, siempre y cuando cumplan con los requisitos de calidad.
- Materiales cribados. Son las arenas, gravas y limos, así como las rocas alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria y que para hacerlos utilizables requieren de un tratamiento mecánico de cribado, con el equipo adecuado, para eliminar las partículas mayores y satisfacer la composición granulométrica.
- Materiales parcialmente triturados. Comprenden mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, y que para hacerlos utilizables requieren de un tratamiento mecánico de trituración parcial y cribado, con el equipo adecuado, para aprovechar las partículas mayores y satisfacer la composición granulométrica.
- Materiales totalmente triturados. Son los materiales extraídos de bancos o “pepenados”, que para satisfacer la composición granulométrica requieren de un tratamiento mecánico de trituración total y cribado, con el equipo adecuado.



- Materiales mezclados. Se obtienen mediante la mezcla de dos o más de los materiales naturales, cribados en las proporciones necesarias para satisfacer los requisitos de calidad.

Para conocer las características de los materiales, se realizan pruebas en diferentes tipos en especímenes, elaborados siguiendo procedimientos estandarizados.

Las pruebas que se realizan a los materiales de construcción pueden dividirse en: pruebas de clasificación, de control y de proyecto.

Las pruebas de clasificación son aquellas que permiten identificar a los materiales y decidir su utilización o no en algunas de las capas estructurales.

Las pruebas de control son las que permiten verificar si los materiales cumplen con los requisitos de proyecto.

Las pruebas de proyecto son las que permiten realizar una estructuración racional de la sección transversal en una vía terrestre.

## **2.2 Materiales estabilizadores**

Se derivan de la mezcla de dos o más materiales para lograr las características deseadas. Se distinguen dos tipos de estabilización: las del tipo mecánico y las del químico.

Dentro de las estabilizaciones de tipo mecánico, se pueden presentar tres casos:

- Para aumentar la granulometría.  
Cuando un material tiene una granulometría discontinua, puede agregarse otro que le disminuya ese defecto, para lo cual es necesario conocer las proporciones en que se deben mezclar ambos materiales.



➤ Para reducir la plasticidad.

A menudo se encuentran en la naturaleza materiales que tiene una plasticidad ligeramente mayor que la que marcan las normas. Si es necesario utilizarlos, para que sean aceptables, se requiere reducirles esa característica. Es práctica común mezclarles arena, la cual mientras, más fina, será más efectiva.

➤ Para aumentar el valor cementante.

Cuando se tienen carpetas delgadas, entre 2 y 8 cm, colocadas sobre bases construidas con materiales de grava-arena inertes, bajo la acción del tránsito se producen deformaciones rítmicas transversales denominadas “permanentes”. Para evitar lo anterior, en caminos con tránsito hasta de 2000 vehículos por día se agrega a los materiales limo, sílice o arenas arcillosas de baja plasticidad, es decir con un índice plástico menores a 18% que corresponden a contracciones lineales menores de 6.5%.

### Estabilización química

Existe una estabilización química de un suelo cuando en la mezcla de los materiales interviene el agua generando una reacción química. Hay diferentes materiales para realizar este tratamiento, que en general son industrializados, siendo los principales el cemento Portland y la cal hidratada.

El término cal se refiere al óxido y al hidróxido de calcio, solos o con pequeñas proporciones de óxido o hidróxido de magnesio, obtenidos por la calcinación de rocas calcáreas sin y con posterior hidratación. Con el uso de la cal o del cemento Portland se pueden conseguir dos características: bajar la plasticidad y aumentar la resistencia. Usualmente los porcentajes de cal varían entre 2 y 7%. Sin embargo, su dosificación debe determinarse en laboratorio previamente a la construcción.

En cuanto al tratamiento con cemento Portland, el porcentaje es diferente según sea la característica principal que se desee obtener en la mezcla. Si se quiere reducir la plasticidad, las proporciones variarán del 2 al 7%; en cambio, si lo que se desea es



aumentar en forma importante la resistencia, la proporción puede ser del 5 al 15%. Su dosificación también requiere de pruebas de laboratorio antes de la construcción.

## **2.4 Equipos para construcción de bases y sub-bases**

Dependiendo del tipo de procedimiento constructivo de las bases y sub-bases será el tipo de maquinaria que se requiere utilizar.

Los equipos más empleados para bases son principalmente las motoconformadoras, compactadores, cargadores frontales y camiones de volteo. Aunque en el mercado puedan encontrarse gran variedad de modelos, tamaños y marcas, éstos dependerán de las tareas específicas que vayan a realizar. Siempre se buscará seleccionar el equipo que proporcione mayores rendimientos dependiendo de las condiciones del suelo y de la obra.

### Motoconformadoras

Estos equipos cuentan con una larga hoja metálica llamada cuchilla, empleada para nivelar terrenos. Generalmente presentan tres ejes: la cabina y el motor se encuentran situados en la parte posterior, sobre los dos ejes tractores, y el tercer eje se localiza en la parte frontal de la máquina, donde se localiza la hoja niveladora. También cuenta con un escarificador en la parte posterior, el cual puede variar el número de zancos.

Para el tendido y la conformación de las bases, este equipo es importante, ya que es capaz de extender y nivelar con precisión el material de base de acuerdo a los niveles dados por la topografía. De igual manera puede realizar mezclas de agregados pétreos y asfalto.

Una parte fundamental que realiza este equipo es afinar la superficie para dar el bombeo. Ajustando los ángulos de trabajo de bastidor, cuchillas y ruedas, realiza el trabajo con la pendiente y ángulo de inclinación según el proyecto. También puede realizar otros trabajos secundarios como son: limpieza del terreno, rastreo para la conservación del camino, cortes de cuneta y talud, zanjas, escarificación y cortes a diferentes profundidades.



Fig. 2.1 Motoconformadora

### Compactadores

Son máquinas de gran peso, dotadas de uno o varios rodillos metálicos o neumáticos, cuya función consiste en dar la compactación requerida al material sobre el cual se desplaza.

Generalmente los compactadores son autopropulsados y están provistos de rodillos inversores del sentido de la marcha, que funcionan con acción suave y están dotados de dispositivos para mantenerse húmedos, en caso necesario.

Los equipos de compactación del suelo están ligados al tipo de material a compactar. Esta es la razón de la existencia de diferentes equipos en el mercado, que se diferencian en la energía de compactación suministrada, y en la forma en que dicha energía es transmitida al terreno.

Los procesos de compactación en campo dependen de los esfuerzos aplicados al suelo y de la duración de los mismos. Existen las siguientes formas:

- a) Por amasado.
- b) Por presión.
- c) Por impacto.



- 
- d) Por vibración.
  - e) Métodos mixtos.
- 
- a) Los compactadores por amasado o “pata de cabra” disponen de rodillos cilíndricos de acero, en los que concentran su peso sobre la superficie de un conjunto de puntas de forma variada, ejerciendo presiones estáticas muy grandes. Conforme se dan pasadas y el material se va compactando, las patas se profundizan cada vez menos en el suelo, y llega un momento en que prácticamente no penetran (Fig. 2.2).
  - b) Los compactadores por presión, como son los rodillos lisos y neumáticos, se dividen en dos grupos: remolcados y autopropulsados. Los primeros constan de dos tambores montados en un marco al que se sujetan los ejes; su peso varía por lo común de 14 a 20 t y pueden lastrarse llenando un depósito sobre el marco con agua o arena húmeda. Los autopropulsados constan de una rueda delantera y una o dos traseras y se fabrican con pesos de 3 a 13 t. Están compuestos por un cilindro metálico liso vibratorio (con o sin tracción), que actúa como elemento de compactación y dos neumáticos traseros de tracción. Tienen mejor adaptación para la compactación de suelos no cohesivos, en los que el efecto de la vibración posibilita un acomodo de las partículas granulares (Fig. 2.3).
  - c) Compactadores por impacto. Los equipos que pueden clasificarse dentro de este grupo son los diferentes tipos de pisones, cuyo empleo está reservado a áreas pequeñas, y a ciertas clases de rodillos apisonadores (Tamper), (Fig. 2.4).
  - d) Compactadores por vibración. Para la compactación por vibración se emplea un mecanismo, bien sea del tipo de masas desbalanceadas o del tipo hidráulico pulsativo, que proporciona un efecto vibratorio al elemento compactador. La frecuencia de la vibración influye en el proceso de compactación; su intervalo de variación óptimo es entre 0.5 y 1.5 veces la frecuencia natural de suelo (Fig. 2.5).

- e) Compactadores mixtos. Es la combinación de dos o más tipos de compactador, para lograr una especialización de las acciones que garantice un resultado óptimo en cada caso particular.



Fig. 2.2 Compactador pata de cabra.



Fig. 2.3 Compactador por presión.





Fig. 2.4 Compactador por impacto (tamper).



Fig. 2.5 Compactador liso vibratorio.

### Cargadores frontales

Este equipo es utilizado en trabajos que implican el movimiento de tierra o roca en grandes volúmenes y superficies. Existen diversos tipos: frontal, retroexcavadora, sobre neumáticos y sobre orugas. Su principal cualidad es mover grandes cantidades de material en poco tiempo (Fig. 2.6).



Fig. 2.6 Cargador frontal.

### Camiones de volteo

Son vehículos de auto transporte utilizados para el transporte de materiales pesados de cualquier tipo que sean ocupados dentro de cualquier obra. Existen diferentes tipos de volteos que varían de su capacidad de carga y potencia del motor. Dependiendo de las condiciones de acceso a la obra, complejidad y cantidad de volúmenes requeridos, se acostumbra elegir el tipo.



Fig. 2.7 Camión rabón de 7m<sup>3</sup> de capacidad.



Fig. 2.8 Torton de 14m<sup>3</sup> de capacidad.



Fig. 2.9 Góndola de 30m<sup>3</sup> de capacidad.



---

## CAPITULO III

# CONTROL DE LOS MATERIALES

### 3.1 Muestreo

El objetivo de esta actividad es obtener muestras representativas de material para realizar los ensayos en laboratorio y determinar si cumple con las normas de calidad establecidas en las especificaciones, decidir si se aceptan, mejoran o rechazan y cual es su uso más conveniente, de acuerdo con el proyecto.

El muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte.

#### 3.1.1 Tipos de muestreo

##### *a) Muestreo inalterado*

En este muestreo se conserva la estructura que tiene el suelo. Se obtienen en suelos con cohesión que puedan labrarse sin que se disgreguen. La excavación para obtener la muestra debe ser de dimensiones tales que permitan las operaciones de labrado y extracción de la misma; también puede realizarse con máquinas perforadoras utilizando tubos Shelby, barriles Denison o tubos dentados. Este tipo de muestreo tiene como principal finalidad determinar las propiedades mecánicas del suelo, además de las índice.

##### *b) Muestreo alterado*

Permite identificar el material y de determinar las propiedades índice y de calidad de los materiales. Pueden obtenerse de una excavación, de un frente de explotación, o de perforaciones llevadas a profundidad.

#### 3.1.2 Sitios de muestreo

Las muestras pueden obtenerse en bancos de materiales, plantas trituradoras o en obra.



a) *Banco de materiales*

El espaciamiento del muestreo y número de muestras en los bancos dependerán de la homogeneidad del material y finalidad del estudio.

Cuando se trata de suelos homogéneos, deben hacerse exploraciones (sondeos, pozos, calas) a una distancia no mayor de 100 m para pruebas preliminares. En suelos heterogéneos se efectúa un muestreo en cada cambio de material.

En bancos ya explotados se toman tres muestras que abarquen todo el frente, eliminando la superficie intemperizada. Para ello se realizan cortes en canal, en forma vertical, que comprendan los estratos seleccionados. La muestra obtenida se cuartea hasta obtener aproximadamente 40 kg.

En bancos de roca también se extraen tres muestras de los afloramientos para realizar pruebas preliminares.

b) *Plantas trituradoras*

Para muestras de material de base, subbase, grava y arena, el muestreo se realiza según sea banda transportadora, tolva o almacén.

Si la muestra es de la banda, se obtiene una muestra por día cuando la producción sea de  $400 \text{ m}^3$  ó menos, si se sobrepasa ese volumen, se obtendrá una muestra cada medio turno. La muestra se forma con muestreos parciales cada  $15 \text{ m}^3$  con mínimo, de unos 10 kg, hasta complementar una muestra representativa de 50 kg.

En muestras de tolva, se sigue el mismo procedimiento, con la diferencia de que el muestreo parcial se efectúa cada  $45 \text{ m}^3$  y las muestras se obtienen del camión de carga.

Cuando la muestra es de almacén, ésta se obtiene con palas de la cara expuesta en el apilamiento a diferentes alturas, hasta llegar a la base de éste. Se obtiene una muestra representativa cada 10 m de longitud del almacenamiento.



---

*c) En obra*

Si el material se encuentra en obra, acordonado, se abrirá un canal transversal y si está amontonado, se muestrea a diferentes alturas del apilamiento seleccionado.

Cuando el material se encuentre compactado en una capa, se efectúa muestreo a la izquierda y derecha, mezclándolo para formar una muestra. Se obtiene una muestra cada 45 m<sup>3</sup> en 200 m de longitud, para material de subbase o base. En materiales para terracerías se obtiene una muestra cada 10,000 m<sup>3</sup> (400m de longitud) y para subrasante una muestra cada 250 m de longitud. Para la SCT, la clasificación de métodos de muestreo se rige bajo la norma M-MMP-1-01-03

### **3.2 Preparación de muestras**

La preparación de muestras en laboratorio comprende las operaciones siguientes:

#### *Secado*

Las muestras se secan para eliminar el agua que contiene, de forma que permitan su fácil disgregación y manejo. El material se extiende sobre una superficie limpia y tersa. Es conveniente revolver periódicamente el material para lograr un secado más rápido y uniforme. Cuando las muestras llegan a laboratorio con humedad que permita su disgregación, no será necesario someterlas al proceso de secado.

#### *Disgregado*

Su objetivo es separar las diferentes partículas aglomeradas que constituyen la muestra. La disgregación del material debe hacerse con un mazo de madera cubierto en la base con cuero. El mazo debe golpear verticalmente sobre el material desde una altura no mayor de 20 cm. La disgregación se efectúa sin romper las partículas duras, llevándose a un grado tal que permita reproducir en lo posible las condiciones de utilización del material en campo.



### *Cuarteo*

Se realiza para obtener porciones representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio. La muestra total se revuelve con una pala, traspaleando de un lugar a otro todo el material, hasta que presente un aspecto homogéneo. Posteriormente se cuartea el material las veces que sean necesarias hasta obtener la cantidad requerida para el ensaye.

## **3.3 Ensayes de laboratorio**

En laboratorio, los ensayos que se realizan en materiales para bases y sub-bases son los siguientes.

### 3.3.1 Ensaye granulométrico

La prueba de granulometría tiene como objeto conocer la distribución por tamaños de las partículas que integran los materiales, así como su clasificación mediante sistemas como el SUCS o AASHTO. Gran parte de los criterios de aceptación de materiales para bases y sub-bases depende de este análisis. Existen dos tipos de análisis granulométricos: los realizados en suelos gruesos y los de suelos finos. En el caso de las bases y sub-bases el análisis se realiza solo a suelos gruesos, ya que no se permiten los suelos finos.

La distribución granulométrica de suelos gruesos se realiza mediante mallas o tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. La prueba en materiales granulares se realiza únicamente por vía seca, para lo cual se utiliza cierta cantidad de suelo seco que se hace pasar por la serie de mallas. La cantidad de suelo retenido en cada malla se pesa, determinándose el porcentaje acumulado en peso de suelo que pasa a través de cada malla. Este porcentaje se denomina “porcentaje que pasa”.



Para el análisis granulométrico se utiliza el juego de mallas que indica la norma de la SCT M-MMP-1-06-03, fabricadas con alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con aberturas determinadas (ver Tabla 3.1).

El tejido está confinado en un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, que sujeta la malla rígida.

Tabla 3.1 Juego de mallas.

Fracción	Malla		Valoración permisible de la abertura promedio con respecto a la denomina de la malla	Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del ambiente [1]
	Designación	Abertura nominal				
Gravas	3"	75	±2.2	78.1	78.1	5.8
	2"	50	±1.5	52.1	52.6	5.05
	1 1/2"	37.5	±1.1	39.1	39.5	4.59
	1"	25	±0.8	26.1	26.4	3.8
	3/4"	19	±0.6	19.9	20.1	3.3
	1/2"	12.5	±0.39	13.1	13.31	2.67
	3/8"	9.5	±0.30	9.97	10.16	2.27
	1/4"	6.3	±0.20	6.64	6.78	1.82
Arena con finos	Nº 4	4.75	±0.15	5.02	5.14	1.54
	Nº10	2	±0.070	2.135	2.215	0.9
	Nº20	0.85	±0.035	0.925	0.97	0.51
	Nº40	0.425	±0.019	0.471	0.502	0.29
	Nº60	0.25	±0.012	0.283	0.306	0.18
	Nº100	0.15	±0.008	0.174	0.192	0.11
	Nº200	0.074	±0.005	0.091	0.103	0.053

La curva granulométrica representa gráficamente los porcentajes que pasan en las diferentes aberturas de las mallas. En el eje de las ordenadas se grafica el porcentaje que pasa en peso y en el eje de las abscisas las aberturas de las mallas, las cuales pueden estar colocadas con abertura de menor a mayor o viceversa. El eje de las abscisas por lo general está en escala logarítmica, ya que permite mayor amplitud en los tamaños finos. La forma de la curva puede dar a simple vista una idea inmediata de la buena o mala graduación que tiene un material. Un suelo constituido por partículas de un solo tamaño se representa por



una línea vertical (el 100% de sus partículas en peso es de menor tamaño que cualquiera mayor que el suelo posea); una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado), como ilustra la Figura 3.1.

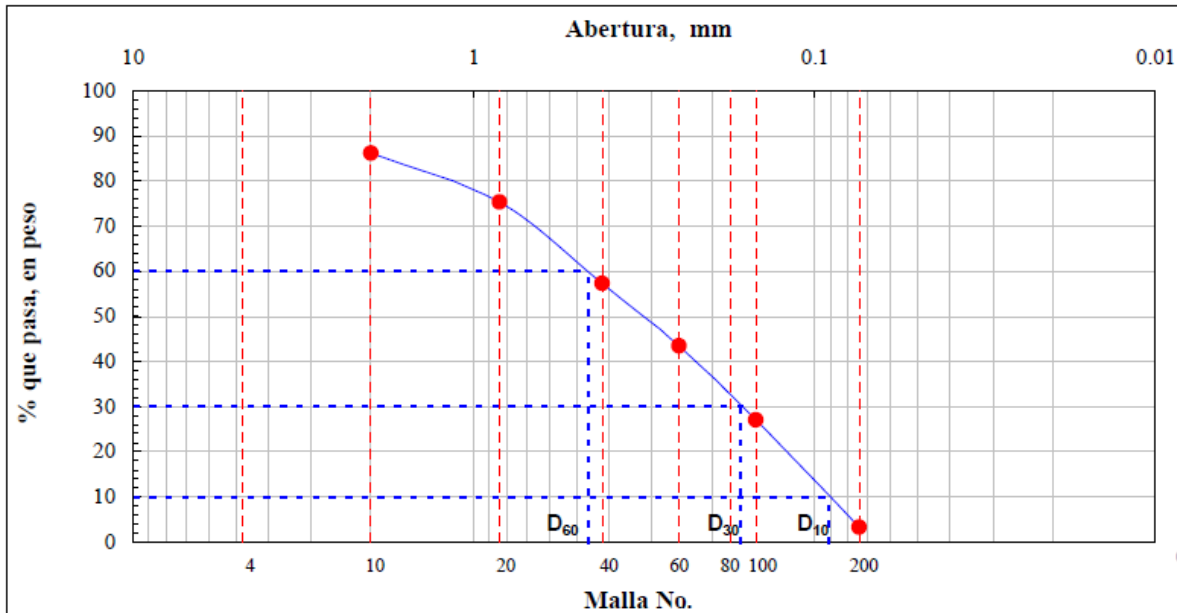


Fig. 3.1 Representación de una curva granulométrica.

De las curvas granulométricas de suelos de grano grueso se determinan el coeficiente de uniformidad  $C_u$  y el coeficiente de curvatura o graduación  $C_c$ . Estos parámetros son útiles en la clasificación de suelos.

El coeficiente de uniformidad  $C_u$  está dado por la expresión:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.1)$$

Y el coeficiente de curvatura  $C_c$  por:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} \quad (3.2)$$



Donde:  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  son los diámetros correspondientes al porcentaje que pasa el 10, 30 y 60% de suelo respectivamente.

