

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

37
2EJ

FACULTAD DE INGENIERIA



CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE
PAVIMENTOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

EDITH MARTINEZ ROSETE

CARLOS ADRIAN CARRILLO GUEVARA

FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1995

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-090/93

Señores
CARLOS ADRIAN CARRILLO GUEVARA
EDITH MARTINEZ ROSETE
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. JOSE MARIO AVALOS HERNANDEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS"

- I. INTRODUCCION
- II. GENERALIDADES
- III. TIPOS DE PAVIMENTOS
- IV. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS
- V. CONTROL DE CALIDAD
- VI. CONTROL DE OBRA
- VII. MANTENIMIENTO
- VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 28 de octubre de 1994.
EL DIRECTOR.

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

u. JMCS/RCR*nl1

DEDICO ESTA TESIS A MIS PADRES:
SR. SAUL MARTINEZ.
SRA. TERESA ROSETE.

DEDICO ESTA TESIS A MIS PADRES

ARQ. MARIO MODAK S.
LIC. ANDREA GUEVARA.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIAS	3
CAPITULO I	
INTRODUCCION	11
CAPITULO II	
GENERALIDADES	
2.1 Generalidades	15
2.1.1 El terreno de desplante	17
2.1.2 Las obras de drenaje	17
2.1.3 Las terracerías	17
2.1.4 El pavimento	18
2.2 Principales diferencias entre los pavimentos de los aeropuertos y caminos	21
2.2.1 Intensidad de carga	22
2.2.2 Presión en las llantas	23
2.2.3 Frecuencia de tránsito	23
2.2.4 Pavimentos diferenciales	24
2.2.5 Rugosidad	24
2.2.6 Operación	25
2.3 Materiales para pavimentos	26
2.4 Criterios de selección de pavimentos	26
2.4.1 Criterios técnicos	27
2.4.2 Criterios económicos	27

CAPITULO III

TIPOS DE PAVIMENTOS	30
3.1. Pavimentos rígidos	31
3.1.1 Elementos que constituyen un pavimento rígido	31
3.1.2 Sub-base del pavimento rígido	32
3.2 Pavimentos flexibles	33
3.2.1 Carpeta asfáltica	34
3.2.2 Base	36
3.2.3 Sub-base	37
3.2.4 Subrasante	37
3.3 Métodos de diseño	38
3.3.1 Limitaciones de los métodos de diseño	40
3.3.2 Prueba AASHO	42
3.3.3 Variables de diseño	44

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS	
4.1 Trabajos preliminares	51
4.1.1 Desmonte	51
4.1.2 Despalme	52
4.1.3 Cortes someros	53
4.2 Terracerías	53
4.2.1 Cortes	54
4.2.2 Compactación del terreno natural	55
4.2.3 Formación de terraplenes	56
4.2.4 Problemas en la construcción de terraplenes	59
4.2.5 Equipo empleado	61
4.2.6 Control de calidad de la compactación	63
4.2.7 Bancos de préstamo para terracerías	65
4.2.8 Erosiones y su tratamiento	66

4.2.9	La capa subrasante	67
4.3	Drenajes	71
4.3.1	Subdrenaje	71
4.3.2	Subdrenaje con fibras artificiales	72
4.3.3	Drenajes de superficie	73
4.3.4	Obras de drenaje especiales	75
4.4	Bancos de préstamo para pavimentos	76
4.4.1	Control de calidad de los materiales para pavimentos	79
4.4.2	Capas de sub-base y base hidráulica	80
4.4.3	Equipo empleado	82
4.5	Bases y riegos	83
4.5.1	Riego de impregnación	83
4.5.2	Bases mejoradas	88
4.5.3	Bases estabilizadas	89
4.5.4	Riego de liga	93
4.6	Carpetas asfálticas	94
4.6.1	Mezclas frías	110
4.7	Carpetas de concreto Hidráulico	111
4.8	Sellos	129
4.9	Señalamiento	129
4.10	Fotografías	133
CAPITULO V		
CONTROL DE CALIDAD		143
5.1	Sistemas de muestreo	145
5.1.1	Plan de muestreo estadístico	145
5.1.2	Tablas de números aleatorios	146

5.2	Cartas de control	150
5.2.1	Cartas de control para características medibles	154
5.2.2	Cartas de control para características contables	158
5.2.3	Cartas a base de medidas móviles	160
5.2.4	Comentarios a las cartas de control	161
5.3	Control de calidad en aeropuertos	162
5.3.1	Etapa preventiva	163
5.3.2	Etapa de verificación	163
5.3.3	Etapa de historia	164

CAPITULO VI

CONTROL DE OBRA

6.1	Control de obra	166
6.2	Organigrama de residencia	178
6.3	Metodología	179
6.3.1	Avance físico en porcentaje	180
6.3.2	Formato de presentación	181

CAPITULO VII

MANTENIMIENTO

		183
7.1	Estudios especiales	185
7.2	Fallas en los pavimentos	186
7.3	Prácticas de mantenimiento de pavimentos	191
7.3.1	Tipos de mantenimiento	192

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 204

BIBLIOGRAFIA 206

CAPITULO I

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El desarrollo de la red carretera de México es una necesidad primordial en nuestros días, ya que presta gran servicio al desarrollo económico del país, por lo cual la construcción y el mantenimiento de pavimentos es importante para satisfacer las necesidades de contar con una red de transporte que sea eficiente y a la vez operable.

Durante los últimos años la construcción de carreteras tuvo un auge importante, ya que el impulso dado por compañías privadas en las carreteras que fueron concesionadas, dando al país más kilómetros de carreteras que ayudarán al la comunicación y al impulso económico.

En nuestro país en el pasado se le dio poca importancia a la conservación de la red carretera por cuestiones económicas, pero apartir de la concesión de caminos surge la necesidad de no solo construir apropiadamente, siguiendo normas de calidad durante la construcción, sino también la necesidad de dar el mantenimiento requerido para conservar dichos caminos en condiciones satisfactorias para la circulación de los mismos.

En este trabajo se presentan recomendaciones para la construcción y el mantenimiento de dichas vías, así como todos lo elementos que se encuentran implícitamente relacionados con las mismas.

Este trabajo surge de la inquietud de contar con una referencia práctica para los alumnos de la Facultad de Ingeniería que comienzan a trabajar, sin ninguna experiencia en la construcción y conservación de pavimentos.

En el capítulo dos se presentan los elementos fundamentales de toda vía terrestre, los materiales, criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles.

El capítulo tres está enfocado a los dos tipos de pavimentos que se utilizan en la construcción de carreteras, calles, aeropistas en nuestro país. En este capítulo se menciona con más detalles los elementos que constituyen cada tipo de pavimento y se mencionan los criterios de diseño de pavimentos flexibles, así como las diversas pruebas a las que son sometidos dichos pavimentos, se menciona lo anterior solo para pavimentos flexibles, ya que son los más comunes y empleados en nuestro país.

En el capítulo cuatro se mencionan los procedimientos constructivos para los dos tipos de pavimentos y hacemos recomendaciones sobre situaciones comunes con el fin de evitarlas o proponer ciertas soluciones a dichos problemas, no se incluye en este capítulo el criterio de selección de maquinaria, ya que este aspecto es estudiado ampliamente en la cátedra de movimiento de tierras, nos limitamos a mencionar el equipo que es empleado con regularidad y que está fácilmente disponible en el mercado.

En el capítulo cinco se menciona el tema de control de calidad y lo que está relacionado desde el punto de vista funcional, no se incluyen todas las normas con las que deben cumplir los pavimentos, ya que para esto existen publicaciones de la S.C.T., está enfocado básicamente al manejo de la información resultante de los muestreos realizados, información que es analizada estadísticamente y no solo puntualmente.

En el capítulo seis se toma el tema del control de obra, algo que es básico para la ejecución de una obra determinada, se analiza proponiendo que la planeación y el control de los re-

cursos empleados debe ser correctamente empleado y para esto se proponen diversos formatos de control de obra.

El capitulo siete esta dedicado al proceso de mantenimiento, en el que se menciona las practicas de mantenimiento de los dos tipos de pavimentos.