La norma M-MMP-1-06-03 de la SCT, indica dos variantes para realizar el análisis granulométrico: el estándar, donde el análisis pasa el material por todo el juego de mallas que se muestra en la Tabla 3.1, y el simplificado, que solo utiliza las mallas 3", No. 4 y No. 200, haciendo una clasificación de gravas, arenas y finos menores que la malla No. 200.

Los requisitos granulométricos que deben cumplir los materiales para bases y sub-bases se establecen en la norma N·CMT·4·02·002/11 y N·CMT·4·02·001/11, respectivamente, como se observa en las tablas 3.3, 3.4 y en las figuras 3.2 y 3.3

Tabla 3.2 Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa

Malla		Porcentaje que pasa [1]	
Abertura mm	Designación	$\sum L \leq 10^6$ [2]	$\sum L > 10^6$ [2]
75	3"	100	100
50	2"	85-100	85-100
37.5	1 ½"	75-100	75-100
25	1"	62-100	62-90
19	¾"	54-100	54-83
9.5	⅜"	40-100	40-65
4.75	Nº 4	30-80	30-50
2	Nº 10	21-60	21-36
0.85	Nº 20	13-44	13-25
0.425	Nº 40	8-31	8-17
0.25	Nº 60	5-23	5-12
0.15	Nº 100	3-17	3-9
0.075	Nº 200	0-10	0-5

[1] El tamaño máximo de las partículas no será mayor de 20% del espesor de la base.

[2]  $\sum L$  = Número de ejes equivalentes de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

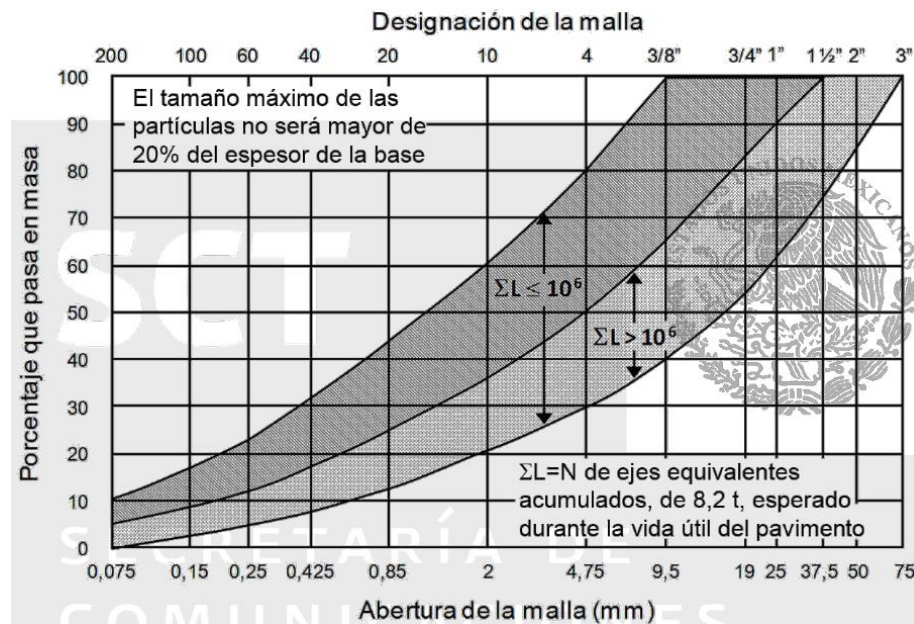


Fig. 3.2 Zonas granulométricas recomendables de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa

Tabla 3.3 Requisitos de granulometría de los materiales para sub-bases de pavimentos asfálticos.

Malla		Porcentaje que pasa [1]	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ [2]	$\Sigma L > 10^6$ [2]
75	3"	100	100
50	2"	85-100	85-100
37.5	1 ½"	75-100	75-100
25	1"	62-100	62-100
19	¾"	54-100	54-100
9.5	⅜"	40-100	40-100
4.75	Nº 4	30-80	30-80
2	Nº 10	21-100	21-60
0.85	Nº 20	13-92	13-45
0.425	Nº 40	8-75	8-33
0.25	Nº 60	5-60	5-26
0.15	Nº 100	3-45	3-20
0.075	Nº 200	0-25	0-15

[1] El tamaño máximo de las partículas no será mayor de 20% del espesor de la subbase.

[2]  $\Sigma L$  = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

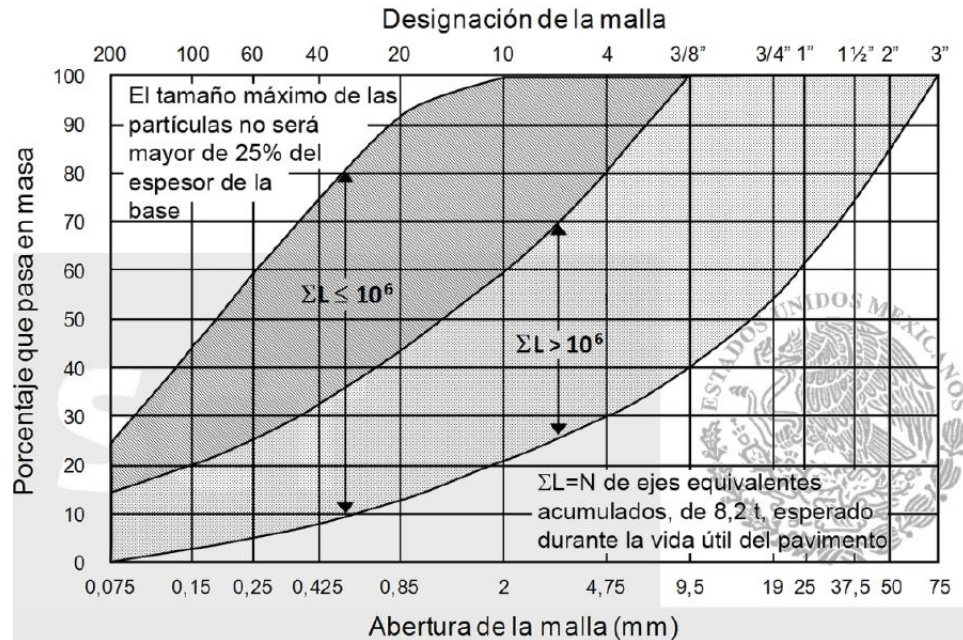


Fig. 3.3 Zonas granulométricas recomendables de los materiales para sub-bases de pavimentos asfálticos.

### 3.3.2 Límites de consistencia

El objeto de este ensaye es conocer las características de plasticidad de la porción de los materiales que pasan la malla N° 40 (0.425 mm), cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos.

La plasticidad puede definirse como la propiedad de un material, por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Según su contenido de agua un suelo arcilloso puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia:

1. Estado líquido: es el que presentan los suelos cuando manifiestan las propiedades de una suspensión.
2. Estado semilíquido: cuando los suelos tienen el comportamiento de un fluido viscoso.
3. Estado plástico: en el cual los suelos presentan las propiedades de plasticidad mencionadas anteriormente.



4. Estado semisólido: en el que la apariencia de los suelos es de un sólido; sin embargo, al secarse disminuye su volumen.

5. Estado sólido: en el que el volumen de los sólidos no varía aun cuando se le someta a secado.

Las fronteras entre los estados de consistencia mencionados anteriormente, fueron establecidas por Atterberg bajo el nombre general de límites de consistencia, los cuales se describen a continuación.

LL Límite líquido: frontera que existe entre el estado plástico y el semilíquido.

LP Límite plástico: frontera inferior entre el estado plástico y el semisólido.

LC Límite de contracción: frontera entre los estados semisólido y sólido.

La diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico, se conoce como índice plástico (IP).

Para conocer las características de plasticidad de los suelos se utilizan el límite líquido, el índice plástico y la contracción lineal. La contracción lineal de un suelo es la reducción de volumen del mismo, medida en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original. Para las bases y sub-bases se requieren diferentes valores de éstos límites, ver tablas 4.1 y 4.2.

El límite líquido es el contenido de agua para el cual un suelo plástico adquiere una resistencia al corte de 2.45 kPa ( $25 \text{ g/cm}^2$ ) y se obtiene mediante el procedimiento de la copa de Casagrande. El límite plástico es el contenido de agua para el cual un rollito se rompe en tres partes al alcanzar un diámetro de 3 mm; éste se considera como la frontera entre los estados plástico y semisólido. Estos procedimientos se encuentran en la norma M-MMP-1-07/07 de la SCT.



### 3.3.3 Equivalente de arena

Las bases y sub-bases deben tener la menor cantidad de finos posibles, sobre todo de arcillas, que son los materiales susceptibles a cambios volumétricos y causantes de daños en el pavimento. Por tal motivo es importante realizar la prueba del equivalente de arena.

El objetivo de la prueba es determinar el porcentaje de materiales finos o arcillosos presentes en los materiales. La prueba consiste en agitar un cilindro que contiene una muestra representativa del material que pasa la malla N° 4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla.

Para efectuar esta prueba se prepara una solución compuesta por 454g de cloruro de calcio y 1.9 litros de agua destilada, a la que se agregan 47 g de formaldehído y 2047 g de glicerina, mezclándose bien y diluyéndose con agua destilada hasta completar 3.2 litros de líquido. Para la solución de trabajo se diluyen 90 mL de la solución de reserva en 3.8 litros de agua destilada, agitándola hasta obtener una solución homogénea.

Una muestra representativa de material se criba por la malla N° 4 y se obtienen por cuarteo 500 gr, se llena una capsula, golpeándola en la base para lograr un mejor acomodo de sus partículas y se enrasa.

La prueba se efectúa colocando en las probetas 101 ml de solución de trabajo, vaciando las capsulas con el material y dejando reposar por 10 min. En seguida se coloca un tapón para iniciar el agitado, que puede ser manual o con equipo. Posteriormente se introduce la solución con un irrigador hasta el fondo para remover de esta manera las partículas finas y lavar las paredes de las probetas. Se deja la probeta en reposo un lapso de 20 minutos, transcurrido el tiempo se efectúa la lectura de los finos en la escala de la probeta, para posteriormente introducir lentamente un pisón, procurando no perturbar los finos en suspensión, hasta apoyarlo en la fracción gruesa, y finalmente obtener la lectura de la arena que da el marcador del pisón. La prueba se realiza por duplicado.

Para la obtención del cálculo del equivalente de arena se promedian las dos pruebas por medio de la siguiente expresión:



$$\% EA = \frac{LNS \text{ arena}}{LNS \text{ finos}} \times 100$$

En donde:

% EA: equivalente de arena, (%)

LNS arena: nivel superior de la arena, (cm)

LNS finos: nivel superior de los finos, (cm)

Si el valor del equivalente de arena es inferior al valor indicado en las normas N·CMT·4·02·002/11 y N·CMT·4·02·001/11 de características de los materiales de la SCT (ver tablas 4.1 y 4.2), se ejecuta la prueba dos veces más utilizando la muestra original.

### 3.3.4 Compactación

Es el proceso mecánico por el cual se mejoran las propiedades de resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad y características de esfuerzo-deformación de un suelo. En este proceso se busca una reducción de espacios entre las partículas del suelo con una disminución de volumen fundamentalmente ligada a la expulsión de aire, ya no se expulsa agua de los huecos. Debido a que no todo el aire sale del suelo, la condición de un suelo compactado es la de un suelo parcialmente saturado.

Dos de los factores más importantes que influyen en la compactación son el contenido de agua antes de iniciar el proceso y la energía específica empleada. Cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso volumétrico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas.

Los resultados de una buena compactación dependen principalmente de los siguientes factores:

- Naturaleza del suelo
- Método de compactación

- Energía específica
- Contenido de agua
- Sentido en que se recorre la escala de humedades. Si se va agregando agua a un suelo seco se alcanzarán mayores pesos volumétricos que si se le va quitando.
- La recompactación
- La temperatura

La compactación no mejora sistemáticamente todas las propiedades mecánicas e hidráulicas y debe distinguirse explícitamente las que se busca mejorar, aún a costa del deterioro de otras.

Al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de partículas y mayor peso volumétrico del material seco para una determinada energía de compactación, se le denomina humedad óptima o contenido de agua óptimo ( $\omega_{op}$ ) y al peso volumétrico seco correspondiente se le designa como peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_d$ ).

Cuando a partir de la condición de humedad óptima y peso volumétrico seco máximo, se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire ocupan el lugar de algunas partículas de suelo, obteniéndose pesos volumétricos menores a medida que el agua aumenta.

La representación del peso volumétrico seco vs humedad ( $\gamma_d - \omega$ ) recibe el nombre de *curva de compactación*. (Fig. 3.4)

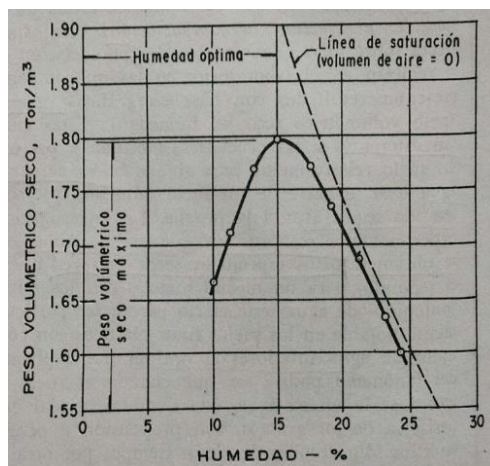


Fig. 3.4 Curva de compactación típica





La humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación. Cuando ésta se aumenta, se obtienen mayores pesos volumétricos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo son función del tipo de suelo; los suelos gruesos, para una misma energía de compactación, tienen en general mayores pesos volumétricos y menores contenidos de agua que los suelos finos.

A raíz de las publicaciones de Proctor, se generaron múltiples estudios con diversos suelos, y diferentes tamaños de moldes y energías de compactación. Se estableció un procedimiento de prueba estandarizado de laboratorio que pudo usarse para comparar con la compactación de campo, y juzgar el grado de compactación alcanzado en éste. A esta prueba se le conoce como Proctor estándar, y proporciona pesos volumétricos adecuados para la construcción de carreteras de ese tiempo. Sin embargo, las fuertes cargas requeridas durante la segunda guerra mundial exigió pesos volumétricos compactados mayores en la construcción; así surgió la prueba Proctor modificada, con una energía mayor que la estándar.

Los trabajos de compactación se establecieron con base en especificaciones derivadas de estos estándares; la mayoría de las veces señalando un grado de compactación,  $G_c$  % definido como el cociente del peso volumétrico seco obtenido en el campo y el máximo alcanzado en el laboratorio, es decir:

$$G_c (\%) = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d\max}} \times 100 \quad (3.3)$$

Es importante mencionar que a pesar del amplio uso que se hace del concepto *grado de compactación*, éste cuenta con defectos significativos. En la actualidad existe todavía la idea errónea de considerar que el objetivo de toda compactación es obtener el mayor peso volumétrico seco posible.

También es inadecuado usar el concepto de grado de compactación para evaluar la calidad lograda por un cierto equipo en el campo. Un material A, en estado totalmente suelto, tal como se deposita en la obra, puede tener un grado de compactación del orden de 80%, antes de sufrir ninguna compactación, en cuanto a otro material B, en las mismas condiciones,



puede tener un grado de compactación de 60%. Si este último se compacta hasta alcanzar el mismo 80% de A, se diría que ambos suelos están en las mismas condiciones de compactación. Sin embargo, la realidad es completamente distinta, pues el material A está en estado suelto, con todo lo que esto implica en cuanto al comportamiento mecánico, mientras que B ya ha sido parcialmente compactado, con lo que aumentó su resistencia, disminuyó su compresibilidad y, en general adquirió características diferentes a las de un material en estado suelto.

Algunas instituciones, tomando en cuenta lo anterior, han adoptado una relación diferente para medir la compactación que alcanza el suelo en el campo, la que se denomina compactación relativa y está definida por la expresión:

$$C. R. (\%) = \frac{\gamma_d - \gamma_{d\text{mín}}}{\gamma_{d\text{máx}} - \gamma_{d\text{mín}}} \times 100 \quad (3.4)$$

En donde:

$\gamma_d$ : es el peso volumétrico seco del material compactado en la obra.

$\gamma_{d\text{mín}}$ : es el mínimo peso volumétrico seco del mismo material

$\gamma_{d\text{máx}}$ : es el máximo peso volumétrico seco del material

Esta otra relación tiene la ventaja de no caer en la ambigüedad del grado de compactación, pues aquí un material totalmente suelto tiene una compactación relativa muy baja. Sin embargo, tiene el inconveniente de que no existe un procedimiento estándar para determinar el peso volumétrico seco mínimo. De cualquier manera, el concepto grado de compactación sigue siendo el método más usual para fijar el requisito de compactación que debe lograrse en campo.

El trabajo de un equipo de compactación en el campo suele planearse para lograr el grado de compactación especificado en la forma más económica. El grado de compactación que



se fije para un proyecto deber ser realista, sin imponer requerimientos excesivos, sea con relación a las propiedades que deban obtenerse o al equipo disponible y la importancia de la obra que se vaya a ejecutar; lo contrario causa continuos problemas de ajuste en el campo que entorpecen la marcha de las obras.

El requisito de compactación se fija básicamente buscando el balance óptimo de las siguientes propiedades:

- Homogeneidad.
- Características favorables de permeabilidad.
- Baja compresibilidad para evitar el desarrollo de presiones de poro excesivas o deformaciones inaceptables.
- Razonable resistencia al esfuerzo cortante
- Permanencia de las propiedades mecánicas en condiciones de saturación
- Flexibilidad para soportar asentamientos diferenciales sin agrietamiento.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con su uso, se han establecido procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación de los materiales en el laboratorio. El tipo de pruebas que generalmente se emplean son:

- Pruebas por impacto dinámicas, (Proctor, llamadas también AASHTO).
- Pruebas estáticas, (Porter).
- Pruebas por amasado, (Harvard miniatura).
- Pruebas por vibración, (Mesa vibratoria).

Para las bases y sub-bases esta tesis se enfocará solo a las pruebas AASHTO pues son las más utilizadas para fines de control de calidad.

En estas pruebas el suelo se compacta por capas en el interior de un molde metálico cilíndrico, variando en las pruebas el tamaño del molde, el espesor de la capa y el peso y altura de caída del pisón.

La compactación se logra al aplicar a cada capa dentro del molde un cierto número de golpes, uniformemente distribuidos, con un pisón cuyo peso, dimensiones y altura de caída



cambian de una variante de prueba a otra. El número de golpes de pisón que se aplica por capa también cambia en las diferentes pruebas.

En todos los casos, la energía específica se puede calcular con bastante aproximación con la expresión siguiente:

$$E_e = \frac{Nn Wh}{V} \quad (3.5)$$

En donde:

$E_e$ : energía específica.

$N$ : número de golpes del pisón compactador por cada una de las capas en que se acomoda el suelo en el molde de compactación.

$n$ : número de capas que se disponen hasta llenar el molde.

$W$ : peso del pisón compactador.

$h$ : altura de caída del pisón al aplicar los impactos al suelo.

$V$ : volumen total del molde de compactación, igual al volumen total del suelo compactado

Existen cuatro variantes para la prueba estándar y modificada, las cuales se describen a continuación:

- Variante A. Se aplica a materiales que pasan la malla N°4 (4.75 mm) y se compactan en el molde de 101.6 mm (4") de diámetro interior.
- Variante B. Se aplica a materiales que pasan la malla N°4 (4.75 mm) y se compactan en el molde de 152.4 mm (6") de diámetro interior.
- Variante C. Se aplica a materiales que pasan la malla ¾" (19 mm) y se compactan en el molde de 101.6 mm (4") de diámetro interior.
- Variante D, que se aplica a materiales que pasan la malla ¾" (19 mm) y se compacta en el molde 152.4 mm (6") de diámetro interior.

Tabla 3.4 Variantes para las pruebas de compactación AASHTO

Tipo de prueba	Estándar	Modificada
Masa del pisón, kg	2.5±0.01	4.54±0.01
Número de capas del material	3	5
Diámetro del pisón, cm	50.8	50.8
Altura de caída del pisón, cm	30.5±0.1	45.7±0.1

Variante	A	B	C	D
Tamaño máximo del material, mm	4.75 (N°4)		19.0 (3/4")	
Tamaño de la muestra de prueba, kg	4.0	7.5	4.0	7.5
Diámetro int. Del molde, mm	101.6±0.4	152.4±0.7	101.6±0.4	152.4±0.7
Numero de golpes por capa	25	56	25	56

En todas estas pruebas se utiliza un molde y un pisón de dimensiones establecidas por la norma M-MMP-1-09-03 de la SCT (Figura 3.5).