El capitulo ocho esta dedicado a las recomendaciones y conclusiones, tomando en cuenta que a lo largo de este trabajo se han hecho recomendaciones, que no se han querido dejar hasta el ultimo capitulo, sino que se han realizado de acuerdo al tema tratado.

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1 GENERALIDADES

Antes de hablar propiamente de lo que es la construcción y el mantenimiento, consideramos necesario analizar las partes que constituyen una carretera, una calle o pista, las interrelaciones y el funcionamiento.

Posteriormente hablaremos de los componentes de los pavimentos, cómo están constituidos así como de los criterios generales para la selección de pavimentos.

Los elementos que constituyen principalmente una obra vial son:

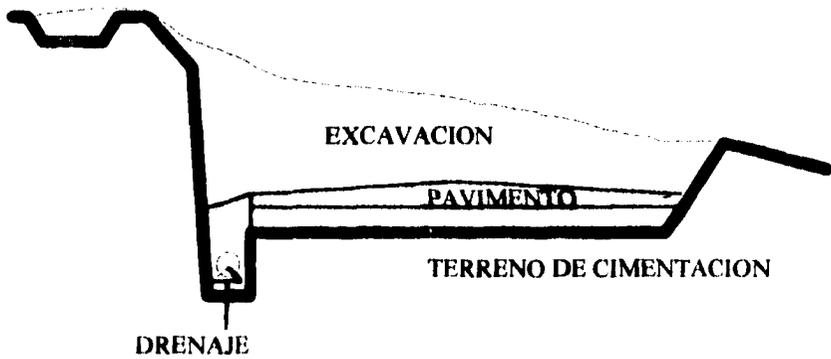
EL TERRENO DE DESPLANTE O CIMENTACION.

LAS OBRAS DE DRENAJE.

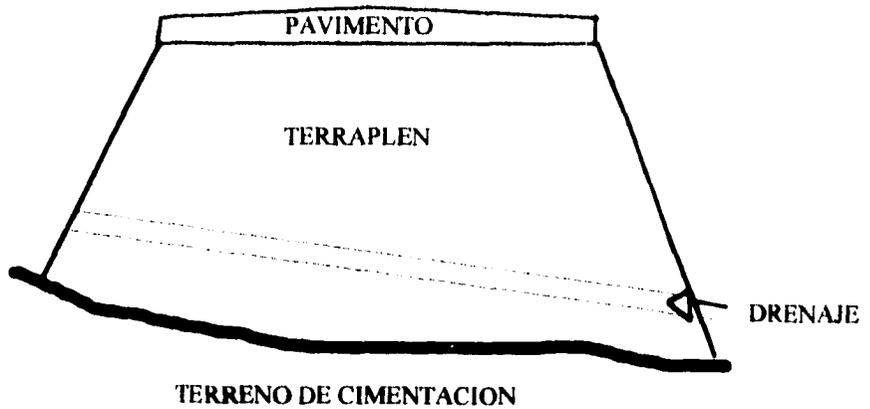
LAS TERRACERIAS.

EL PAVIMENTO.

TERRACERIAS EN CORTE



TERRACERIAS EN TERRAPLEN



2.1.1 EL TERRENO DE DESPLANTE.

El terreno de desplante o comúnmente llamado cimentación o subrasante natural, es la zona de la corteza terrestre en la cual queda apoyada toda obra vial y que es afectada por la misma. Como hablamos de una superficie de apoyo, entendemos que esta tiene una capacidad de soporte determinada, que debe ser tomada en cuenta para que no sea rebasada, del tal manera que las cargas que llegan hasta este nivel son disminuidas y repartidas por la estructura del pavimento y son de menor intensidad.

2.1.2 LAS OBRAS DE DRENAJE.

Son aquellas obras que tienen como objetivo la captación, conducción y desvío del agua superficial, o subterránea, cumpliendo con el objetivo de proteger a la estructura del pavimento y terracerías, de los daños que pudieran sufrir por el paso o la acumulación de este líquido, que como es conocido es el principal causante de fallas en los pavimentos y terracerías.

2.1.3 LAS TERRACERIAS.

Es el conjunto de movimientos de tierras sobre la superficie topográfica marcada en la ruta de la vía terrestre, pueden ser cortes o rellenos, con el fin de llegar al nivel de la subrasante natural, los cortes se efectúan retirando el material de la zona hasta llegar al nivel de la subrasante natural y los rellenos los obtenemos al depositar material en capas compactas hasta llegar al nivel de la subrasante.

2.1.4 EL PAVIMENTO.

Es la estructura consistente en una o más capas de materiales apropiados, cuya finalidad principal es la de proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito adecuado de los vehículos, distribuyendo convenientemente las cargas concentradas, de tal manera que la capacidad de soporte de las capas no se exceda.

El pavimento siempre deberá estar apoyado sobre una capa fundamental que se denomina capa subrasante, la cual a su vez se desplanta sobre las camas de corte o terraplén, que se les denominan terracerías.

A partir de la estructura con que usualmente se construyen los pavimentos y más específicamente la superficie de rodamiento o carpeta, estas estructuras se clasifican en:

Estructura rígida:

Consiste en una capa de rodamiento compuesta por una losa de cemento portland.

Estructura flexible:

Consiste únicamente en capas de materiales que no se han ligado ni tratado con ligantes de hidrocarburos.

Estructura semi rígida:

Comprende una capa tratado con ligantes de hidrocarburos.

Estructura compuesta:

Resulta del esfuerzo de una estructura rígida con una flexible o semi rígida.

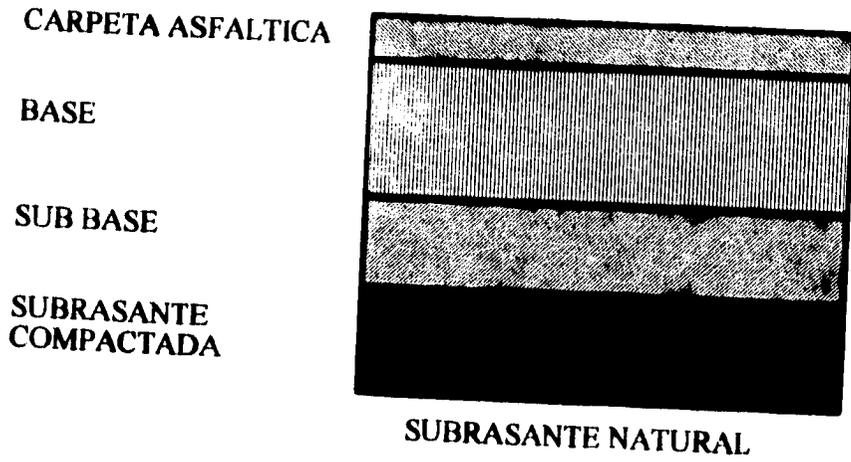
Por razones de simplificación, a continuación se hace una distinción solamente entre los tipos principales de pavimentos, que se citan en términos generales del modo siguiente:

RIGIDOS

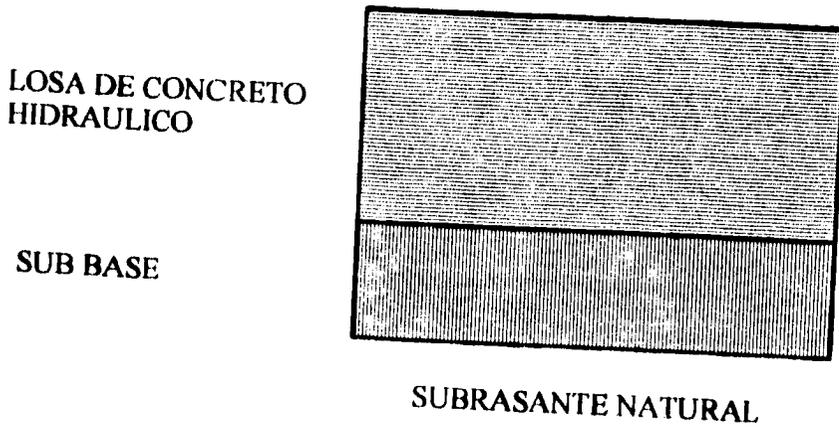
FLEXIBLES

Mismos que están formados por estructuras de apoyo diferentes, que se explicaran más adelante.