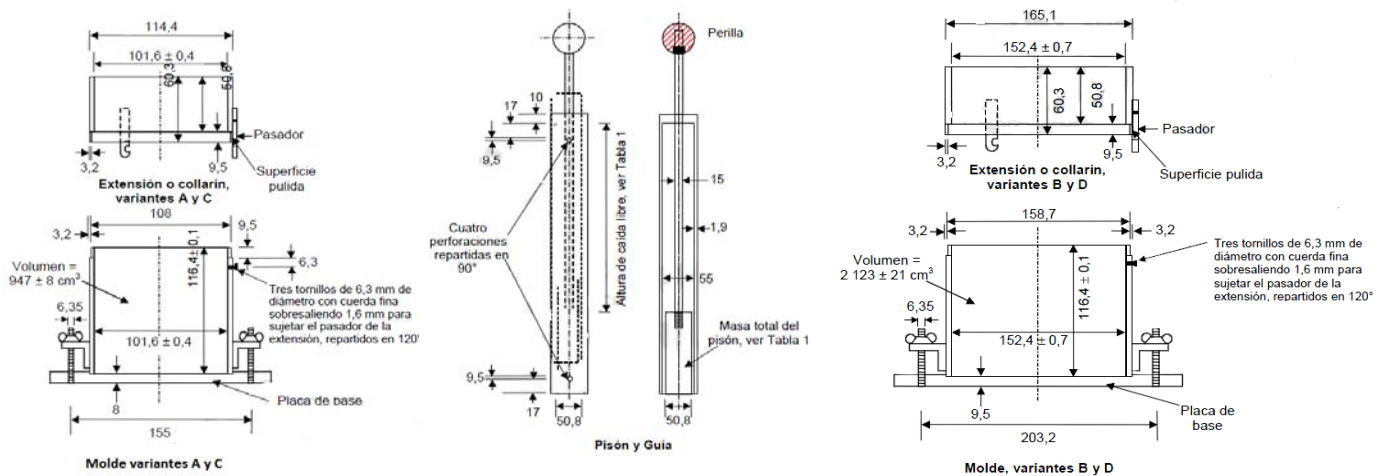


Fig. 3.5 Moldes cilíndricos y pisón para las pruebas de compactación AASHTO



### 3.3.5 Valor relativo de soporte VRS

El valor de soporte VRS (en inglés CBR, California Bearing Ratio) fue propuesta por P.J. Porter en el estado de California como primer intento para dimensionar los pavimentos flexibles con una base racional para estandarizar un modelo de ensaye para determinar la resistencia del suelo.

El objetivo de esta prueba es conocer si el material tiene la calidad necesaria para emplearse en las capas de un pavimento. En el caso de bases y sub-bases la prueba se realiza con especímenes compactados por métodos dinámicos.

El VRS se obtiene mediante una prueba de penetración, en la que un vástago de 19.4 cm<sup>2</sup> de área se hace penetrar en un espécimen de suelo previamente compactado a razón de 0.127 cm/min. Se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0.25 cm. El VRS se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm y la presión requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptando como patrón, que es piedra triturada.

El espécimen de suelo con el que se hace la prueba está confinado en un molde de 15.2 cm (6") de diámetro y 20.3 cm (8") de altura, equipado con un collarín de extensión de 5.1 cm de altura y una placa de base perforada. El espécimen introducido en el molde se satura en un periodo de 3 a 5 días con la finalidad de representar las condiciones más desfavorables que puedan presentarse en el futuro pavimento y para determinar el porcentaje de expansión, el cual se mide cada 24 horas.

Para reproducir la sobrecarga que vaya a tener una determinada capa en el pavimento por efecto del peso de las capas superiores, se coloca sobre el material por ensayar una placa que comunique al espécimen una presión equivalente a la sobrecarga que se tendrá en el pavimento. La placa está prevista de una perforación en el centro para permitir el paso del pistón que efectuará la penetración. Los resultados se llevan a una gráfica carga vs penetración, obteniendo la curva del VRS. Los factores que más afectan a los valores obtenidos en la prueba son la textura del suelo, su contenido de agua y su condición de compactación.



Tabla 3.5 Clasificación y uso del suelo según el valor de VRS (CBR)

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2 - 5	Muy mala	Sub-rasante
5 - 8	Mala	Sub-rasante
8 - 20	Regular – Buena	Sub-rasante
20 - 30	Excelente	Sub-rasante
30 - 60	Buena	Sub-base
60 - 80	Buena	Base
80 - 100	Excelente	Base

### 3.3.6 Desgaste de Los Ángeles

La prueba se realiza por medio de la Máquina de los Ángeles, y tiene por objeto determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos. Para determinar esa resistencia, se hace actuar una carga abrasiva sobre la muestra de material. La carga abrasiva la provee unas esferas metálicas estandarizadas, que al interactuar con la muestra de material dentro de la Máquina de los Ángeles alteran su composición granulométrica, triturando el material. Como resultado se tiene una pérdida de material con respecto a su masa inicial, lo cual determina la calidad del mismo ante el desgaste o la abrasión.

La Máquina de los Ángeles está constituida por un cilindro de acero, hueco y cerrado en ambos extremos, con diámetro interior de  $710 \pm 5$  mm y largo de  $510 \pm 5$  mm, montado sobre dos soportes ubicados al centro de sus caras paralelas, que le permiten girar sobre su eje de simetría en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 rpm. El cilindro tiene una abertura que permite introducir la muestra de prueba y las esferas metálicas, con una tapa de cierre hermético diseñada con la misma curvatura del cilindro para que la superficie interior del mismo sea continua y uniforme; además, tiene en su parte interior una placa de acero removible de 2.5 cm (1") de espesor, que se proyecta radialmente 8.9 cm (3½") en toda la longitud del cilindro y cuenta con un dispositivo para registrar el número de revoluciones del cilindro (Fig. 3.4).

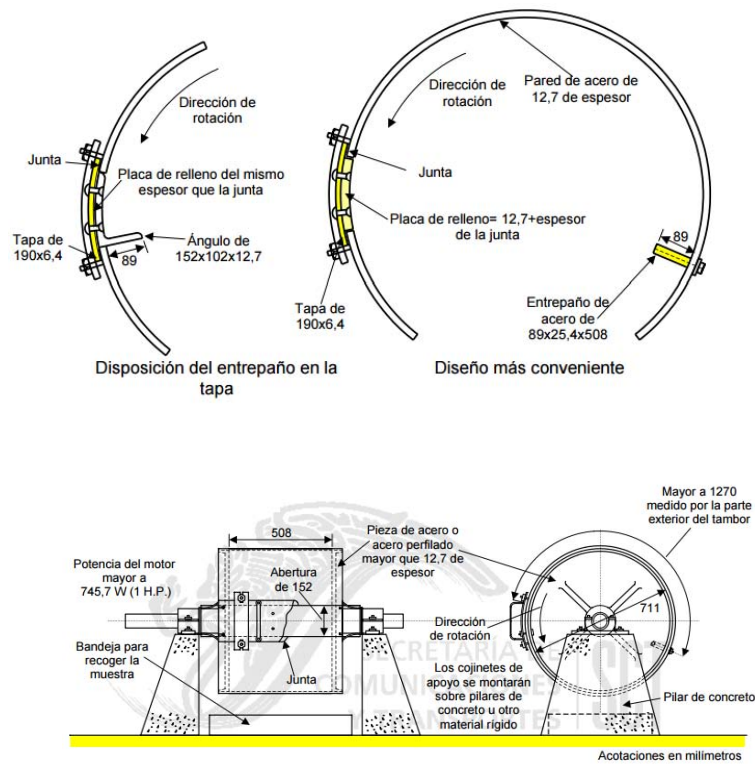


Fig. 3.6 Máquina de los Ángeles

La prueba utiliza una muestra de material con granulometría definida previamente que se coloca en el cilindro giratorio de acero, totalmente cerrado y colocado horizontalmente. La muestra es impactada repetidamente por las esferas metálicas introducidas en el cilindro que actúan como la carga abrasiva. Después de un determinado número de ciclos, se mide la variación granulométrica del agregado como la diferencia que pasa la malla N° 12 (1.7 mm de abertura), antes y después de la prueba. Esta prueba se describe en la norma de la SCT M-MMP-4-04-006/02.





---

## CAPITULO IV

# PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE BASES Y SUB-BASES

### 4.1 Bancos de préstamo

Los materiales utilizados en la construcción de vías terrestres, normalmente son extraídos y procesados en bancos de materiales, que en un principio se encuentran en estado natural. La explotación de bancos en general provoca un impacto ambiental importante, el cual se debe mitigar en la mayor medida posible. La magnitud del impacto ambiental está en función del tipo de banco que se explote (virgen o ya utilizado con anterioridad), del equipo y la maquinaria que se utilice para la explotación y del triturado de los materiales.

Se han utilizado tradicionalmente tres fuentes principales de extracción de materiales:

La excavación de un corte. A este procedimiento suele denominarse de compensación longitudinal. Este procedimiento está limitado por la calidad de los materiales que se obtenga al excavar los cortes y a la que se requiera en los terraplenes.

Préstamo lateral. Consiste en extraer el material necesario de excavaciones paralelas al eje de la vía, generalmente dentro del derecho de vía. Aunque con éste procedimiento se disminuyen los acarrees y el costo de la construcción, tienen el inconveniente del impacto ambiental que genera por lo que su uso debe restringirse

Bancos de material. Depósitos o formaciones naturales que se explotan de forma masiva y generalmente requieren acarreo para tenderlo en la vía terrestre.

Los bancos de materiales se presentan en la naturaleza de varias formas siendo las más comunes las siguientes:

- Depósitos. Están formados por materiales que llenan algunas depresiones del terreno natural. Pueden estar compuestos por fragmentos de roca, grava, arena, limos, arcilla, cenizas volcánicas.



- Aglomerados. Son formaciones de mezclas heterogéneas poco o nada cementadas, de origen volcánico, formados de fragmentos angulares o redondeados de varias formas y tamaños.
- Conglomerados. Son formaciones de origen sedimentario constituidos por gravas con o sin fragmentos de roca y cantidades apreciables de arena, que generalmente han sido depositados por corrientes fluviales, cementados.
- Mantos de roca. Pueden ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.
- Playones de ríos. Están formados por la sedimentación de los materiales que arrastran los ríos desde su nacimiento. A través de su recorrido se van depositando los materiales, quedando los boleos en las zonas de pendiente fuerte del cauce, los materiales finos donde la pendiente es menor.

#### 4.1.1 Localización de bancos

Con el fin de localizar posibles bancos de material es necesario efectuar reconocimientos completos de la zona donde se construirá la obra vial. Son de utilidad las fotografías aéreas, complementadas con reconocimientos terrestres.

Los principales criterios para la localización de bancos de materiales son:

- a) Tipo de obra y capa a la que se destinará el material. Pueden ser materiales para terracerías, capa subrasante, base, sub-base y superficie de rodamiento.
- b) Calidad. Debe de asegurarse que la calidad de los materiales extraíbles elegidos sea la mejor y que cumplan con la normatividad vigente de la dependencia u organismo responsable de la obra.
- c) Accesibilidad. Tener fácil acceso y poder explotarse con procedimientos eficientes y a costo razonable.
- d) Distancia. Seleccionar los que tengan distancias mínimas de acarreo.



- e) Facilidad de construcción. Contar con las propiedades que faciliten los procedimientos constructivos más sencillos y económicos durante el tendido y colocación en la obra.
- f) Que su explotación no conduzca a problemas legales y ambientales que perjudiquen a los habitantes de la región.

Los bancos de materiales para terracerías y subrasante en general son fáciles de localizar, pues sirven casi todos los que sean económicamente explotables. En cambio, para las capas de sub-base, base y carpetas asfálticas, los bancos pueden tener mayor dificultad, debido a que requieren de la instalación de equipos especiales y plantas, por lo que es común que la distancia de los mismos sea menor de 5 kilómetros para materiales de terracerías y capa subrasante y hasta 50 kilómetros para los de sub-bases y bases.

Los materiales con los que se pueden construir bases o sub-bases son gravas, arenas de río, aglomerados de cimentación variable, o roca masiva.

Existen otros materiales que aunque son muy duros al extraerse, se intemperizan con facilidad, como las lutitas y las pizarras y no deben emplearse en bases y sub-bases.

#### 4.1.2 Exploración de bancos

Una vez localizado el probable banco se realizan exploraciones preliminares mediante pozos a cielo abierto, calas o perforaciones y pruebas de laboratorio para conocer sus propiedades y calidad de los materiales. Si los resultados son positivos, se efectúan exploraciones definitivas para conocer la extensión del banco y la variabilidad del material. Los pozos a cielo abierto pueden tener profundidades de 2 a 4 m en materiales poco o nada cementados.

La exploración debe proporcionar la siguiente información para la toma de decisiones:

- a) Naturaleza del depósito desde el punto de vista geológico, historia de uso previo e hidrología superficial.



- 
- b) Profundidad, espesor, extensión y la composición de los estratos de suelo o roca susceptibles de explotación.
  - c) Caracterización de la hidrología subterránea, estimando el nivel y variabilidad del manto freático.
  - d) Propiedades de los suelos y rocas y usos anteriores que hayan tenido.

A las muestras de los bancos se les determina en laboratorio su clasificación SUCS, límites de consistencia, granulometría y peso volumétrico máximo.

Adicionalmente, en el caso de las bases y sub-bases, se llevan a cabo pruebas de desgaste de Los Ángeles, valor relativo de soporte (CBR), equivalente de arena y porcentaje de expansión.

De acuerdo con los resultados y su localización se elige el banco más apropiado.

#### 4.1.3 Tratamientos previos de materiales

Los materiales que van a ser usados en terracerías y capa subrasante no suelen sujetarse a tratamientos especiales y se utilizan tal como se obtienen. En cambio, los de bases y sub-bases, se le someten a diversos tratamientos que los adecuan a sus funciones, los cuales pueden ser:

- a) Eliminación de fragmentos. Se eliminan las partículas en tamaño máximo que sobrepasa el de proyecto, frecuentemente de 7.5cm (3"). Esta operación se realiza en forma manual.
- b) Disgregación. Se realiza en bancos de suelos duros y de roca muy alterada.
- c) Cribado. Se aplica para aquellos materiales poco o nada cohesivos, cuyo porcentaje de desperdicio fluctúa de 5% a un 25% de fragmentos con tamaño mayor que el especificado. La operación se realiza con equipo mecánico, las cribas mas comunes son criba de gravedad, criba vibratoria y criba rotatoria.
- d) Trituración. Los materiales gruesos se fragmentan hasta obtener una granulometría adecuada.



- e) Lavado. Se remueven los materiales contaminados por arcilla, materia orgánica o polvos. Esta actividad requiere empleo de equipo y maquinaria.

Las trituradoras que se emplean para la reducción de rocas deben ser construidas sólidamente y las superficies de contacto con la piedra deben ser de planchas reemplazables de manganeso u otra aleación especial. Existen varios tipos de trituradoras, siendo frecuentes las siguientes:

- De quijadas
- De molino
- De rodillos
- De molino de barras
- De molino de bolas
- Giratorias
- Cónicas

Las características para seleccionar un equipo de trituración toman en cuenta lo siguiente:

- Que admitan los tamaños grandes que se reciban.
- Que se resista mejor el desgaste por abrasión
- Que tenga la menor demanda de energía por tonelada de producto terminado
- Que requiera un mínimo de supervisión
- Que funcione económicamente con un mantenimiento mínimo
- Que tenga una mayor vida útil

Hay que tomar en cuenta dos conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de aplicación de los diferentes tipos de trituradoras, son el índice de reducción y el coeficiente de forma.

Los materiales pueden emplearse en su estado natural o requerir algún tratamiento. Los materiales que se emplean en su estado natural en general son poco o nada cohesivos, como los limos, arenas y gravas, que al ser extraídos quedan sueltos, y que no contienen más de 5% de partículas mayores de 51 milímetros (2”). Los materiales que no se empleen en su estado natural deben disgregarse, cribarse o triturarse.



- Materiales que requieren ser disgregados. En esta categoría se encuentran los materiales con cohesión o cementación, como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas alteradas, que al extraerlos quedan en forma de terrones que pueden reducirse con equipo de disgregación y que una vez disgregados no contienen más de 5 % de partículas mayores de 51 milímetros (2”).
- Materiales que requieren ser cribados. Corresponden a materiales poco o nada cohesivos, como las mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y que contienen entre 5 % y 25 % de partículas mayores de 51 milímetros (2”).
- Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados. Son los materiales poco o nada cohesivos, como mezclas, gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y que contienen más de 25 % de partículas mayores de 51 milímetros, así los tezontles y los cohesivos, como caliches, roca alterada, conglomerados y aglomerados, que al extraerlos contengan terrones que no pueden ser reducidos eficientemente con equipo de disgregación.
- Materiales que requieren trituración total y cribado. Comprenden los fragmentos extraídos de mantos de roca, la piedra suelta en su estado natural y la proveniente de desperdicios de cortes.

## 4.2 Carga, acarreo y tendido de materiales

### Carga

La carga se define como la maniobra que se realiza para depositar los materiales producto de diversos trabajos, como demolición, excavación o explotación de bancos, en una determinada área de confinamiento, para posteriormente ser transportados. La carga puede ser manual, por medio de pala y carretilla o carga mecánica, por medio de un camión de volteo y maquinaria.

Para extraer los materiales del banco es necesario que los fragmentos que se encuentran en forma masiva tengan tamaños accesibles.



---

Una vez aflojado el material, se carga a los vehículos de transporte mediante diferentes equipos, según el tamaño máximo de los fragmentos y su dificultad. El equipo de transporte deberá estar más reforzado cuando los fragmentos de roca sean de mayor tamaño.

Para el caso de materiales de bases, se utiliza la carga mecánica con camiones de volteo de diferentes capacidades, dependiendo la magnitud de la obra. Por lo general se utiliza una retroexcavadora o cargador frontal, que deposita el material en la caja de camiones de transporte.

Es importante tomar en cuenta los factores que determinan la eficiencia de la carga, como por ejemplo los tiempos muertos durante el proceso de carga.

Cuando la distancia al tiro es considerable y la cantidad de camiones es reducida, los camiones se cargan rápidamente y mientras se dirigen al destino, descargan y regresan, se produce un tiempo muerto para el equipo de carga. Lo mismo ocurre cuando se aumenta el número de camiones, a pesar de la mayor capacidad y velocidad de carga, éstos estarán ociosos mientras esperan su turno para cargar. Por lo tanto, es importante la sincronización con los vehículos de carga, verificar y mantener siempre en buen estado los equipos y máquinas involucradas en este proceso y tener cerca, bajo condiciones de seguridad, los lubricantes y combustibles necesarios para esta actividad.

Otro factor importante en el proceso de carga, es la habilidad del operador, por lo que es necesario contar con personal capacitado según del tipo de maquina utilizada. Con ello se pueden obtener mejores rendimientos, al optimizarse las maniobras y los tiempos de carga.

El mejor procedimiento para realizar la carga es atacar de frente el banco de material con el cucharón y elevar éste hasta que se encuentre totalmente cargado. La mejor carga se hace al pie del material y no a la mitad de su altura; se pliega el cucharón hacia atrás para terminar la carga. Una vez teniendo el cucharón cargado y elevado, los operadores de los camiones deben entrar al área de trabajo retrocediendo hasta colocarse bajo el cucharón, en una posición cercana al banco, en la cual el cargador realice solo tres desplazamientos:

1) Hacia el frente del banco; 2) retrocediendo con el cucharón cargado; 3) hacia el camión para descargar. La descarga se realiza sacudiendo el cucharón para evitar remanentes de carga (Fig. 4.1).



Fig. 4.1 Carga de material con retroexcavadora.

#### Acarreo a la obra

Los acarreos son el transporte del material producto de bancos, cortes, excavaciones, desmontes y despalmes, desde el lugar de extracción hasta el sitio de su utilización, según lo indique el proyecto. De acuerdo con la distancia de transporte, los acarreos pueden ser:

- Acarreo libre. Se efectúa desde el sitio de extracción del material hasta una distancia de 20 metros o hasta la que establezca el proyecto como acarreo libre. Este acarreo se considera como parte del concepto correspondiente a la extracción del material transportado, por lo que no es objeto de medición y pago por separado.
- Acarreo hasta 100 metros. Se realiza hasta una distancia de 100 metros, medida desde el término del acarreo libre.
- Acarreo hasta 1 kilómetro. Se efectúa hasta una distancia entre 101 y 1,000 metros, medida desde el término del acarreo libre.