PAVIMENTO FLEXIBLE



PAVIMENTO RIGIDO



2.2 PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE LOS PAVIMENTOS DE LOS AEROPUERTOS Y LOS DE CARRETERAS

Es común el pensar que los pavimentos de los aeropuertos y los de las carreteras son iguales en sus condiciones de diseño y operación, con la salvedad que los vehículos que transitan en uno son diferentes a los que transitan en el otro.

La finalidad de los dos es la misma, proporcionar una superficie de rodamiento adecuada para el tránsito de vehículos y el de transmitir y distribuir la carga hasta llegar al terreno de cimentación.

Las diferencias aparecen entonces en la operación y el diseño, ya que por el tipo de vehículos que transitan en cada una de ellas, por ejemplo en la carreteras transitan vehículos con los ejes de las llantas cercanos a los extremos de los carriles, por cuestiones prácticas se trabajan y diseñan con espesores constantes, en los aeropuertos las aeronaves tienen ubicadas en diferentes posiciones y distancias los ejes de las ruedas, por lo que la superficie de contacto se carga hacia el centro de la pista y no a los extremos de determinados carriles.

Teniendo en cuenta la sustentación con la que cuentan las aeronaves al tomar contacto con la pista o la sustentación que adquieren las aeronaves conforme inician la operación de despegue, se pueden trabajar y diseñar espesores de pavimentos diferentes en áreas determinadas, por ejemplo el espesor de una calle de rodaje es diferente al espesor con el que cuenta el pavimento de la pista a la mitad de su longitud, siendo este último menor.

LAS PRINCIPALES DIFERENCIAS SON LAS SIGUIENTES:

INTENSIDAD DE CARGA.

PRESION EN LAS LLANTAS.

FRECUENCIA DE TRANSITO.

PAVIMENTOS DIFERENCIALES EN EL SENTIDO LONGITUDINAL.

CONDICIONES DE RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

CONDICIONES DE OPERACION.

2.2.1 INTENSIDAD DE CARGA.

Se define como la carga transmitida por rueda de los vehículos al pavimento. Los vehículos que transitan por una carretera son del orden de hasta 50 toneladas, los cuales incluyendo todo el número de llantas llegan a ser hasta 18, mientras que en los aeropuertos un avión con el mismo peso llega a tener únicamente 6 llantas, por lo que podemos deducir que la intensidad de carga es superior en los aeropuertos que en las carreteras, además de que se manejan aviones mucho más pesados llegando incluso el Boeing 747 a las 374 toneladas repartidas en 18 llantas

2.2.2 PRESION EN LAS LLANTAS.

Este concepto es consecuencia del anterior, la presión de inflado de un vehículo terrestre varía de los 1,69 kg/cm² a 5.62 kg/cm², en los aeropuertos los vehículos trabajan con presiones de llantas del orden de los 28.12 kg/cm², por lo que son mas rígidas.

2.2.3 FRECUENCIA DE TRANSITO.

En los aeropuertos por cuestiones de seguridad y transito aéreo, la separación de dos aviones sucesivo, bajo condiciones visuales, no puede ser inferior a la distancia que hay entre el umbral de aproximación de la pista y el punto donde el avión precedente la desocupe, es decir no pueden ocupar dos aviones al mismo tiempo la pista, en promedio en la ciudad de México se realiza una operación cada 1.5 minutos. Bajo condiciones de instrumentos la separación mínima se puede incrementar hasta 5 millas náuticas, lo anterior es suponiendo un trafico intenso, por cuestiones de seguridad en la mayoría de los aeropuertos del mundo la separación es mucho mayor, por lo que pueden pasar horas o minutos entre la separación de dos aviones.

Cuando hablamos de carreteras la separación que pudiera haber entre los vehículos que la transitan, depende de factores tales como el trafico, la velocidad de circulación, estos elementos nos pudieran dar como resultados en condiciones normales mas de 2000 vehículos por hora circulando en un carril como máximo, este a diferencia de los aeropuertos es mucho más intenso.