- Acarreo mayor de 1 kilómetro. Se realiza hasta una distancia mayor de 1,000 metros, es decir, 1 kilómetro, medida desde el término del acarreo libre; también se le conoce como sobre acarreo.

El equipo que se utilice para los acarreos debe ser el adecuado para transportar el material que se trate, en cantidad y capacidad suficiente. Es responsabilidad del contratista de obra la selección del equipo, ya que si existen atrasos éstos son imputables al contratista. El equipo debe que ser mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y ser operado por personal capacitado.

También es responsabilidad del contratista la construcción y conservación de los caminos de acceso que se requieran para llegar al sitio de descarga, incluyendo el suministro y colocación de las señales y dispositivos de seguridad, así como la protección al tránsito mediante bandereros. Cuando los acarreos se hagan sobre caminos de terracería, la superficie de rodamiento se debe mantener húmeda, regándola periódicamente con agua, para impedir el levantamiento de polvo que afecte a terceros o reduzca la visibilidad. La distancia del acarreo será igual a la distancia entre el centro de gravedad del área donde se extraiga el material y el centro de gravedad del sitio donde se deposite, menos la distancia establecida para el acarreo libre.

Una vez llegado al sitio de la obra, el operador deberá descargar el material acordonándolo en una sección constante y a separaciones adecuadas, según lo indique el Residente, para que pueda calcular su volumen y en caso faltante, se agrega éste. Para el cálculo de la volumetría es necesario tomar en cuenta los sobre-anchos y conocer el ancho de corona, para multiplicarlo por el espesor de la base y la longitud que se vaya a trabajar, obteniendo así, los metros cúbicos o camiones necesarios para cada cadenamiento. Es importante considerar el factor de abundamiento, que en general equivale al 30% para materiales de bases y así evitar faltante de material (Fig. 4.2).



Fig. 4.2 Tendido de material

### Tendido

Esta operación se efectúa usualmente con motoconformadoras. Consiste en formar un camellón con todos los montículos de material que los camiones de volteo depositen, con el fin de uniformizar la mezcla y facilitar la ejecución del extendido.

El material acamellonado se abre parcialmente hacia el ancho de corona y con una pasada de pipa de agua se hace un primer riego. Luego la motoconformadora abre otra cantidad de material y la coloca sobre el que ya está húmedo y vuelve a pasar la pipa. El proceso se repite hasta proporcionar toda el agua necesaria. Es importante no dejar charcos, ya que éstos pueden provocar baches en la base. En caso de que queden encharcamientos, lo mejor es abrir el material dejando que se oreé y pierda humedad.

A continuación, se homogeneiza la humedad en todo el material con la motoconformadora, que hace movimientos sucesivos del material hacia un lado y otro. Cuando se consigue uniformar la humedad en todo el material, éste se distribuye en la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario. Se debe cuidar que el material no se segregue al colocar el material húmedo en el centro de la corona y distribuirlo hacia los lados mediante la misma motoconformadora que opere a una velocidad moderada.

Después de que la base haya sido extendida; se realiza el control del espesor y se corrige cualquier defecto. Para los niveles de bases la tolerancia es de  $\pm 2.5$  cm.

Previo al tendido de la base es necesario que los trabajos de topografía estén realizados correctamente, ubicando los ejes del camino, el ancho de corona y los niveles de base y sub-base con trompos visibles para el operador (Fig. 4.6). Es recomendable asignar uno o dos peones que auxilien al operador, con los trabajos de papeo, eliminando los fragmentos mayores de 75mm y destapando con pala los trompos que lleguen a cubrirse de material (Fig. 4.5).

Una vez extendido el material se compacta hasta alcanzar el grado de compactación de proyecto.



Fig. 4.3 Riego con pipa



Fig. 4.4 Extendido de material con motoconformadora



Fig. 4.5 Descubierta de trompos

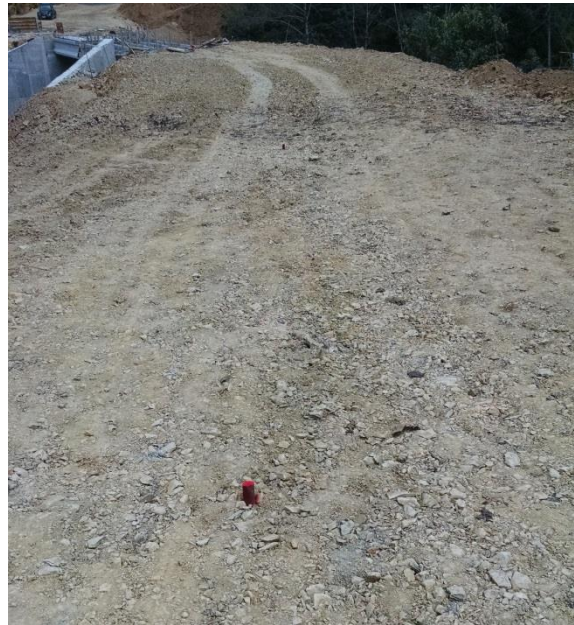


Fig. 4.6 Trompo para nivel de base



---

### 4.3 Compactación en campo

Como ya se mencionó, la compactación consiste en aumentar el peso volumétrico de un material mediante la reducción del porcentaje de vacíos del mismo por medios mecánicos, para hacer que las partículas encuentren acomodo correcto teniendo como efecto la expulsión del aire y agua del material.

Una vez tendido el material con la humedad adecuada, se procede a dar una pasada a todo lo ancho de la base con el compactador elegido, haciéndolo de las orillas al centro y procurando ir borrando la huella de la pasada anterior. Esta operación se realiza a una velocidad baja para ir apretando el material lentamente, pues en muchas ocasiones se desplaza el material por estar muy flojo.

Las siguientes pasadas se dan en la misma forma, de las orillas al centro, desplazando la máquina un ancho igual a la mitad del ancho del rodillo.

En las operaciones anteriores se debe mantener la humedad superficial e impedir que se evapore el agua de la capa. Para eso se deben dar riegos superficiales por medio de pipas que deben ir a una velocidad tal que no encharque el agua en la superficie. Cuando el agua es mayor que la necesaria conviene esperar un tiempo para que se evapore, para evitar que se pegue material a las ruedas o rodillos de los compactadores, dejando una superficie irregular.

Al terminar esta operación es conveniente comparar los niveles y el bombeo, para hacer cualquier corrección.

La siguiente operación será pasar la máquina en la misma forma de las orillas al centro, desplazando ésta a una rueda. A partir de esta operación ya no conviene hacer ningún arreglo a la sub-base o base con la motoconformadora, ya que cualquier escarificación o remoción que se haga de la capa, quedará semisuelta y no formará capa común con el revestimiento provocando los encarpetamientos.

Las siguientes pasadas se dan a media rueda, igualmente de las orillas al centro, a una velocidad mayor de la máquina, hasta alcanzar el grado de compactación requerido.

Una vez que la base se encuentra debidamente conformada, compactada y seca, se barre para eliminar materiales sueltos y exceso de polvo de la superficie, para proceder con el riego de impregnación, riego de liga o riego de sello, para estabilizar la superficie de la base y proporcionar una superficie, y una adecuada adherencia, afín con la carpeta asfáltica. (Fig. 4.7).



Imagen 4.7 Compactación de base

#### 4.4 Prácticas recomendables de construcción

Se realizaron visitas de campo con el fin de recopilar información fidedigna de los procedimientos comúnmente utilizados para la construcción de bases y sub-bases. En ellos se observaron los equipos utilizados, métodos de compactación, control de materiales y deficiencias principales o problemáticas que se presentan en la obra. Se realizaron encuestas a los residentes (ver anexos), solicitando indicaran a su juicio cuáles eran las soluciones más recomendables para dichas problemáticas.

Se visitaron las siguientes obras: Camino a Puga, km 129, Huahuachinango Puebla; Camino Xilocuautla, km 132, Huahuachinango Puebla; Av. Juárez, Morelia Michoacán; Autopista Uruapan - Los Reyes, tramo Angagua - Zacán, Michoacán y Camino a San José el Viejo, Aquismón San Luis Potosí.

Con base en estas visitas se plantean recomendaciones para el buen comportamiento de bases y subbases.



---

Se observaron algunas deficiencias en las pruebas de calidad de materiales ya que no se realizan como marca la normativa.

Durante el procedimiento de construcción de bases, deben cumplirse con varios requisitos importantes para garantizar la calidad y el buen comportamiento del pavimento.

1. Verificación de la calidad de los materiales por utilizar. Es necesario cumplir con la normativa vigente dependiendo del tipo de proyecto, una de las principales verificaciones se refiere a que la granulometría sea la adecuada y su curva de distribución se encuentre dentro de los rangos establecidos por la norma. Durante las visitas de campo se observaron deficiencias en su cumplimiento, incluyendo la presencia de tamaños de material mayores a 3". Lo anterior se presenta frecuentemente debido a que el constructor se obliga a obtener el material de los bancos más cercanos por costo y tiempo, dejando en segundo plano la calidad de los materiales. Para solucionar esta problemática se plantean las siguientes recomendaciones:

- a) En caso de que los materiales no cumplan con los requisitos de calidad y solo exista un banco cercano, será necesario realizar algún tratamiento previo, como puede ser disgregación, cribado, trituración o lavado. Si aun así el material no cumple las características necesarias, por ningún motivo se deberá suministrar a la obra.
- b) El constructor debe localizar los bancos más cercanos a la obra y realizar los estudios necesarios para garantizar la calidad de los materiales en cada uno de ellos. Una vez comparados los resultados de las pruebas, elegir el banco más adecuado asegurando las condiciones de tiempo y costo del proyecto.

2. Tendido y conformación de los materiales. Para lo cual es de gran importancia contar con un operador capacitado para este tipo de trabajo.

- a) La descarga del material debe hacerse en el lugar, forma y volúmenes por estación de veinte metros. La longitud máxima en el camino para descarga el material, debe ser fijada por el proyecto y la dependencia.



- b) El tendido y compactación de los materiales para la formación de base o sub-base se hará como sigue:
- Se extenderá el material previamente disgregado y se procederá a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos hasta alcanzar la humedad de proyecto. En campo esto puede variar dependiendo del clima y las condiciones de los materiales, entre otros factores.
  - A continuación se extenderá y compactará en una o más capas que resulten en espesores no mayores de 12 cm de material compactado, hasta obtener el espesor y la sección del proyecto. Por lo general esto no se realiza en campo ya que se tiende a conformar y compactar capas mayores.
  - De acuerdo con el criterio actualmente empleado, para carreteras con un tránsito menor a 1000 vehículos pesados, se recomienda un espesor de la base mínimo de 12 cm, y cuando sea mayor, el espesor mínimo es de 15cm. Para las sub-bases la SCT recomienda un espesor mínimo de 10 cm. Obviamente lo que definirá los espesores finales será el diseño del pavimento.

Siempre será preferible construir las capas de base y sub-base con exceso de ancho y luego cortar recuperando el material, a fin de evitar grietas longitudinales y mal confinamiento en los hombros.

Los equipos para la ejecución de los trabajos especificados comprenden: motoniveladora equipada con cuchilla y escarificadores en buenas condiciones y carrotanque o pipa de agua que permita un riego uniforme sobre la superficie.

El espesor de cada capa y el número de pasadas del equipo de compactación estarán determinados por la capacidad del equipo que disponga el contratista y el material a compactar. Dependiendo lo que indique el laboratorio se darán el número de pasadas con el equipo, cuando se ha pasado de compactación el material empieza a agrietarse o abrirse, para garantizar la compactación, existe una técnica empírica que consiste en dejar caer la barreta, si ésta se marca en la superficie indica que le falta compactación.





---

Es importante contar con personal de laboratorio capacitado y confiable para realizar las pruebas constantes y representativas de cada una de las capas y verificar el grado de compactación requerido.

Para dar por terminada la construcción de una base, se debe verifica el alineamiento, el perfil y la sección (forma, espesor, anchura y acabado), de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

#### **4.5 Fallas y soluciones**

Las fallas se pueden definir como las condiciones que se presentan en un pavimento, cuando éste pierde las características de servicio para las que fue diseñado.

Es importante que al analizar una falla en determinado pavimento se tomen en cuenta todos los factores y circunstancias de cada caso particular para obtener conclusiones válidas para su dictamen.

Para el estudio de una falla se debe observar cuidadosamente ésta a fin de emitir una hipótesis preliminar. Por medio de la observación pueden obtenerse valiosos datos de las diferentes fallas en determinadas zonas del pavimento.

No todo el estudio se debe realizar por medio de la observación, sino también realizar un estudio muy cuidadoso de laboratorio y recabar antecedentes de los procesos constructivos para poder definir el origen de los deterioros y repararlos oportunamente. Es importante recalcar que se debe siempre tratar de corregir completamente la deficiencia que esté ocasionando las fallas, resolviendo el problema de raíz para que no se vuelva a presentar, ya que es muy común que se arregle de manera provisional para evitar problemas con la supervisión dejando sin resolver el problema. Una reparación no realizada a tiempo, será mucho más costosa posteriormente.

Existen dos tipos de fallas:



Fallas funcionales. Corresponden a las deficiencias superficiales del pavimento, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino de proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro. En éstas no intervienen factores como el diseño geométrico, estado de acotamientos o señalamientos.

Fallas estructurales. Corresponden a una deficiencia del pavimento que provoca una reducción de capacidad de carga del mismo. Estas fallas se catalogan graves e imposibilitan el uso del pavimento. Se pueden presentar tanto en la superficie de rodamiento como en la base, sub-base, en la subrasante o hasta localizarse en el cuerpo mismo de las terracerías o en el terreno de cimentación de la estructura. Estas fallas se pueden clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan.

- Fallas atribuibles a la carpeta.
- Fallas originadas en la interface, carpeta – base como consecuencia de una interacción inadecuada, esto es, un mal acoplamiento entre el material de base y la carpeta.
- Fallas originadas en la base, sub-base o terracerías, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.
- Fallas originadas por la repetición de cargas.
- Fallas originadas por agentes climatológicos (intemperismo).

Un estudio de fallas en pavimentos flexibles de asfalto en México reveló que la causa de ellas correspondía a las siguientes etapas del ciclo de un pavimento:

Fallas por diseño inadecuado.....25 %

Fallas por construcción inadecuada.....60 %

Fallas por deficiente conservación..... 15 %

Es decir la mayor parte de las fallas se presentan por un mal procedimiento constructivo, y por las acciones que se ejercen directa o indirectamente sobre los pavimentos, como son las repeticiones de las cargas, los agentes del clima y el peso propio de las capas que constituyen la estructura conjunta de la obra.



Por lo tanto, es más importante asegurar una adecuada construcción, con inspección experimentada y control de calidad, que preocuparse demasiado por un diseño técnico-científico.

Algunas de las causas de fallas más comunes, se enlistan a continuación, dependiendo del tipo de capa.

#### En sub-bases

- Mala calidad del material utilizado (principal causa).
- Baja compactación.
- Falta de espesor.
- Contaminación con el material de terracerías.
- Defectos de construcción.

#### En bases

- Mala calidad del material utilizado (principal causa).
- Baja compactación.
- Falta de espesor.
- Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación.
- Falta de limpieza o barrido de la superficie de base antes de impregnar.
- Defectos de construcción.
- Defecto de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito y a los efectos del clima, antes de protegerla con la carpeta.

A continuación se mencionan algunas fallas con una descripción de posibles soluciones.

*Roderas.* Son deformaciones longitudinales que se presentan en la superficie de rodamiento en la zona donde pasan las ruedas de los vehículos. Si son menores a 1 cm, se deben a la deformación de la capeta asfáltica, pero si son mayores, se deben a una insuficiencia en la base, tanto por calidad de sus materiales como por baja compactación.

*Solución.* Contar con un laboratorio de control de calidad confiable que verifique la calidad de los materiales de la base y el grado de compactación, mediante las normas



---

correspondientes, así como realizar un buen procedimiento constructivo, teniendo muy en cuenta el control de calidad realizando las pruebas necesarias de campo y laboratorio.

Una solución posible a este problema es aplicar un ligero riego de liga (0.5 - 0.7 lts/m<sup>2</sup>) y colocar una mezcla asfáltica de concreto asfáltico en las depresiones, debiendo quedar los bordes rebajados. La mezcla se compacta con compactador de neumáticos. Si no se recarpetea el tramo, se aplica un sello de arena para impermeabilizar. Se debe tener cuidado de no regar el asfalto en exceso.

*Pequeñas deformaciones transversales rítmicas.* Esta falla que es muy molesta para el tránsito. Se debe a las deformaciones de esta capa producidas por la vibración y esfuerzos tangenciales provocados por los vehículos que se reflejan hacia la superficie de rodamiento y se presenta cuando la base no está bien compactada.

*Solución.* Verificar el grado de compactación de proyecto mediante control de calidad en la obra por un laboratorio confiable.

*Bufamientos.* Es un hinchamiento debido a la saturación de los materiales de la subrasante o de alguna otra capa de la estructura del pavimento. Estos hinchamientos se presentan en suelos expansivos que al cambiar su humedad tienden a levantar el área afectada. Con el tiempo los bufamientos pasan a ser baches o deterioros totales del pavimento. Casi siempre se presentan en zonas de corte, ya que al cortar el terreno se modifica el nivel freático y el flujo de agua tiende a aflorar por el talud de corte, añadido a esto las fuerzas de filtración.

*Solución.* Efectuar bacheo profundo. El problema podría solucionarse desde la etapa de construcción colocando subdrenaje en las áreas de corte o sustituir completamente los suelos con potencial de expansión si la capa de ellos es delgada.

*Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta.* Las causas generalmente son debidas a la falta de soporte lateral (hombro). También puede deberse a que el tránsito se acerca mucho a las orillas cuando la carpeta cubre toda la corona de la vía, en cuyo caso no se tiene suficiente confinamiento lateral. Igualmente se presentan cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada, con materiales sin compactar o sin la liga adecuada con la parte antigua, por lo que con el tiempo estas grietas van apareciendo en la superficie de



rodamiento propagándose hacia el centro del camino y avanzando hasta cubrir algunas zonas en todo el ancho de la corona.

*Solución.* La primera reparación que se hace es un taponamiento de grietas según su abertura, pero esto solo evita la entrada de agua de lluvia sin detener la aparición de nuevas grietas. Después del taponamiento se coloca una sobrecarpeta pero también ésta no durará mucho ya que en un tiempo corto un año aproximadamente, aparecerán de nuevo las grietas longitudinales. Con estas reparaciones sin resultados positivos, debe hacerse un estudio más completo, basado en la observación del tramo y sus grietas en particular.

Puede observarse que este fenómeno generalmente ocurre cuando llueve y el material de los terraplenes se satura; al terminar la época de lluvias, el agua se va eliminando en mayor porcentaje por evaporación.

Al estar saturados los materiales de los terraplenes, sufren una expansión y que al secarse en las zonas bajas, pierden humedad, originándose una contracción y tienden a separarse del resto del terraplén. Por esta grieta se origina otra zona de evaporación y se repite el proceso. Al no tapar a tiempo las grietas, la siguiente temporada de lluvias satura de nuevo los materiales y se acelera el agrietamiento.

Una solución más acertada recargar los taludes con material arcilloso, excavando las orillas pero dejando una berma, para alejar la cuña de contracción de la superficie de rodamiento. La zona ampliada se protege con una sub-base sin impregnar, para que la evaporación no sea tan concentrada.

Lo mejor es evitar estas grietas con una buena compactación en la base y adecuado confinamiento lateral en los hombros.

*Presencia de calaveras.* Son huecos que se presentan en la superficie de rodamiento y que pueden llegar a ser muy numerosos. Su tamaño no es mayor de 15 cm y se deben a una insuficiente calidad en la base o en la carpeta, con contenido de asfalto menor al óptimo.

*Solución.* Remoción de la carpeta y base en el espesor necesario, hasta remover el material dañado, sustituyéndolo por uno de mejor calidad.



*Baches.* Es una de las fallas más comunes y se puede presentar en la carpeta de rodamiento o en las capas inferiores del pavimento. Se deben principalmente a la falta de uniformidad en la distribución del asfalto o de los materiales pétreos y a la falta de adherencia de la carpeta con la base, que produce concentraciones de cargas que llegan a romper la estructura interna de la carpeta. También se pueden deber a la mala calidad de los materiales de base, sub-base o terracerías que contienen un alto contenido de humedad o presencia de arcillas. En el caso particular de las bases debe contarse con una buena granulometría que garantice el drenaje adecuado.