2.2.4 PAVIMENTOS DIFERENCIALES EN EL SENTIDO LONGITUDINAL.

Tomando como referencia el eje longitudinal de una carretera, el espesor de la superficie de rodamiento es constante, ya que la carga que debe soportar también lo es, a pesar de la velocidad y los efectos de impacto. En los aeropuertos, si tomamos la misma base (el eje longitudinal de la pista) tiene espesores variables, ya que como sabemos al adquirir velocidad las aeronaves para despegar o al iniciar el aterrizaje, los vehículos tienen sustentación en las alas, lo cual libera peso del tren de aterrizaje, por lo cual se deduce que la parte central de la pista no será utilizada como circulación, llegándose a reducir el espesor de la pista.

2.2.5 RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Es importante que la textura proporcionada por la superficie de rodamiento resulte favorable para los fines deseados, por los que deberá proporcionar un acabado uniforme, en los pavimentos rígidos se deberá tener cuidado al preparar las juntas entre las losas o los cortes que se hagan transversales a la losa, para que de tal modo un individuo circulando en su vehículo por la vialidad no perciba dichas uniones, ya que resulta incomodo.

Un punto importante es el coeficiente de rozamiento, ya que el frenado y la estabilidad de los vehículos dependen de ello. Este coeficiente puede ser afectado por condiciones naturales tales como lluvia, nieve, por condiciones accidentales tales como derrame de combustibles, aceites u otras impurezas o por condiciones de operación que es principalmente el desgaste de la superficie de rodamiento.

Dependiendo de la frecuencia de tránsito principalmente, al transcurrir el tiempo el coeficiente de rozamiento inicial baja, en los aeropuertos y principalmente en la zona donde los aviones tocan pista, dejan impregnada la superficie de rodamiento con un poco de caucho de las llantas, la cual al sumarse numerosos aterrizajes hacen que parezca una película sobre la superficie de rodamiento, la cual impide el correcto drenado de la pista haciéndola con la lluvia que aparezca el fenómeno de hidro planeo, que consiste en incrementar grandemente la distancia en la que se debería realizar el aterrizaje

2.2.6 OPERACION.

En tanto que la operación de una carretera esta determinada por la velocidad de circulación a lo largo de esta, en los aeropuertos no es así, ya que depende de las necesidades de sustentación o frenado de las aeronaves, en las carreteras es muy fácil modificar la circulación por efectos de accidentes o reparaciones de las mismas, mientras que en los aeropuertos no es así, ya que para efectuar alguna reparación se tiene que cerrar la pista por completo, lo cual obliga a que los pavimentos deben ser concebidos de tal manera que el deterioro por la intensidad de carga, la frecuencia de tránsito o el intemperismo no deterioren la superficie de rodamiento muy fácilmente o profundamente.

2.3 MATERIALES PARA PAVIMENTOS

MATERIALES PETREOS

ASFALTOS

CEMENTANTES

ADITIVOS

POLIMEROS

FIBRAS DE VIDRIO O DE ACERO

GEOSINTETICOS

2.4 CRITERIOS DE SELECCION DE PAVIMENTOS

Los dos tipos de pavimentos, rígidos y flexibles son elegibles en función de dos tipos de criterios:

CRITERIOS TECNICOS

CRITERIOS ECONOMICOS

2.4.1 CRITERIOS TECNICOS.

Se agrupan los relacionados al comportamiento del pavimento y deben analizarse.

CAPACIDAD ESTRUCTURAL

VIDA UTIL

REQUERIMIENTOS DE CONSERVACION

CARACTERISTICAS MECANICAS DE SUBSUELO

FACTORES AMBIENTALES

INTENSIDAD DE TRANSITO

MATERIALES DISPONIBLES

Para seleccionar el tipo de pavimento considerando el criterio técnico debemos considerar que los pavimentos flexibles son mucho menos sensibles a los hundimientos del suelo de cimentación que las losas de concreto (pavimentos rígidos).

En terrenos malos los espesores de pavimentos flexibles adquieren mucha importancia.