*Solución.* Para la reparación de un bache debe primeramente analizarse la causa que lo produce. Por lo general, si el bache se encuentra en la base o sub-base, se retira el material dañado, abriendo una caja en forma rectangular y se vuelve a incorporar material en capas de espesor no mayor de 10 cm, compactando cada capa al grado de compactación que indique el proyecto. La superficie debe quedar totalmente nivelada en conjunto con la base.

Una solución rápida en obra es dar un “gavilonazo” con la cuchilla de la motoconformadora, retirando el material y esperar a que se oreé para poder volver a incorporarlo. Para realizar esto, se requiere verificar que el material no esté contaminado y haya perdido la humedad que provocaba el bache; en caso contrario, se deberá colocar nuevo material que cumpla con la calidad y especificaciones requeridas por la Dependencia. Si el bache es muy profundo, el material se retirará hasta la profundidad necesaria, incorporando material de filtro para evitar la humedad y mejorar el drenaje. Esta práctica no es la más apropiada, ya que lo recomendable es verificar que el material cumpla con las especificaciones y normativa para poder ser suministrado y evitar estos problemas.

*Agrietamiento del pavimento en forma de piel de cocodrilo o mapeo.* Se debe a una carpeta de mala calidad y también a que no se rigidizó en forma adecuada la base hidráulica, Este tipo de falla propicia la infiltración de gran cantidad de agua en la base del pavimento y por esta razón la falla progresa rápidamente. La presencia de este tipo de falla implica un bacheo profundo y en casos extremos hay que restituir la estructura del pavimento.

*Solución:* Cumplir con el grado de compactación indicado en el proyecto y laboratorio. La solución más adecuada para este tipo de falla es la escarificación superficial de la carpeta

de rodamiento del área afectada, cortando 5 cm del pavimento asfáltico existente, y aplicando un riego de adherencia para colocar la nueva mezcla. Si la falla es más profunda, se reemplaza el material de base o terracerías.

*Deformaciones severas en la superficie.* Pueden deberse a insuficiente espesor o mala calidad de los materiales del pavimento, a menudo con notable falta de compactación en la construcción.

Solución: Contar con la supervisión y control de calidad de laboratorio, efectuando todas las pruebas necesarias para verificar la calidad de los materiales y su compactación.

*Derrumbe de hombros.* Ocurre en el proceso de compactación de la base o subbase, cuando el equipo de compactación es demasiado pesado, y los taludes del terraplén no soportan el peso, tendiendo el hombro a caer o deformarse.

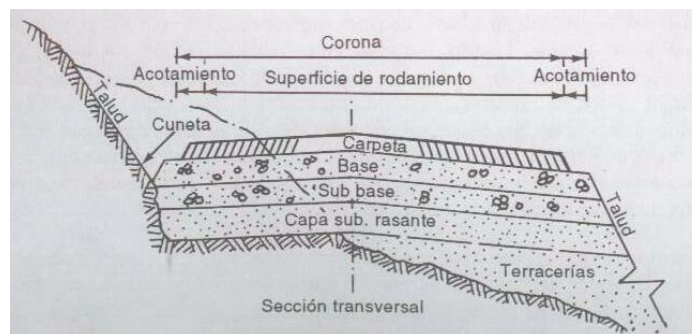


Fig. 4.8 Sección transversal típica.



Fig. 4.9 Hombro en capa de base



*Solución:* Construir una sección más ancha de terraplén, tomando en cuenta la pendiente de los taludes propuesto en el proyecto. A esta sección se le llama sobreebanco lateral, el cual se compacta a un menor grado.

#### **4.6 Control de calidad**

El control de calidad es la aplicación de técnicas de ingeniería para asegurar que las obras tengan un proceso constructivo adecuado y además cumplan con las normativas vigentes.

Para obtener calidad en la construcción es necesaria la supervisión de un gran número de factores que intervienen directamente en el proceso constructivo de la obra, los cuales tienen que ser supervisados con el mayor grado de efectividad para que ésta cumpla con su objetivo.

En una obra se pueden dar ahorros económicos considerables y mejores procedimientos constructivos si se tiene un buen control de calidad. El control de calidad en la construcción se lleva a través de pruebas de laboratorio con las que se trata de simular como trabajan los materiales de construcción en obra.

La intensidad del control de calidad depende del conocimiento que se tenga, principalmente por parte de los ejecutivos, sobre la utilidad, las necesidades y la magnitud de la obra, así como de la disponibilidad de los elementos y de la organización.

Las actividades de control de calidad son:

Preventivas. En las que se realizan investigaciones y se dan especificaciones

Control de proceso. En el que se debe exigir el cumplimiento de las especificaciones y del proyecto de las etapas intermedias de construcción





---

Verificación de la obra. En esta parte se debe cumplir la meta propuesta y de acuerdo con lo alcanzado, se realizan los pagos y ajustes correspondientes.

Para el control de calidad en bases y subbases las pruebas necesarias se pueden dividir en pruebas de campo y pruebas de laboratorio.

Control de calidad en bases y subbases:

Pruebas de laboratorio

- Muestreo
- Preparación de muestras
- Peso volumétrico seco suelto
- Granulometría
- Densidad
- Absorción
- Límites de consistencia
- Equivalente de arena
- Prueba de valor cementante
- Prueba VRS estándar

Pruebas de campo

- Peso volumétrico seco del lugar
- Grado de compactación

Los requisitos de calidad de los materiales para bases y subbases se encuentran en la norma N-CMT-4-02-002/11 de la SCT. Tabla 4.1 y 4.2.

Tabla 4.1 Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos asfálticos.

Característica	Valor %	
	$\sum L \leq 10^6$ [2]	$\sum L > 10^6$ [2]
Límite líquido <sup>[2]</sup> , máximo	25	25
Índice plástico <sup>[2]</sup> , máximo	6	6
Equivalente de arena <sup>[2]</sup> , mínimo	40	50
Valor Soporte de California (CBR) <sup>[2,3]</sup> , mínimo	80	100
Desgaste de los Ángeles <sup>[2]</sup> , máximo	35	30
Partículas alargadas y lajeadas <sup>[2]</sup> , máximo	40	35
Grado de compactación <sup>[2,4]</sup> , mínimo	100	100

[1]  $\sum L$ = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperando durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Con el grado de compactación indicando en esta Tabla.

[4] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaria indiquen otra cosa.

Tabla 4.2 Requisitos de calidad de los materiales para subbases de pavimentos asfálticos

Característica	Valor %	
	$\sum L \leq 10^6$ [2]	$\sum L > 10^6$ [2]
Límite líquido <sup>[2]</sup> , máximo	30	25
Índice plástico <sup>[2]</sup> , máximo	10	6
Valor Soporte de California (CBR) <sup>[2,3]</sup> , mínimo	50	60
Equivalente de arena <sup>[2]</sup> , mínimo	30	40
Desgaste de los Ángeles <sup>[2]</sup> , máximo	50	40
Grado de compactación <sup>[2,4]</sup> , mínimo	100	100

[1]  $\sum L$ = Número de ejes equivalentes acumulados, desde 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Con el grado de compactación indicando en esta Tabla.

[4] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba de AASHTO.



---

## 4.7 Terraplenes de prueba

El objeto de los terraplenes de prueba es valorar la eficiencia del equipo de compactación en campo y verificar la validez de las especificaciones y procedimientos de construcción para poder efectuar algún cambio en el equipo o procedimiento de construcción si se observa que éstos no son adecuados.

Los resultados obtenidos en los terraplenes de prueba permitirán determinar el espesor de las capas y el número de pasadas del equipo más eficiente y conveniente.

### a) Equipo

El equipo que se debe disponer es el necesario para efectuar las siguientes operaciones:

- Excavación del préstamo.
- Acarreo del material del préstamo a la obra.
- Tendido del material en la obra.
- Riego hasta obtener el contenido de agua adecuado.
- Compactación.
- Escarificación para asegurar la liga entre capa y capa.

### b) Procedimiento

- Se determina la localización de los préstamos de donde se vayan a extraer los materiales para los terraplenes de prueba.
- Se escoge el lugar para construir los terraplenes de prueba. Deberá elegirse un sitio próximo a la obra, para que las condiciones del material, originadas por el acarreo, sean las mismas que se presentan durante la construcción. La longitud disponible del terraplén debe ser de aproximadamente 30 m y el ancho un poco mayor que el del equipo por usarse. La altura debe ser tal que quede formado por seis a ocho capas.

- El sitio de desplante del terraplén debe limpiarse y nivelarse lo mejor posible.
- Se extrae el material con que se construirá el terraplén, se acarrea y vacía en montículos espaciados, en un volumen que logre una capa de 20 cm. Se cubican las unidades de transporte que van a hacer el acarreo.
- Una vez colocados todos los montículos, se extiende el material hasta obtener una capa uniforme de 20 cm en toda la superficie del terraplén.
- El terraplén se regará para ajustarse al contenido de agua especificado, o bien se deja secar si ese contenido es mayor que el requerido.
- Una vez tendida la capa floja de 20 cm, con un contenido de agua cercano al óptimo según pruebas de laboratorio, se compacta el material pasando el equipo de acuerdo con la secuela que se muestra en la Fig. 5.1. Se marcan zonas a lo largo del terraplén de manera que, además de la zona por compactar, quede dos fajas, una al principio y otra al final, en las que el equipo pueda detenerse.

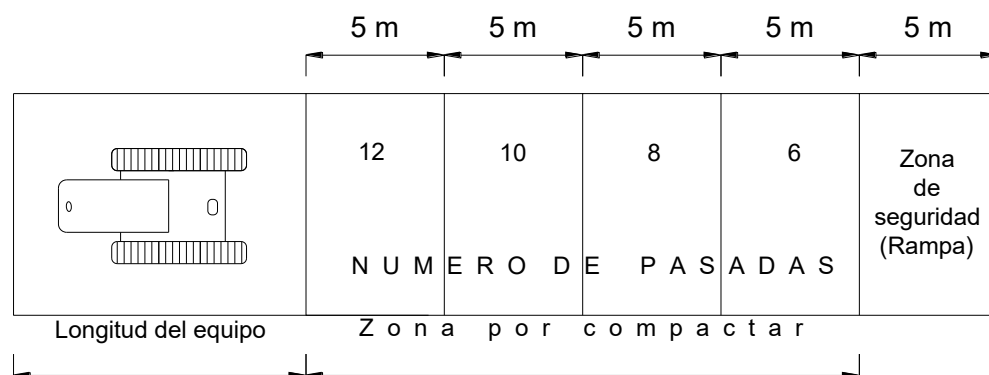


Fig. 5.1 Numero de pasadas en el terraplén de prueba

Para que cada zona quede compactada con diferente número de pasadas, el equipo dará primero seis a todo lo largo de la zona, tres en cada sentido. Para las dos pasadas siguientes, el equipo no llegará hasta el extremo de la zona, sino que se detendrá 5 m antes, quedando los 5 m finales con seis pasadas únicamente y el resto con ocho. Para las dos siguientes (una en cada sentido) se reduce en la misma forma



la zona compactada. Las últimas dos solo se dan en los 5 m restantes. En esta forma quedan al final cuatro fajas con 6,8,10 y 12 pasadas.

Con esto terminan las operaciones necesarias para dejar compactada la primera capa del terraplén de prueba. El proceso para colocar, tender, regar y compactar la siguiente capa es idéntico al descrito para la primera. Así se continúa hasta tener un terraplén formado por seis u ocho capas en cuatro zonas con distintos números de pasadas.

- Una vez que se ha construido el terraplén, se realizan cinco o más calas en cada zona correspondiente a un determinado número de pasadas del rodillo, para determinar el peso volumétrico seco y el contenido de agua, con esos datos se obtiene el grado de compactación del material, y se construye una gráfica grado de compactación vs número de pasadas, eligiendo el número de pasadas más conveniente.

#### **4.8 Seguridad**

Uno de los aspectos poco tomados en cuenta en México, es la seguridad, la mayoría de los accidentes que se relacionan con la operación de máquinas, son causados por fallos en la observación de reglas y precauciones básicas de seguridad, un accidente puede ser evitado mediante el reconocimiento de situaciones potencialmente peligrosas antes de que ocurra dicho accidente.

La gestión de la seguridad comprende las funciones de planificación, identificación de áreas problemáticas, coordinación, control y dirección de las actividades de seguridad en la obra, todas ellas con el fin de prevenir los accidentes y enfermedades.

A menudo se entiende mal lo que significa la prevención de accidentes, ya que la mayoría de la gente cree, erróneamente, que "accidente" equivale a "lesión", lo cual presupone que un accidente carece de importancia a menos que acarree una lesión. En una obra en construcción hay muchos más "incidentes" que lesiones.



---

Puede realizarse cientos de veces una acción peligrosa antes de que cause una lesión, y los esfuerzos deben concentrarse en la eliminación de esos peligros en potencia.

Una efectiva gestión de seguridad persigue tres objetivos principales: lograr un ambiente seguro; hacer que el trabajo sea seguro y hacer que los obreros tengan conciencia de la seguridad, para esto es de suma importancia crear todo un programa de seguridad en el que se instruya al trabajador sobre los riesgos que se puedan presentar en las áreas de trabajo y así poder mitigarlos.

Riesgos en el uso de camión de volteo

- Atropello de personas (entrada, salida, etc.).
- Choques contra otros vehículos.
- Vuelco del camión.
- Caída (al subir o bajar de la caja).
- Atrapamiento (apertura o cierre de la caja).

Medidas preventivas para trabajos con el camión de transporte.

- Los camiones de volteo deben estar en perfectas condiciones de mantenimiento y conservación.
- La caja será bajada inmediatamente después de efectuada la descarga y antes de emprender la marcha.
- Las entradas y salidas a la obra se realizarán con precaución auxiliado por las señales de un miembro de la obra.
- Si por cualquier circunstancia tuviera que parar en pendiente, el vehículo quedará frenado y calzado con topes.
- Se prohíbe estrictamente cargar los camiones por encima de la carga máxima marcada por el fabricante, para prevenir los riesgos de sobrecarga. El conductor permanecerá fuera de la cabina durante la carga.

Riesgos en el uso de la motoniveladora.

- Atropello.
- Vuelco de la máquina.
- Choque contra otros vehículos.
- Quemaduras (trabajos de mantenimiento).



- Atrapamientos.
- Caída de personas desde la máquina.
- Ruido propio y de conjunto.
- Trabajos de ambiente polvoriento o de estrés térmico.
- Vibraciones.

Medidas preventivas para trabajos con la motoniveladora.

- Las motoniveladoras están diseñadas para mover materiales ligeros y efectuar nivelaciones. No deben nunca utilizarse como bulldozer, causa de gran parte de los accidentes así como del deterioro de la máquina.
- El refino de taludes debe realizarse cada 2 ó 3 m de altura, evitando así posibles desprendimientos y accidentes.
- La motoniveladora no deberá sobrepasar en ningún caso pendientes laterales superiores al 40%.
- Los caminos de circulación interna de la obra, se cuidarán para evitar que reduzcan la seguridad de la circulación de la maquinaria.
- No se deben admitir máquinas que no vengan con la protección de cabina antivuelco o pórtico de seguridad.
- El conductor será especializado y habituado al manejo de estas máquinas.
- Se prohíbe que los conductores abandonen la máquina con el motor en marcha
- Las máquinas a utilizar en esta obra, estarán dotadas de un extintor, sellado y con las revisiones al día.
- Las máquinas a utilizar en esta obra, estarán dotadas de luces y bocina de retroceso.
- Se prohíbe arrancar el motor sin antes cerciorarse de que no hay nadie en el área de operación de la máquina.
- Se prohibirá realizar operaciones de mantenimiento con la máquina en marcha.

Medidas preventivas para los operadores de motoniveladora.

- Esté al tanto de dónde están los trabajadores y manténgalos fuera del trayecto de la maquinaria en movimiento.
- Para subir o bajar de la máquina, utilice los escalones y agarraderas dispuestos para tal función, evitará lesiones por caída.
- No suba utilizando las llantas, cubiertas, cadenas y aleros, evitará accidentes por caída.
- Suba y baje de la maquinaria de forma frontal, asiéndose con ambas manos; es más seguro.
- No salte nunca directamente al suelo, si no es por peligro inminente para usted.
- No trate de realizar "ajustes" con la máquina en movimiento o con el motor en



funcionamiento, puede sufrir lesiones.

- No permita que personas no autorizadas accedan a la máquina, pueden provocar accidentes, o lesionarse.
- No trabaje con la máquina en situación de avería o semiavería. Repárela primero, luego reinicie el trabajo.
- Para evitar lesiones, apoye en el suelo la cuchilla, pare el motor, ponga el freno de mano y bloquee la máquina; a continuación, realice las operaciones de servicio que necesite.
- Vigile la presión de los neumáticos, trabaje con el inflado a la presión recomendada por el fabricante de la máquina.

Riesgos en el uso de compactadores.

- Atropello.
- Vuelco de la máquina.
- Choque contra otros vehículos.
- Quemaduras (trabajos de mantenimiento).
- Atrapamientos.
- Caída de personas desde la máquina.
- Golpes.
- Ruido propio y de conjunto.
- Vibraciones.

Medidas preventivas para trabajos de compactadores.

- Los caminos de circulación interna de la obra, se cuidarán para evitar deformaciones excesivas que mermen la seguridad de la circulación de la maquinaria.
- No se admitirán en esta obra máquinas que no vengan con la protección de cabina antivuelco o pórtico de seguridad.
- Se realizarán rotaciones de personal y se controlarán los períodos de permanencia en el manejo de la máquina para evitar despistes que puedan ocasionar accidentes debido a lo monótono del trabajo realizado (ir y venir repetidas veces por el mismo camino) y al fácil manejo de estas máquinas.
- El conductor estará capacitado para el manejo de maquinaria pesada.
- Se prohíbe que los conductores abandonen la máquina con el motor en marcha.
- La circulación sobre terrenos desiguales se efectuará a velocidad lenta.
- Las máquinas a utilizar en esta obra, estarán dotadas de un extintor, con las





revisiones al día.

- Las máquinas a utilizar en esta obra, estarán dotadas de luces y bocina de retroceso.
- Se prohíbe arrancar el motor sin antes cerciorarse de que no hay nadie en el área de operación de la máquina.
- Se prohibirá realizar operaciones de mantenimiento con la máquina en marcha.
- Se asegurará el buen estado del asiento del conductor con el fin de absorber las vibraciones de la máquina y que no pasen al operario.

#### Medidas preventivas para los operadores de compactadores

- Para subir o bajar de la máquina, utilice los peldaños y agarraderas dispuestos para tal función, evitará lesiones por caída.
- Suba y baje de la maquinaria de forma frontal, asiéndose con ambas manos; es más seguro.
- No salte nunca directamente al suelo, si no es por peligro inminente para usted.
- No trate de realizar "ajustes" con la máquina en movimiento o con el motor en funcionamiento, puede sufrir lesiones.
- No permite que personas no autorizadas accedan a la máquina, pueden provocar accidentes, o lesionarse.
- No trabaje con la máquina en situación de avería o semiavería. Repárela primero, luego reinicie el trabajo.
- Para evitar lesiones, pare el motor, ponga el freno de mano y bloquee la máquina; a continuación, realice las operaciones de servicio que necesite.