2.4.2 CRITERIOS ECONÓMICOS.

Estos se encuentran relacionados directamente con la economía de la obra, dentro de los cuales debemos considerar y analizar:

DISPONIBILIDAD DE FONDOS

INVERSION INICIAL

ANALISIS DE CONSTRUCCION POR ETAPAS

**COSTOS DE CONSERVACION CONTRA COSTOS DE RE-
CONSTRUCCION**

CONDICIONES DE OPERACION

DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

**NIVELES DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE RO-
DAMIENTO**

**NIVELES DE COMODIDAD DE LA SUPERFICIE DE RO-
DAMIENTO.**

CAPITULO III

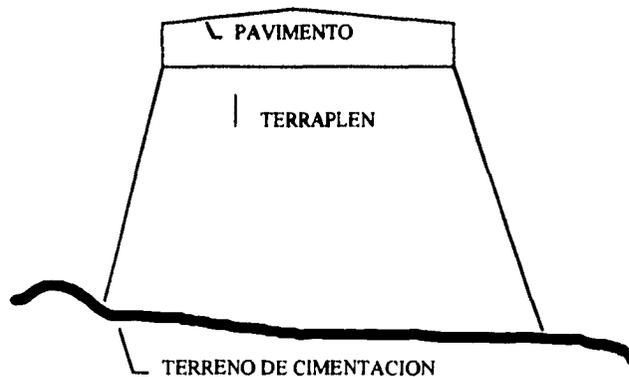
TIPOS DE PAVIMENTOS

TIPOS DE PAVIMENTO

La carretera es una estructura destinada a permitir el tránsito de vehículos, pudiendo considerarse constituida por tres elementos fundamentales:

1. PAVIMENTO
2. TERRACERIAS
3. SUELO DE CIMENTACION

Esquema de los elementos fundamentales:



El pavimento está formado por una o más capas de materiales especialmente procesados, que transmiten las cargas de los vehículos a las terracerias en condiciones adecuadas.

Puede ser de dos tipos:

1. **RIGIDO.**
2. **FLEXIBLE.**

3.1 PAVIMENTOS RIGIDOS

El pavimento rígido esta formado por capas de concreto hidráulico, simple o reforzado, que funciona como elemento estructural básico y como superficie de rodamiento.

Dependiendo de la capacidad de soporte del terreno de desplante se deberán apoyar sobre una sub-base o directamente sobre el terreno de cimentación.

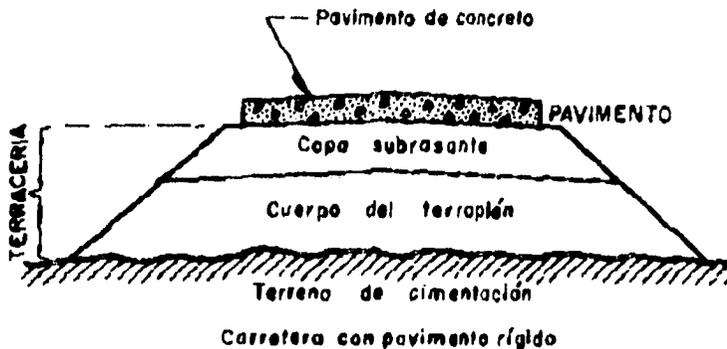
3.1.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN PAVIMENTO RIGIDO:

1. **Losas de concreto hidraulico.**

Forman la superficie de rodamiento así como la estructura misma del pavimento, tiene como función:

- a) Proveer una superficie adecuada de rodamiento.
- b) Absorber las inclemencias atmosféricas. protegiendo las capas subsecuentes.

- c) Distribuir adecuadamente las cargas ocasionadas por el tránsito de vehículos principalmente, de tal manera que no se exceda la capacidad de soporte de la subrasante.
- d) Resistir los efectos abrasivos del tránsito.



3.1.2 SUB-BASE DEL PAVIMENTO RIGIDO.

Es la capa que se encuentra debajo del pavimento, proporcionando una superficie uniforme de apoyo. Las funciones principales son las siguientes:

- a) Prevenir el fenómeno de bombeo, actuando como capa drenante.
- b) Proteger el pavimento contra la acción de las heladas.