## CAPITULO V

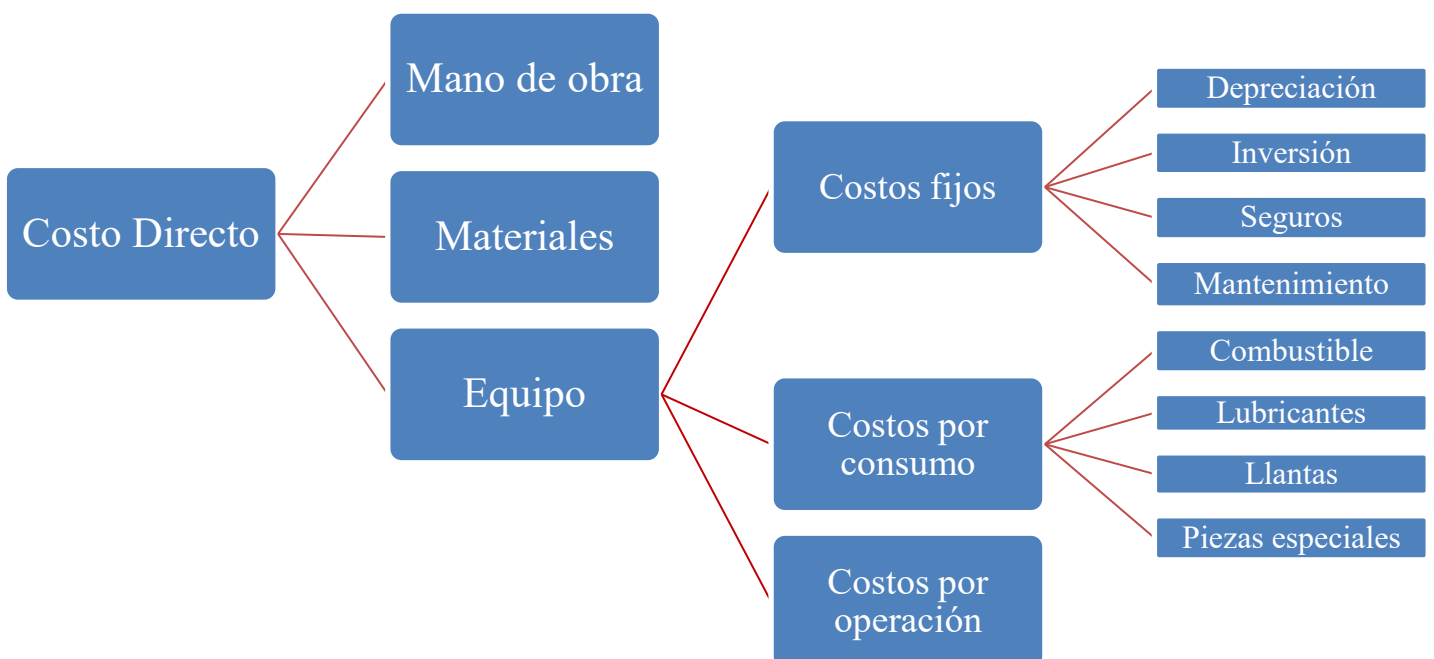
# ANÁLISIS DE COSTOS Y RENDIMIENTOS

### 5.1 Costo directo

Se define costo directo como aquellas erogaciones que se ven reflejadas directamente en la obra. Para la construcción de las bases y subbases de pavimentos asfálticos es necesario determinar su costo mediante un análisis donde se consideren los materiales, mano de obra y equipo necesario para la ejecución de los trabajos.

Los costos directos de obra, son un punto importante en el presupuesto, ya que representan importes equivalentes de hasta un 70% del precio de venta, es por esto que se deben analizar con detalle, y es en ellos donde la capacidad de análisis de la empresa determina su nivel de competitividad.

Podemos decir que el costo directo se divide como se muestra en el siguiente esquema.





A continuación se describen cada uno de los costos como lo marca el reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas.

### 5.1.1 Mano de obra

El costo por mano de obra es el que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por el pago de salarios reales al personal que interviene en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate, incluyendo al primer mando, entendiéndose como tal hasta la categoría de cabo o jefe de una cuadrilla de trabajadores.

Se obtiene con la expresión:

$$Mo = \frac{Sr}{R} \quad (5.1)$$

Donde:

“Mo”, costo por mano de obra.

“Sr”, Salario real del personal que interviene directamente en la ejecución de cada concepto de trabajo por jornada de ocho horas, salvo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia que corresponden a los costos indirectos, incluyendo todas las prestaciones derivadas de la Ley Federal del Trabajo, la Ley del Seguro Social, la Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores.

“R”, rendimiento, es decir, la cantidad de trabajo que desarrolla el personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo por jornada de ocho horas. Para realizar la evaluación del rendimiento, se debe considerar en todo momento el tipo de trabajo a desarrollar y las condiciones ambientales, topográficas y en general aquellas que predominen en la zona o región donde se ejecuten.

Para la obtención del salario real se utiliza la expresión:



---

$$Sr = Sn * Fsr \quad (5.2)$$

Donde:

“Sn”, Salarios tabulados de las diferentes categorías y especialidades propuestas por el licitante o contratista.

“Fsr”, Factor de salario real

El factor de salario real “Fsr” se entiende como la relación de los días realmente pagados en un periodo anual, de enero a diciembre, divididos entre los días efectivamente laborados durante el mismo periodo, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fsr = \frac{Tp}{Tl} + ps \frac{Tp}{Tl} \quad (5.3)$$

Donde:

“Fsr”, definido anteriormente

“Ps”, fracción decimal, las obligaciones obrero-patronales derivadas de la Ley del Seguro Social y de la Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores.

“Tp”, días realmente pagados durante un periodo anual.

“Tl”, días realmente laborados durante el mismo periodo anual utilizado en Tp.

### 5.1.2 Materiales

El costo directo por materiales es el correspondiente a las erogaciones que hace el contratista para adquirir o producir todos los materiales necesarios para la correcta ejecución del concepto de trabajo, que cumpla con las normas de calidad y las especificaciones generales y particulares de construcción requeridas por la dependencia o entidad.



Los materiales que se usen en los trabajos podrán ser permanentes o temporales, los primeros son los que se incorporan y forman parte de los trabajos; los segundos son los que se utilizan en forma auxiliar y no forman parte integrante de los trabajos. En este último caso se deberá considerar el costo en proporción a su uso.

El costo unitario por concepto de materiales se obtiene, de la expresión:

$$M = P_m * C_m \quad (5.4)$$

Donde:

“M”, costo por materiales.

“P<sub>m</sub>”, costo básico unitario vigente de mercado, que cumpla con las normas de calidad especificadas para el concepto de trabajo de que se trate y que sea el más económico por unidad del material puesto en el sitio de los trabajos.

“C<sub>m</sub>”, consumo de materiales por unidad de medida del concepto de trabajo.

### 5.1.3 Costo horario

El costo horario directo por maquinaria o equipo de construcción es el que se deriva del uso correcto de las máquinas o equipos adecuados y necesarios para la ejecución del concepto de trabajo.

El costo horario directo por maquinaria o equipo de construcción es el que resulta de dividir el importe del costo horario de la hora efectiva de trabajo entre el rendimiento de dicha maquinaria o equipo en la misma unidad de tiempo.

$$ME = \frac{P_{hm}}{R_{hm}} \quad (5.5)$$

Donde:

“ME”, costo horario por maquinaria o equipo de construcción.



“Phm”, costo horario directo por hora efectiva de trabajo de la maquinaria o equipo de construcción considerados como nuevos. Este costo se integra con costos fijos, consumos y salarios de operación, calculados por hora efectiva de trabajo.

“Rhm”, rendimiento horario de la máquina o equipo considerados como nuevos dentro de su vida económica, en las condiciones específicas del trabajo a ejecutar.

#### 5.1.4 Costos fijos

Los costos fijos son los correspondientes a depreciación, inversión, seguros y mantenimiento.

El costo horario por depreciación es el que resulta por la disminución del valor original de la maquinaria o equipo de construcción, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica.

$$D = \frac{V_m - V_r}{V_e} \quad (5.6)$$

Dónde:

“D”, costo horario por depreciación de la maquinaria o equipo de construcción.

“Vm”, valor de la máquina o equipo considerado como nuevo, descontando el precio de las llantas y de los equipamientos, accesorios o piezas especiales, en su caso.

“Vr”, valor de rescate de la máquina o equipo que el contratista considere recuperar por su venta al término de su vida económica.

“Ve”, vida económica de la máquina o equipo estimada por el contratista y expresada en horas efectivas de trabajo.



El costo horario por la inversión es el costo equivalente a los intereses del capital invertido en la maquinaria o equipo de construcción, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica y se obtiene con la siguiente expresión:

$$I_m = \frac{(V_m + V_r)i}{2H_{ea}} \quad (5.7)$$

Donde:

“ $I_m$ ”, costo horario por la inversión de la maquinaria o equipo de construcción considerado como nuevo.

“ $V_m$ ” y “ $V_r$ ”, definidos anteriormente.

“ $H_{ea}$ ”, número de horas efectivas que la máquina o el equipo trabaja durante el año.

“ $i$ ”, tasa de interés anual expresada en fracción decimal.

El costo horario por seguros es el que cubre los riesgos a que está sujeta la maquinaria o equipo de construcción por los siniestros que sufra. Este costo forma parte del costo horario, ya sea que la maquinaria o equipo se asegure por una compañía aseguradora, o que la empresa constructora decida hacer frente con sus propios recursos a los posibles riesgos como consecuencia de su uso.

Se obtiene con la expresión:

$$S_m = \frac{(V_m + V_r)s}{2H_{ea}} \quad (5.8)$$

Donde:

“ $S_m$ ”, costo horario por seguros de la maquinaria o equipo de construcción.



---

“Vm” y “Vr”, definidos anteriormente

“s”, prima anual promedio de seguros, fijada como porcentaje del valor de la máquina o equipo y expresada en fracción decimal.

“Hea”, número de horas efectivas que la máquina o el equipo trabaja durante el año.

El costo horario por mantenimiento es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria o equipo de construcción en buenas condiciones durante toda su vida económica.

Se obtiene con la expresión:

$$Mn = Ko * D \quad (5.9)$$

Donde:

“Mn”, costo horario por mantenimiento de la maquinaria o equipo de construcción.

“Ko”, coeficiente que considera el mantenimiento. Este coeficiente varía según el tipo de máquina o equipo y las características del trabajo y se fija con base en la experiencia estadística que se tenga en la industria de la construcción.

“D”, depreciación de la máquina o equipo.

#### 5.1.5 Costos por consumo

Los costos por consumos son los que se derivan de las erogaciones que resulten por el uso de combustibles u otras fuentes de energía y, en su caso, lubricantes y llantas.





---

El costo horario por combustibles es el derivado de todas las erogaciones originadas por los consumos de gasolina y diesel y se obtiene con la expresión:

$$Co = Gh * Pc \quad (5.10)$$

Donde:

“Co”, costo horario del combustible necesario por hora efectiva de trabajo.

“Gh”, cantidad de combustible utilizado por hora efectiva de trabajo. Este coeficiente se obtiene en función de la potencia nominal del motor, de un factor de operación de la máquina o equipo y de un coeficiente determinado por la experiencia que se tenga en la industria de la construcción, el cual varía de acuerdo con el combustible que se use.

“Pc”, precio del combustible puesto en la máquina o equipo.

El costo horario por lubricantes es el derivado del consumo y de los cambios periódicos de aceites lubricantes de los motores y se obtiene con la siguiente expresión:

$$Lb = (Ah + Ga)Pa \quad (5.11)$$

Donde:

“Lb”, costo horario por consumo de lubricantes.

“Ah”, cantidad de aceites lubricantes consumidos por hora efectiva de trabajo, de acuerdo con las condiciones medias de operación.

“Ga”, consumo entre cambios sucesivos de lubricantes en las máquinas o equipos y se determina por la capacidad del recipiente dentro de la máquina o equipo y los tiempos entre cambios sucesivos de aceites.



“Pa”, costo de los aceites lubricantes puestos en las máquinas o equipos.

El costo horario por llantas es el correspondiente al consumo por desgaste de las llantas durante la operación de la maquinaria o equipo de construcción y se obtiene con la expresión:

$$N = \frac{P_n}{V_n} \quad (5.12)$$

Donde:

“N”, costo horario por el consumo de las llantas de la máquina o equipo como consecuencia de su uso.

“Pn”, valor de las llantas consideradas como nuevas, de acuerdo con las características indicadas por el fabricante de la máquina.

“Vn”, horas de vida económica de las llantas,

El costo horario por piezas especiales es el correspondiente al consumo por desgaste de las piezas especiales durante la operación de la maquinaria o equipo de construcción y se obtiene con la expresión:

$$A_e = \frac{P_a}{V_a} \quad (5.13)$$

Donde:

“Ae”, costo horario por las piezas especiales.

“Pa”, valor de las piezas especiales consideradas como nuevas.

“Va”, horas de vida económica de las piezas especiales, tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas a las mismas.



### 5.1.6 Costos por operación

El costo horario por salarios de operación es el que resulta por concepto de pago del o los salarios del personal encargado de la operación de la maquinaria o equipo de construcción por hora efectiva de trabajo y se obtendrá mediante la expresión:

$$Po \frac{Sr}{Ht} \quad (5.14)$$

Donde:

“Po”, costo horario por concepto de pago del o los salarios del personal encargado de la operación de la maquinaria o equipo de construcción.

“Sr”, definido anteriormente

“Ht”, horas efectivas de trabajo de la maquinaria o equipo de construcción dentro del turno.

Como ejemplo se analiza el precio unitario de una base hidráulica, para pavimento asfáltico basado en el concepto de obra siguiente.



## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Concepto

Unidad: m3

Formación y compactación de base hidráulica compactada al 100% de su PVSM de la prueba AASHTO modificada, incluye: acamellonado, extendido del material, incorporación de agua, homogenizado, compactado en capas de 20 cm de espesor, equipo, mano de obra y herramienta necesaria, los materiales utilizados para Bases Hidráulicas, cumplirán con lo establecido en la Norma N.CMT.4.02.002

Descripción completa	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	
<b>MATERIALES</b>					
AGUA DE TOMA	m <sup>3</sup>	0.14000	\$28.23	\$3.95	
MATERIAL PARA BASE PUESTO EN OBRA	m <sup>3</sup>	1.30000	\$171.42	\$222.85	
<b>MANO DE OBRA</b>					
CUADRILLA No 71 (1 PEON)	JOR	0.01000	\$370.87	\$3.71	
<b>EQUIPO</b>					
MOTONIVELADORA CAT 140H	h	0.01672	\$1,187.35	\$19.85	
CAMIÓN PIPA DE 9 M3	h	0.00936	\$422.03	\$3.95	
COMPACTADOR VIBRATORIO VAP 70	h	0.01313	\$657.15	\$8.63	
				<b>COSTO DIRECTO</b>	\$262.94
				<b>INDIRECTOS(7.00%)</b>	\$18.41
				<b>INDIRECTOS DE CAMPO(8.00%)</b>	\$21.04
				<b>SUBTOTAL</b>	\$302.38
				<b>FINANCIAMIENTO (3.00%)</b>	\$9.07
				<b>SUBTOTAL</b>	\$311.45
				<b>UTILIDAD (10%)</b>	\$31.15
				<b>PRECIO UNITARIO</b>	\$342.60



Para realizar un análisis de precio unitario es necesario conocer los rendimientos de materiales, mano de obra y equipo. Los cuales se obtienen por observación de campo o tablas de los fabricantes de los equipos.

### Materiales

Incorporación de agua

Costo horario del camión pipa de  $9\text{m}^3 = \$422.03$

Ancho del múltiple de descarga = 3 m

Agua necesaria para compactación =  $140\text{ l/m}^3$

Consumo de agua por metro lineal

Recorrido por la pipa =  $140\text{ l/m}^3 \times 0.25\text{ m} \times 3\text{ m de ancho} = 105\text{ l/m}$

Recorrido del camión para descargar =  $9000\text{ l} / 105\text{ l/m} = 85.71\text{ m}$

Tiempo de vaciado si el camión viaja a  $1\text{ km/h}$ :

$85.71\text{ m} / 1000\text{ m/h} \times 60\text{ min/h} = 5.14\text{ min}$

Ciclo de llenado y vaciado del camión incluyendo acarreo a 1 km

Tiempo de llenado a razón de  $6\text{ l/seg} = 9000\text{ l} / 360\text{ l/min} = 25\text{ min}$

Tiempo de vaciado = 5.14 min

Recorrido ida y vuelta a 1 km y acomodo = 6.00 min

SUMA 36 min (0.602 h)

Costo del agua por  $\text{m}^3 = \$422.03 \times 0.602\text{ h} / 9\text{ m}^3 = \$28.23$

Costo de la incorporación de agua por  $\text{m}^3$  de base =  $\$28.23 \times 0.140\text{ m}^3/\text{m}^3 = \$3.95$

Material de base

Se tiene un costo de material para base puesto en obra (incluye carga y acarreo) de  $\$171.42$  el  $\text{m}^3$ . La cantidad requerida del material se multiplica por un factor de abundamiento y de compactación que se estima del 30% con lo que resulta una cantidad de  $1.3\text{ m}^3$  de material para la unidad del concepto.

$1.3 \times \$171.42 = \$222.85$  costo por  $\text{m}^3$

### Mano de obra

Cuadrilla No 1

Incluye: 1 peón y 0.1 de cabo

Salario real

Peón:  $\$311.28$

Cabo:  $\$595.91 \times 0.1 = \$59.59$

Suma por turno =  $\$370.87$



Costo por hora de la cuadrilla, considerando un rendimiento de  $100 \text{ m}^3$  por jornada

$$\text{Costo} = \$370.87/100 = \$3.71$$

$$\text{Costo de mano de obra por metro cúbico} = \$ 3.71$$

### Equipo

Motoniveladora

Tendido de material en capas de 20 cm

Costo horario de motoniveladora CAT 140H= \$ 1187.35

Tamaño de la cuchilla = 3.65m

Coefficiente de inclinación a  $30^\circ = 0.87$

Ancho efectivo  $3.65 \text{ m} \times 0.87 = 3.17 \text{ m}$

Número de pasadas para extender una capa de 20 cm de material compactado (25 cm material suelto) = 8 pasadas

Velocidad promedio de la máquina por pasada = 1 km/h

Tiempo total empleado en realizar un ciclo:

$$T = \frac{N \times D}{V \times n}$$

N, número de pasadas necesarias en cada capa para conformar el material de base.

D, distancia recorrida en cada pasada expresada en km.

V, velocidad de la maquina al realizar el trabajo expresado en km/hr.

n, factor de eficiencia horaria durante el trabajo.

$$T = \frac{8 \times 0.1}{1 \times 0.75} = 1.06\text{h}$$

Metros cúbicos realizados en cada ciclo:

$$100\text{m} \times 0.2\text{m} \times 3.17\text{m} = 63.4 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

Rendimiento horario =  $(\text{m}^3/\text{ciclo})$  (ciclos/hora)

$$R_h = 63.4 \text{ m}^3/\text{ciclo} \times 0.943 \text{ ciclos/hora} = 59.80 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Cantidad } 1/59.80 = 0.01672$$

Costo del tendido del material por  $\text{m}^3$ :

$$\$1187.35 / 59.80 \text{ m}^3 / \text{h} = \$ 19.85$$

Camión pipa

Ancho del múltiple de descarga= 3 m

Agua necesaria para compactación=  $140 \text{ l}/\text{m}^3$



Consumo de agua por metro lineal

Recorrido por la pipa =  $140 \text{ l/m}^3 \times 0.25 \text{ m} \times 3 \text{ m de ancho} = 105 \text{ l/m}$

Recorrido del camión para descargar =  $9000 \text{ l} / 105 \text{ l/m} = 85.71 \text{ m}$

Tiempo de vaciado si el camión viaja a  $1 \text{ km/h}$ :

$85.71 \text{ m} / 1000 \text{ m/h} \times 60 \text{ min/h} = 5.14 \text{ min}$

Ciclo de llenado y vaciado del camión incluyendo acarreo a  $1 \text{ km}$

Tiempo de llenado a razón de  $6 \text{ l/seg} = 9000 \text{ l} / 360 \text{ l/min} = 25 \text{ min}$

Tiempo de vaciado =  $5.14 \text{ min}$

Recorrido ida y vuelta a  $1 \text{ km}$  y acomodo =  $6.00 \text{ min}$

SUMA  $36 \text{ min}$  ( $0.602 \text{ h}$ ) tiempo total del ciclo

Cantidad de  $\text{m}^3$  en un ciclo =  $85.71 \text{ m} \times 0.25 \times 3 \text{ m} = 64.28 \text{ m}^3$

Rendimiento =  $64.28 \text{ m}^3 / 0.602 \text{ h} = 106.7 \text{ m}^3/\text{h}$

Cantidad  $1/106.7 = 0.00936 \text{ h/m}^3$

Compactador

Costo horario del compactador vibratorio VAP 70 = \$ 657.15

Ancho del rodillo compactador =  $2.32 \text{ m}$

Velocidad de paso del rodillo vibratorio =  $1.5 \text{ km/h}$

Número de pasadas para alcanzar 100% AASTHO = 8 pasadas

Rendimiento, volumen compactado por hora de material suelto:

$$R = \frac{A \times V \times e \times n}{N}$$

A, ancho de compactación efectivo en cada pasada expresado en metros.

e, espesor de capa por compactar.

N, número de pasadas necesarias en cada capa para compactar el material de base.

V, velocidad de la maquina al realizar el trabajo expresado en km/hr.

n, factor de eficiencia horaria durante el trabajo.

$$R = \frac{2.32 \times 1500 \times 0.25 \times 0.7}{8} = 76.12 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cantidad  $1/76.12 = 0.01313$

Costo de compactación por metro cúbico de material suelto:

$\$ 657.15 / 76.12 \text{ m}^3/\text{h} = \$ 8.63$



## Costos horarios

A continuación se muestra el cálculo de los costos horarios, para la motoniveladora CAT 140H, el compactador vibratorio VAP 70 y camión pipa de 9m<sup>3</sup>

DATOS GENERALES																																					
<b>MOTONIVELADORA CAT. 140H DE 215 HP</b>		<b>Modelo:</b> 14H	<b>Capacidad:</b> 15 HP, 18784 KG																																		
			<b>Serie:</b>																																		
			Tipo de Combustible: DIESEL																																		
			% Tasa de Interes Anual: 12%																																		
			% Prima Anual Promedio de Seguros: 4%																																		
PRECIO DE ADQUISICION	\$	3,953,510.00	VIDA ECONOMICA EN AÑOS: 6																																		
PRECIO JUEGO LLANTAS (Ph)	\$	216,720.00	HORAS POR AÑO (Hea): 2000 Hrs																																		
EQUIPO ADICIONAL:	\$	-	VIDA ECONOMICA (Ve): 12000 Hrs																																		
VIDA ECONOMICA DE LLANTAS (Juego) (Vn)		3000.00 hrs	COSTO COMBUSTIBLE (Pc): 12.24 /Lts																																		
PRECIO PZAS ESPECIALES (Pe)	\$	-	COSTO LUBRICANTE (Pa): 48 /Lts																																		
VIDA ECONOMICA PZAS ESPEC (Va)		hrs	POTENCIA NOMINAL: 215 HP																																		
VALOR DE LA MAQUINA (Vm)	\$	3,953,510.00	FACTOR DE OPERACIÓN (Fo): 0.75																																		
VALOR DE RESCATE (Vr)		10% \$ 395,351.00	POTENCIA DE OPERACIÓN (Pop): 161.25																																		
TASA DE INTERES ANUAL (i)		12.0000%	FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko): 0.7																																		
PRIMA ANUAL PROMEDIO DE SEGUROS (s)		4%	COEFICIENTE COMBUSTIBLE (Fc): 0.1514																																		
SALARIO REAL DEL OPERADOR (S)	\$	975.33	COEFICIENTE LUBRICANTE (Fa): 0.0015																																		
COSTO POR SALARIO DE OPERACIÓN (Po)	\$	121.92	CAPACIDAD DEL CARTER (CC): 20 Lts																																		
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (t)		8 hrs	FACTOR DE RENDIMIENTO (Fr): 1																																		
TIEMPO ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE (Ca)		200.00 hrs	CONSUMOS ENTRE CAMBIO DE LUB (Ga= CC/Ca): 0.1000																																		
<b>I.- CARGOS FIJOS</b>		<b>OPERACIONES</b>	<b>ACTIVA</b>	<b>%</b>	<b>ESPERA</b>	<b>%</b>	<b>RESERVA</b>																														
a).- DEPRECIACION.....D=(Vm-Vr)/Ve		(\$3,953,510.-\$395,351.)/12,000.00	\$ 296.51	100%	\$ 296.51	15%	\$ 44.48																														
b).- INVERSION.....Im = (Vm+Vr)*i/2Hea		(\$3,953,510.+\$395,351.)x12.0000 %/(2x20	\$ 130.47	100%	\$ 130.47	100%	\$ 130.47																														
c).- SEGUROS.....Sm = (Vm+Vr)*s/2Hea		(\$3,953,510.00+\$395,351.00)x4.00 %/(2x2	\$ 43.49	100%	\$ 43.49	100%	\$ 43.49																														
d).- MANTENIMIENTO.....M= Ko*D		0.7 x 296.51	\$ 207.56		\$ -	15%	\$ 31.13																														
<b>Suma Cargos Fijos</b>			<b>\$ 678.03</b>		<b>\$ 470.47</b>		<b>\$ 249.57</b>																														
<b>II.- CONSUMOS</b>																																					
a). COMBUSTIBLE.....Co=Fc*Pop*Pc		0.1514x161.25x \$12.24	\$ 298.82	5%	\$ 14.94		\$ -																														
b).-Otras Fuentes de Energia		\$00 * 0	\$ -	5%	\$ -		\$ -																														
c). Lubricante.....Lb=[(Fa*Pop)+CC/Ca]*Pc		[(0.0015x161.25)+20/200] x \$48lt	\$ 16.41	5%	\$ 0.82		\$ -																														
d). Llantas.....N=Ph/Vn		\$00/3,000	\$ -	15%	\$ -		\$ -																														
e). Piezas Especiales.....Ae=Pe/Va		\$00/0	\$ -		\$ -		\$ -																														
f).-Otros Consumos			\$ -		\$ -		\$ -																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripcion</th> <th>Unidad</th> <th>Costo</th> <th>Cantidad</th> <th>*</th> <th>Importe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LLANTAS MOTOCONFORMADORA</td> <td>JGO</td> <td>\$ 216,720.00</td> <td>0.000333</td> <td>*</td> <td>\$72.17</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>\$ -</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>\$ -</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;"><b>Suma:</b></td> <td><b>\$</b></td> <td></td> <td></td> <td><b>72.17</b></td> </tr> </tbody> </table>			Descripcion	Unidad	Costo	Cantidad	*	Importe	LLANTAS MOTOCONFORMADORA	JGO	\$ 216,720.00	0.000333	*	\$72.17			\$ -	-					\$ -	-			<b>Suma:</b>		<b>\$</b>			<b>72.17</b>					
Descripcion	Unidad	Costo	Cantidad	*	Importe																																
LLANTAS MOTOCONFORMADORA	JGO	\$ 216,720.00	0.000333	*	\$72.17																																
		\$ -	-																																		
		\$ -	-																																		
<b>Suma:</b>		<b>\$</b>			<b>72.17</b>																																
Suma de Otros Consumos			\$ 72.17	5%	\$ 3.61		\$ -																														
<b>Suma de Consumos</b>			<b>\$ 387.40</b>		<b>\$ 19.37</b>		<b>\$ -</b>																														
<b>III.- OPERACIÓN</b>		<b>CATEGORIA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>SALARIO REAL</b>	<b>IMPORTE</b>																															
1PIA-M	CUADRILLA No 96 ( 1 OPERAI	8.000000	JOR	\$ 975.33	\$ 121.92																																
				\$ -	\$ -																																
				\$ -	\$ -	<b>Sr= \$ 975.33</b>																															
				\$ -	\$ -																																
<b>Suma de Operación Po=S/Ht</b>				<b>\$121.92</b>	<b>100%</b>	<b>\$121.92</b>	<b>100%</b>	<b>\$121.92</b>																													
<b>COSTO DIRECTO HORA - MAQUINARIA</b>			<b>\$ 1,187.35</b>		<b>\$ 611.76</b>		<b>\$ 382.32</b>																														





DATOS GENERALES										
<b>VIBROCOMPACTADOR VAP 70</b>			Tipo de Combustible: DIESEL							
			% Tasa de Interes Anual: 12%							
			% Prima Anual Promedio de Seguros: 4%							
PRECIO DE ADQUISICION	\$	1,663,200.00	VIDA ECONOMICA EN AÑOS: 6							
PRECIO JUEGO LLANTAS (Ph)	\$	139,440.00	HORAS POR AÑO (Hea): 2000 Hrs							
EQUIPO ADICIONAL:	\$	-	VIDA ECONOMICA (Ve): 12000 Hrs							
VIDA ECONOMICA DE LLANTAS (Juego) (Vn)		3000.00 hrs	COSTO COMBUSTIBLE (Pc): 12.24 /Lts							
PRECIO PZAS ESPECIALES (Pe)	\$	-	COSTO LUBRICANTE (Pa): 48 /Lts							
VIDA ECONOMICA PZAS ESPEC (Va)		hrs	POTENCIA NOMINAL: 155 HP							
VALOR DE LA MAQUINA (Vm)	\$	1,523,760.00	FACTOR DE OPERACIÓN (Fo): 0.8							
VALOR DE RESCATE (Vr)		10% \$ 152,376.00	POTENCIA DE OPERACIÓN (Pop): 124							
TASA DE INTERES ANUAL (i)		12.0000%	FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko): 0.8							
PRIMA ANUAL PROMEDIO DE SEGUROS (s)		4%	COEFICIENTE COMBUSTIBLE (Fc): 0.1514							
SALARIO REAL DEL OPERADOR (S)	\$	630.07	COEFICIENTE LUBRICANTE (Fa): 0.003							
COSTO POR SALARIO DE OPERACIÓN (Po)	\$	78.76	CAPACIDAD DEL CARTER (CC): 36 Lts							
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (t)		8 hrs	FACTOR DE RENDIMIENTO (Fr): 1							
TIEMPO ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE (Ca)		150.00 hrs	CONSUMOS ENTRE CAMBIO DE LUB (Ga= CC/Ca): 0.2400							
<b>I.- CARGOS FIJOS</b>		<b>OPERACIONES</b>		<b>ACTIVA</b>	<b>%</b>	<b>ESPERA</b>	<b>%</b>	<b>RESERVA</b>		
a).- DEPRECIACION.....D=(Vm-Vr)/Ve		(\$1,523,760.-\$152,376.)/12,000.00	\$	114.28	100%	\$	114.28	15%	\$	17.14
b).- INVERSION.....Im = (Vm+Vr)*i/2Hea		(\$1,523,760.+\$152,376.)x12.0000 %/(2x20)	\$	50.28	100%	\$	50.28	100%	\$	50.28
c).- SEGUROS.....Sm = (Vm+Vr)*s/2Hea		(\$1,523,760.00+\$152,376.00)x4.00 %/(2x2)	\$	16.76	100%	\$	16.76	100%	\$	16.76
d).- MANTENIMIENTO.....M = Ko*D		0.8 x 114.28	\$	91.42		\$	-	15%	\$	13.71
<b>Suma Cargos Fijos</b>			<b>\$</b>	<b>272.74</b>		<b>\$</b>	<b>181.32</b>		<b>\$</b>	<b>97.89</b>
<b>II.- CONSUMOS</b>										
a). COMBUSTIBLE.....Co=Fc*Pop*Pc		0.1514x124x \$12.24	\$	229.79	5%	\$	11.49		\$	-
b).-Otras Fuentes de Energia		\$0.00 * 0	\$	-	5%	\$	-		\$	-
c). Lubricante.....Lb=[(Fa*Pop)+CC/Ca]*Pz		[(0.003x124)+36/150] x \$48lt	\$	29.38	5%	\$	1.47		\$	-
d). Llantas.....N=Ph/Vn		\$139,440.00/3,000	\$	46.48	15%	\$	6.97		\$	-
e). Piezas Especiales.....Ae=Pe/Va		\$00/0	\$	-		\$	-		\$	-
f).-Otros Consumos										
Descripcion		Unidad	Costo	Cantidad	*	Importe				
			\$	-						
			\$	-				<b>Suma: \$ -</b>		
			\$	-						
Suma de Otros Consumos			\$	-	5%	\$	-		\$	-
<b>Suma de Consumos</b>			<b>\$</b>	<b>305.65</b>		<b>\$</b>	<b>19.93</b>		<b>\$</b>	<b>-</b>
<b>III.- OPERACIÓN</b>										
<b>CATEGORIA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>SALARIO REAL</b>	<b>IMPORTE</b>						
MO093 OPERADOR DE MAQUINARIA	8.000000	JOR	\$ 630.07	\$	78.76					
			\$	-	\$	-				
			\$	-	\$	-	<b>Sr= \$ 630.07</b>			
			\$	-	\$	-				
<b>Suma de Operación Po=S/Ht</b>			<b>\$78.76</b>	<b>100%</b>	<b>\$78.76</b>	<b>100%</b>	<b>\$78.76</b>			
<b>COSTO DIRECTO HORA - MAQUINARIA</b>			<b>\$</b>	<b>657.15</b>	<b>\$</b>	<b>280.01</b>	<b>\$</b>	<b>176.65</b>		



DATOS GENERALES										
<b>CAMION PIPA DE 9 M3</b>			Tipo de Combustible: GASOLINA							
			% Tasa de Interes Anual:		12%					
			% Prima Anual Promedio de Seguros:		4%					
PRECIO DE ADQUISICION	\$	614,790.00	VIDA ECONOMICA EN AÑOS:				5			
PRECIO JUEGO LLANTAS (Ph)	\$	9,600.00	HORAS POR AÑO (Hea):				2000 Hrs			
EQUIPO ADICIONAL:	\$	-	VIDA ECONOMICA (Ve):				10000 Hrs			
VIDA ECONOMICA DE LLANTAS (Juego) (Vn)		2000.00 hrs	COSTO COMBUSTIBLE (Pc):				11.7 /Lts			
PRECIO PZAS ESPECIALES (Pe)	\$	-	COSTO LUBRICANTE (Pa):				48 /Lts			
VIDA ECONOMICA PZAS ESPEC (Va)		hrs	POTENCIA NOMINAL:				90 HP			
VALOR DE LA MAQUINA (Vm)	\$	614,790.00	FACTOR DE OPERACIÓN (Fo):				0.85			
VALOR DE RESCATE (Vr)		20% \$ 122,958.00	POTENCIA DE OPERACIÓN (Pop):				76.5			
TASA DE INTERES ANUAL (i)		12.0000%	FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko):				0.8			
PRIMA ANUAL PROMEDIO DE SEGUROS (s)		4%	COEFICIENTE COMBUSTIBLE (Fc):				0.2271			
SALARIO REAL DEL OPERADOR (S)	\$	630.07	COEFICIENTE LUBRICANTE (Fa):				0.0035			
COSTO POR SALARIO DE OPERACIÓN (Po)	\$	78.76	CAPACIDAD DEL CARTER (CC):				18 Lts			
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (t)		8 hrs	FACTOR DE RENDIMIENTO (Fr):				1			
TIEMPO ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE (Ca)		200.00 hrs	CONSUMOS ENTRE CAMBIO DE LUB (Ga= CC/Ca):				0.0900			
<b>I.- CARGOS FIJOS</b>		<b>OPERACIONES</b>		<b>ACTIVA</b>	<b>%</b>	<b>ESPERA</b>	<b>%</b>	<b>RESERVA</b>		
a).- DEPRECIACION.....D=(Vm-Vr)/Ve		(\$614,790.-\$122,958.)/10,000.00	\$	49.18	100%	\$	49.18	15%	\$	7.38
b).- INVERSION.....Im=(Vm+Vr)*i/2Hea		(\$614,790.+\$122,958.)x12.0000%/(2x2000)	\$	22.13	100%	\$	22.13	100%	\$	22.13
c).- SEGUROS.....Sm=(Vm+Vr)*s/2Hea		(\$614,790.00+\$122,958.00)x4.00%/(2x2000)	\$	7.38	100%	\$	7.38	100%	\$	7.38
d).- MANTENIMIENTO.....M=Ko*D		0.8 x 49.18	\$	39.34		\$	-	15%	\$	5.90
<b>Suma Cargos Fijos</b>			<b>\$</b>	<b>118.03</b>		<b>\$</b>	<b>78.69</b>		<b>\$</b>	<b>42.79</b>
<b>II.- CONSUMOS</b>										
a). COMBUSTIBLE.....Co=Fc*Pop*Pc		0.2271x76.5x \$11.7	\$	203.27	5%	\$	10.16		\$	-
b).-Otras Fuentes de Energia		\$0.00 * 0	\$	-	5%	\$	-		\$	-
c). Lubricante.....Lb=[(Fa*Pop)+CC/Ca]*Pc [(0.0035x76.5)+18/200] x \$48lt			\$	17.17	5%	\$	0.86		\$	-
d). Llantas.....N=Ph/Vn		\$0.00/2,000	\$	-	15%	\$	-		\$	-
e). Piezas Especiales.....Ae=Pe/Va		\$00/0	\$	-		\$	-		\$	-
f).-Otros Consumos										
Descripcion		Unidad	Costo	Cantidad	*	Importe				
LLANTAS CAMION PIPA DE 9 M3		JGO	\$ 9,600.00	0.000500	*	\$4.80				
			\$ -	-			<b>Suma:</b>		<b>\$</b>	<b>4.80</b>
			\$ -	-						
Suma de Otros Consumos			\$	4.80	5%	\$	0.24		\$	-
<b>Suma de Consumos</b>			<b>\$</b>	<b>225.24</b>		<b>\$</b>	<b>11.26</b>		<b>\$</b>	<b>-</b>
<b>III.- OPERACIÓN</b>										
<b>CATEGORIA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>SALARIO REAL</b>	<b>IMPORTE</b>						
MO093 OPERADOR DE MAQUINARIA	8.000000	JOR	\$ 630.07	\$	78.76					
			\$ -	\$	-					
			\$ -	\$	-	<b>Sr= \$</b>		<b>630.07</b>		
			\$ -	\$	-					
<b>Suma de Operación Po=S/Ht</b>			<b>\$78.76</b>	<b>100%</b>	<b>\$78.76</b>	<b>100%</b>	<b>\$78.76</b>			
<b>COSTO DIRECTO HORA - MAQUINARIA</b>			<b>\$</b>	<b>422.03</b>		<b>\$</b>	<b>168.71</b>		<b>\$</b>	<b>122.27</b>



---

## 5.2 Rendimientos

Como ya se mencionó, el rendimiento es la cantidad de trabajo que se puede realizar por un tiempo determinado, para el caso de la maquinaria se determina por hora. Las unidades de rendimiento pueden ser m/h, m<sup>2</sup>/h y m<sup>3</sup>/h.

Los factores que afectan el rendimiento de una maquina por lo general son los siguientes:

Demoras de rutina.

- Restricciones en la operación óptima
- Condiciones del sitio
- Por la mala dirección y supervisión
- Por la actuación del contratante
- Demoras de rutina

Demoras inevitables.

- Abastecimiento de combustible y lubricante
- Pequeños mantenimientos de rutina
- Factor humano: cansancio y necesidades.

Condiciones del sitio

- Condiciones físicas: topografía, geología, humedad del terreno, altura sobre el nivel del mar.
- Condiciones climáticas: temperatura, lluvias, época del año.
- Condiciones de aislamiento, vías de comunicaciones, tiempos para abastecimiento.
- Condiciones de adaptación: para resolver las condiciones anteriores, dependencia de otros equipos

Por la dirección y supervisión:

- Planeación, organización y operación de la obra.
- Conocimiento y experiencia del responsable de planear la construcción.
- Vigilancia y conservación de la maquinaria.
- Suministro de materiales y personal.
- Ubicación de los talleres.



## Métodos para conocer el rendimiento

Existen tres métodos para conocer el rendimiento de la maquinaria de construcción, la mejor manera de conocer el rendimiento de una maquina la determina la experiencia.

- Por observación directa

Es la medición física de los volúmenes de materiales movidos durante la unidad de tiempo, generalmente la hora. Este método es conveniente aplicarlo en los terraplenes de prueba o en la misma obra, observando con atención el ciclo de trabajo de la máquina y así poder documentarlo.

- Por medio de reglas o fórmulas

Por medio de reglas o fórmulas se calcula la cantidad de material que se mueve en cada ciclo y se multiplica por los ciclos que se realizan en una hora.

$$\text{Rendimiento horario} = (\text{m}^3/\text{ciclo}) (\text{ciclos/hora})$$

$$\text{m}^3/\text{ciclo} = \text{capacidad} \times \text{factor de corrección}$$

Existen diferentes reglas o fórmulas para cada tipo de maquinaria dependiendo de su capacidad, velocidad y características especiales de cada máquina.

- Por medio de tablas proporcionadas por el fabricante

Por medio de tablas proporcionadas por el fabricante, los fabricantes cuentan con manuales donde proporcionan los rendimientos teóricos para determinadas condiciones de trabajo. Es importante tomar en cuenta que generalmente se basan en un 100% de eficiencia. También proporcionan tablas de ajuste por el material, operador, altitud, giro entre otros factores.

## Rendimientos reales

Es importante llevar acabo un control grafico de los avances de la obra, así como, por medio de los levantamientos topográficos, con los cuales además se verificaran los niveles de las capas terminadas, estos reportes son preferibles hacerlos semanalmente. Nos aproximaran más a la realidad y podremos conocer cuáles son los rendimientos más aceptables.



---

## Conclusiones

A lo largo de este trabajo se describió la importancia que tiene el procedimiento constructivo en pavimentos, ya que no solo las deficiencias del proyecto afectan el resultado final, sino que gran parte la etapa de construcción determina la funcionalidad de las vías terrestres. Una vía mal ejecutada en la construcción, pronto presentará problemas en su funcionamiento.

Como se señaló, las bases y sub-bases tienen una gran repercusión en el comportamiento del pavimento, puesto que son las encargadas de transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito hacia el terreno de cimentación y de permitir el drenaje del agua que se introduce a través de la carpeta o por los acotamientos, así como impedir el ascenso capilar, el cual ocasiona diversas fallas en la superficie.

Uno de los mayores problemas por los cuales se presentan estas fallas, es por la mala construcción de dichas bases y sub-bases, por lo que es importante conocer y realizar un buen procedimiento constructivo de ellas.

Se deben tener en cuenta, además, algunos aspectos importantes que repercuten en la calidad y funcionamiento de la obra.

Uno de ellos es la calidad de los materiales. Se observó en las visitas de campo, que no siempre se realizan las pruebas necesarias, tanto en campo como laboratorio, como lo marca la normativa para calidad de materiales. Con estas pruebas darán pauta para la aceptación, rechazo o corrección del material. Esta es una de las principales causas por la cual existen fallas en el pavimento.

Mediante el resultado de las encuestas, se observó que la mayoría de los residentes realiza los trabajos de compactación de manera empírica. Mediante observación, consideran el porcentaje de humedad del material y agregan agua a su criterio; asimismo, también ejecutan el número de pasadas del compactador, observando el material, si aún tiene espacios de aire entre sus partículas o está cerrado, para definir si ha llegado al grado de compactación requerido. Esta práctica debería estar inspeccionada por la supervisión y el laboratorio, quienes son los responsables de indicar los contenidos de humedad y número



---

de pasadas del compactador. La baja compactación en los materiales de base y sub-base, es una de las causas más graves de fallas en la estructura del pavimento, ya que origina que después del paso del tránsito, existan reacomodos en el material que ocasionen asentamientos diferenciales severos.

Durante la revisión de la normativa vigente de la SCT, se observó que no todas las normas relacionadas con bases y sub-bases se encuentran en la designación descrita, en particular las normas de *métodos de muestreo y prueba de materiales (MMP)*, ya que si se pretende buscar las normas referidas a esta clasificación no se encontrarán, aunque éstas si aparecen para terracerías o materiales asfálticos.

En México no se tiene una cultura de seguridad en este tipo de obras, por muy sencillas que parezcan. Es necesario tener una gestión de seguridad en la obra, ya que de las visitas observadas solo una contaba con la seguridad necesaria tanto para trabajadores como operadores.

Con este trabajo se logró observar y conocer de manera general, los puntos más importantes del procedimiento constructivo de bases y sub-bases que repercuten directamente en el funcionamiento del pavimento, entre los cuales están principalmente la revisión de la calidad de los materiales y las pruebas que ello implica, así como, el grado de compactación.

Con la elaboración de esta tesis se pretende dar información de utilidad para aquellos pasantes e ingenieros que laboran en el campo de las vías terrestres, y requieren alguna revisión rápida y útil de lo que implica un procedimiento constructivo para bases y sub-bases. Es importante señalar que en la actualidad las sub-bases granulares están perdiendo utilización, ya que se prefiere estabilizar la capa subrasante con material asfáltico, evitando así el costo de la sub-base. Sería importante hacer un análisis de los costos y beneficios de esta práctica.



---

## Recomendaciones

1. Revisar a fondo el proyecto y sus especificaciones técnicas, para poder planear y realizar un buen procedimiento constructivo; cualquier duda u observación debe aclararse al inicio de la obra.
2. Es importante realizar los trabajos preliminares para la selección de bancos de material como se menciona en el capítulo 4.1, teniendo en cuenta los aspectos a considerar para la selección del banco como son: calidad, accesibilidad, facilidad de explotación, volumen disponible, tratamiento y costos.
3. Conocer las características de los materiales dependiendo las condiciones climáticas, el tránsito local y el terreno donde se llevara a cabo la construcción del pavimento. Conociendo estas características, se puede determinar el tipo de maquinaria y materiales más eficientes en las operaciones que se realizarán dentro de los procedimientos constructivos. También se podría determinar el tratamiento a utilizar para el mejoramiento de la calidad de los materiales, en el supuesto caso de que no se encontraran en esa zona los materiales con la calidad requerida.
4. Conocer la normativa vigente, así como leyes y reglamentos del lugar.
5. Revisar los trabajos de topografía. Esto implica que el alineamiento, el perfil y las secciones de la sub-base o la base, deben cumplir con lo establecido en el proyecto, así como con las tolerancias de ancho de corona y niveles que marca la normativa.
6. Los requisitos de humedad y peso volumétrico para bases son determinados a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio que se hacen para este objeto. Los requisitos de espesores se determinan tomando como fundamento las pruebas de resistencia.
7. Se deben realizar los estudios correspondientes a bases y sub-bases para conocer si el material cumple con las características especificadas en la normativa para fungir como tal.
8. Fomentar la práctica de un buen control de calidad.
9. Tener conocimiento de las pruebas de laboratorio como de campo, sus objetivos y valores que se obtienen.



10. Es importante realizar los terraplenes de prueba necesarios para valorar la eficiencia de los equipos.
11. Conocer los rendimientos de los equipos utilizados como son los compactadores y motoconformadoras, así como sus costos.
12. Elaborar un programa de control de calidad.
13. La calidad de la obra es responsabilidad del contratista. Por esto, es necesaria la evaluación oportuna y confiable de la calidad de los materiales para permitirle al constructor corregir desvíos y afinar el procedimiento oportunamente. Un control de calidad eficiente asegura la adecuada inversión de los recursos económicos, el mayor aprovechamiento de los insumos, y la satisfacción de los usuarios.





---

## BIBLIOGRAFÍA

- Montejo Fonseca, Alfonso  
Ingeniería de pavimentos, Fundamentos, estudios básicos y diseño  
Editorial Universidad Católica de Colombia, Edición 3<sup>ra</sup>, 2008
- Olivera Bustamante, Fernando  
Estructuración de vías terrestres  
Editorial CECSA, México, 1986
- Rico Rodríguez Alfonso, Del Castillo Hermilo  
La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas  
Vol I, Editorial Limusa, 1977
- Rico Rodríguez Alfonso, Del Castillo Hermilo  
La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas  
Vol II, Editorial Limusa
- Arquie, Georges  
Compactación en carreteras y aeropuertos
- Hewes, Laurence Ilsley, H. Oglesby Clarkson  
Ingeniería de carreteras, Editorial Continental S.A de C.V., México 2<sup>a</sup> Edición
- M. Julián  
Costos y empleo de equipo de construcción en vías terrestres
- Crespo Villalaz, Carlos  
Vías de comunicación, caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.  
Editorial Limusa, 3<sup>ra</sup> Edición.
- Secretaria de Comunicaciones y Obras Publicas  
Especificaciones generales de construcción, partes primera, segunda, tercera y cuarta, México 1957.
- Reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas
- Normativa para la infraestructura del transporte, carreteras SCT



# ANEXOS



Formato de encuesta



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TEMA: ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE BASES GRANULARES PARA  
PAVIMENTOS FLEXIBLES

E N C U E S T A

**Objetivo:** Conocer los tipos de problemas más comunes que se presentan durante la construcción de bases granulares así como sus posibles causas, soluciones y control de calidad.

Puesto o Cargo: \_\_\_\_\_

Experiencia laboral: \_\_\_\_\_

Obra: \_\_\_\_\_

Favor de contestar el siguiente cuestionario

**1.- ¿Cuál es la clasificación del camino de acuerdo al tránsito diario promedio anual (TDPA)?**

Camino Tipo A (3,000 a 20,000 vehículos)

Camino Tipo D (100 a 500 vehículos)

Camino Tipo B (1,500 a 3,000 vehículos)

Camino Tipo E (hasta 100 vehículos)

Camino Tipo C (500 a 1,500 vehículos)

**2.- ¿Se realizó algún estudio al terreno de cimentación, previo a la ejecución de la obra?**



**3.- ¿Qué tipo de pruebas se aplicaron o aplican a la base hidráulica?**

Peso volumétrico seco suelto	Equivalente de arena
Granulometría	Prueba de valor cementante
Densidad	Prueba VRS estándar
Absorción	Límites de consistencia
Peso volumétrico seco en el lugar	Grado de compactación
Otra: _____	

**4.- ¿A qué intervalos de distancia se aplican las pruebas mencionadas?**

**5.- El tipo de material de base que se está empleando es un material:**

Natural      Cribado      Parcialmente Triturado      Totalmente Triturado      Mezclado

**6.- ¿Qué equipo de compactación se utilizó en obra y cual fue el número de pasadas aproximadas para la compactación de la base?**

**7.- ¿Tiene algún método utilizado en obra para garantizar el grado de compactación y la humedad optima?**

**8.- ¿Cuánto tiempo aproximadamente se riega la base y como se controla la humedad?**



**9.- ¿Durante el proceso constructivo de bases hidráulicas, que tipo de problemas se presentan con mayor frecuencia, cuál es la causa principal de éstos y su posible solución?**

Baches

Causales: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Bufamientos

Causales: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Contaminación con material de terracerías

Causales: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

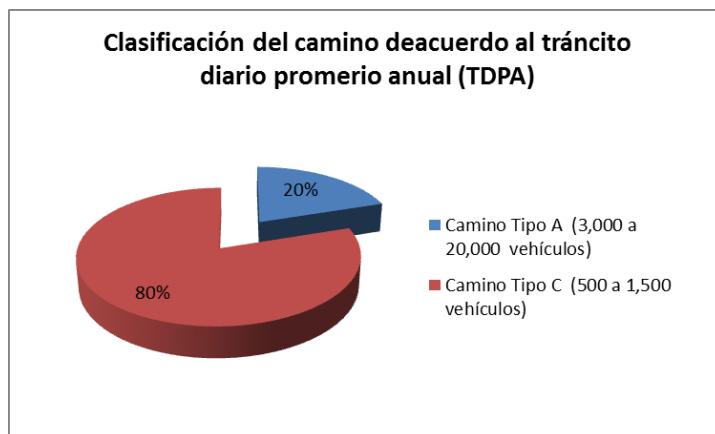
Otro: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**10.- ¿Cuáles son los aspectos constructivos más importantes que deben cuidarse durante el procedimiento constructivo para obtener una base de calidad?**

## Análisis de las encuestas

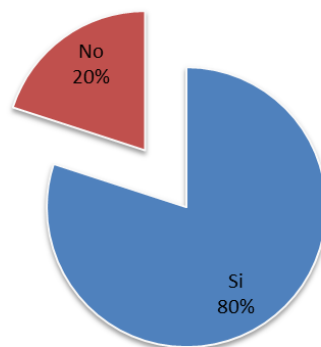
La encuesta se aplicó a cinco obras dentro del país con el objetivo de conocer algunos aspectos constructivos que se presentan en el sitio de la obra por lo que este análisis no tiene ningún fin estadístico.

### 1.- ¿Cuál es la clasificación del camino de acuerdo al tránsito diario promedio anual (TDPA)?



Las encuestas realizadas se aplicaron en su mayoría a caminos tipo C, ya que fueron las obras más cercanas que se encontraban en la etapa de construcción de base hidráulica y en las que la SCT nos permitió el acceso.

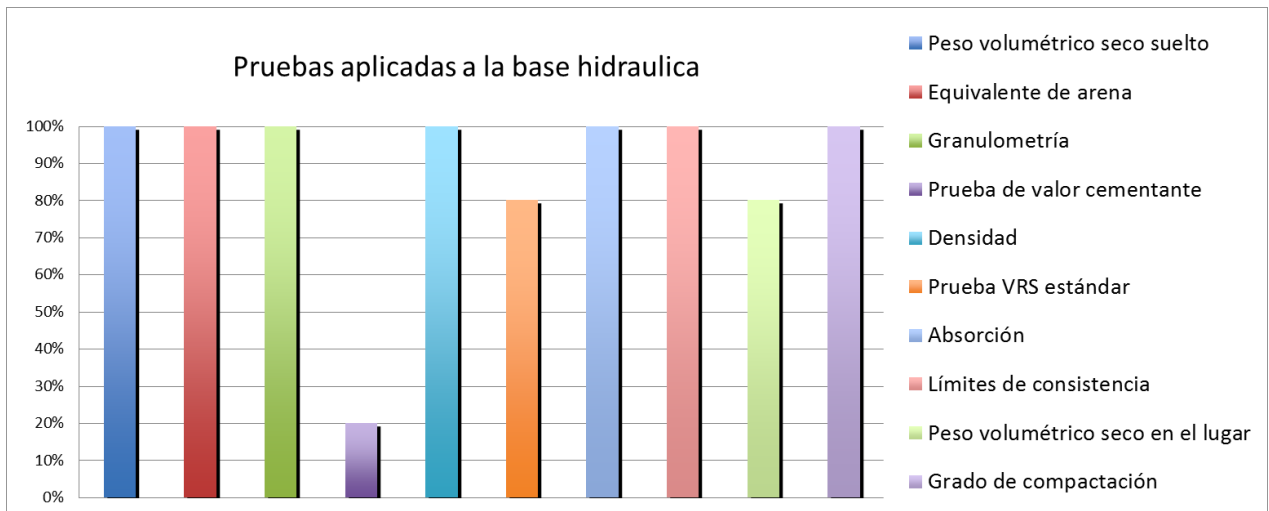
### 2.- ¿Se realizó algún estudio al terreno de cimentación previo a la ejecución de la obra?



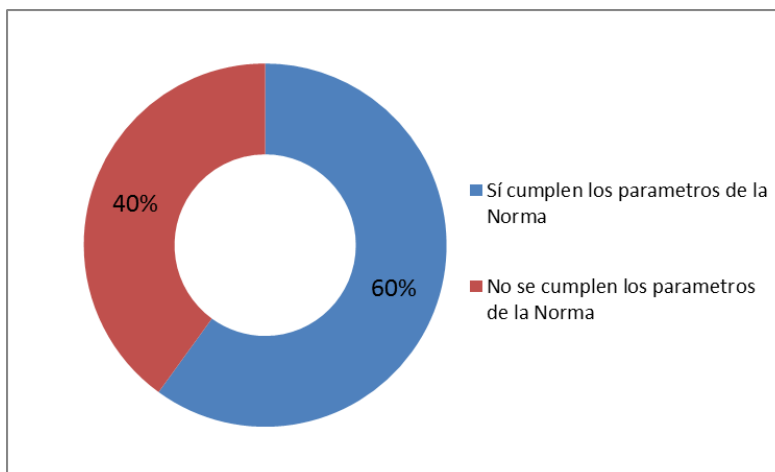
En la mayor parte de las obras encuestadas se realizaron estudios de mecánica de suelos previos a la ejecución de la obra, aunque lamentablemente existen obras donde no se realiza ningún tipo de estudio al terreno de cimentación, por lo que se pueden generar diversos problemas posteriores a la construcción.

### 3.- ¿Qué tipo de pruebas se aplicaron o aplican a la base hidráulica?

En las obras visitadas se cumplió con la mayoría de las pruebas que marca la normativa, observando que la prueba de valor cementante es la menos aplicada actualmente, ya que el valor cementante se obtiene con los límites de consistencia.

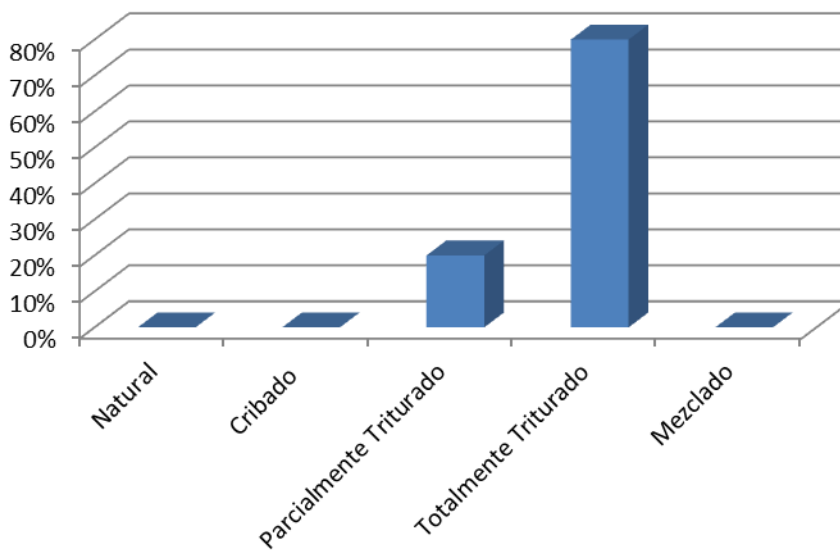


### 4.- ¿A qué intervalos de distancia se aplican las pruebas mencionadas?



La norma indica que se deben realizar a cada 400 m<sup>3</sup> y para compactaciones a cada 50 m, se observó que no todas las obras cumplen con los parámetros de distancia que marca la normativa.

### 5.- El tipo de material de base que se está empleando es un material:



La normativa indica que se puede utilizar cualquier tipo de material siempre y cuando cumpla con los requisitos de calidad especificados en la norma N-CMT-4-02-002, en la mayoría de las obras visitadas utilizan material totalmente triturado.

### 6.- ¿Qué equipo de compactación se utilizó en obra y cuál fue el número de pasadas aproximadas para la compactación de la base?



El número de pasadas depende del espesor, el peso del equipo y las recomendaciones del laboratorio de control de calidad, por lo general se dan de 8 a 10 pasadas con equipo de compactación liso vibratorio.

### 7.- ¿Tiene algún método utilizado en obra para garantizar el grado de compactación y la humedad optima?

Se observó que algunos residentes utilizan métodos empíricos para garantizar el grado de compactación y humedad, como pueden ser por observación o utilizando la barra de laboratorio ésta se deja caer, si se marca en la base, significa que al material le hace falta compactación.

Evidentemente es necesario que el laboratorio obtenga del Peso Volumétrico Seco Máximo del material y su humedad óptima y para garantizar en campo el grado de compactación, se realiza la prueba de cono y arena.

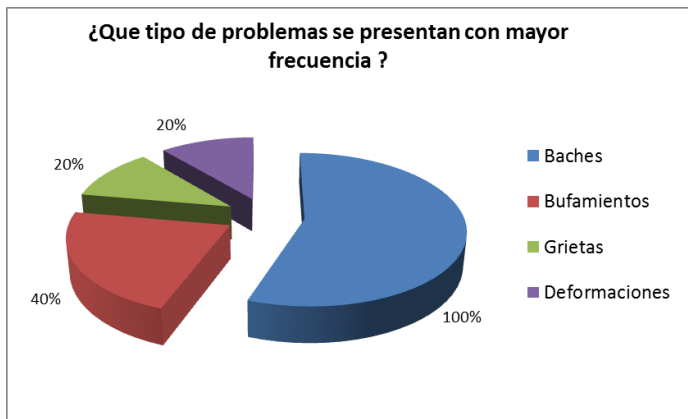


### 8.- ¿Cuánto tiempo aproximadamente se riega la base y como se controla la humedad?

La base se riega con la cantidad de agua necesaria para obtener la humedad óptima y ésta se controla obteniendo el peso del material por humedecer multiplicado por el porcentaje de humedad óptima para obtener los litros de agua a incorporar.

En las obras visitadas se observó que no siempre el riego se hace con los litros necesarios para garantizar la humedad óptima.

### 9.- ¿Durante el proceso constructivo de bases hidráulicas, que tipo de problemas se presentan con mayor frecuencia y cuál es la causa principal de éstos?



Se observó que los baches son los problemas que se presentan con mayor frecuencia ya que en todas las obras visitadas al menos una vez se presentó este problema. La causa principal es el exceso de humedad y mala calidad del material (presencia de arcillas), en el cap. 4.5 se aborda este tema.

### 10.- ¿Cuáles son los aspectos constructivos más importantes que deben cuidarse durante el procedimiento constructivo para obtener una base de calidad?

De las encuestas contestadas se concluyó que los aspectos más importantes a cuidar son la calidad de los materiales, la incorporación de humedad óptima, que el material de base no se contamine con capas inferiores, que se cuiden los niveles topográficos para evitar espesores bajos, que la compactación sea la adecuada de acuerdo a lo indicado por el control de calidad y asegurar que la base hidráulica tenga el soporte o cimentación adecuada.



# REPORTE FOTOGRAFICO

## REPORTE FOTOGRAFICO

Camino a Puga, km 129, Huahuachinango Puebla



Base hidráulica conformada



Compactación de subrasante



Compactación de subrasante



Hombro de base hidráulica



Trompo para nivel de base



Tendido de material de base

Camino Xilocuautla, km 132, Huahuachinango Puebla



Extendido con Motoconformadora



Afine de bombeo con Motoconformadora



Trompo para nivel de base



Base conformada

Autopista Uruapan - Los Reyes, tramo Angagua - Zacan, Michoacán



Extendido de base



Sub-base conformada



Hombro de base compactada



Base compactada