- c) **Proporcionar a la losa una superficie uniforme de apoyo más resistente**
- d) **Facilitar la construcción de la misma**
- e) **Distribuir las cargas a la subrasante natural de manera uniforme**

Recordemos que un pavimento está constituido por toda la estructura que se encuentra colocada sobre la subrasante natural, cualquiera que sea el número de capas que forman dicha estructura, hasta llegar a la superficie de rodamiento.

Los pavimentos rígidos tienen la desventaja de que no pueden soportar deformaciones de las capas inferiores sin llegar a la falla estructural.

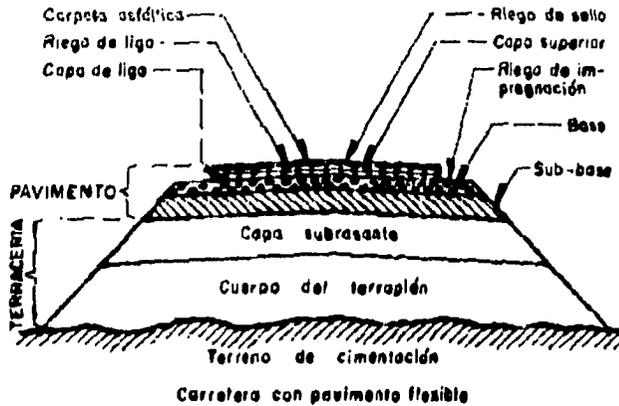
Este tipo de pavimento tiene un costo inicial elevado, requiere de poco mantenimiento y su vida útil es más larga que la de los pavimentos flexibles.

3.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los pavimentos flexibles están constituidos por una capa relativamente delgada que actúa como superficie de rodamiento, la carpeta asfáltica se apoya sobre una capa llamada base y esta a su vez sobre la capa llamada sub-base.

La sub-base se puede apoyar sobre una subrasante mejorada y esta a su vez sobre la subrasante natural o terreno natural

3.2.1 CARPETA ASFALTICA.



Esta carpeta proporciona la superficie de rodamiento uniforme y bien aglutinada de tal manera que no se le desprendan partículas que puedan dañar a los vehículos (principalmente en aeropuertos), con respecto a los materiales que lo forman, la carpeta esta constituida por agregados pétreos aglutinados con un producto asfáltico

Diferentes tipos de carpetas asfálticas:

1. Tratamientos superficiales.
2. Macadam asfáltico.
3. Mezcla en el lugar.
4. Mezcla en planta.
5. Concreto asfáltico.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

Son las carpetas asfálticas comprendidas por uno, dos, o tres riegos y por capas de materiales pétreos clasificados de mayor a menor, para aplicar el siguiente riego se deberá esperar hasta que la carpeta anterior sea planchada y barrida.

MACADAM ASFALTICO.

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste en capas sucesiva de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas.

MEZCLA EN EL LUGAR.

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes.

MEZCLA EN PLANTA.

La mezcla en planta con dosificación por volumen se lleva a cabo generalmente calentando el asfalto y muchas veces calentando al agregado pétreo. Como la dosificación de los agregados se hace por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser su control sea extremadamente riguroso. Debido a la incertidumbre en la dosificación, estas mezclas resultan casi

iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes, por lo que su uso no se ha generalizado.

CONCRETO ASFALTICO.

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad, por lo que son los más empleados.

El agregado pétreo se calienta entre los 135 grados centígrados y 177 grados centígrados en la planta antes de entrar en la mezcladora. Después de calentado el agregado se cribara en los tamaños especificados, que se depositaran en compartimientos, listos para ser mezclados con el cemento asfáltico.

Una vez calentados y separados los diversos tamaños de agregado, se procederá a pesarlos exactamente, proporcionando sus cantidades, de manera que la mezcla se ajuste a la granulometría especificada. El material pétreo dosificado se introduce en la mezcladora y a continuación se añade el cemento asfáltico para proceder al mezclado, la cantidad de cemento asfáltico se fija en el laboratorio, la mezcla deberá salir de la mezcladora con una temperatura comprendida entre los 135 y los 177 °C.

3.2.2 BASE.

Es la componente estructural más importante de una pavimento flexible, su función es soportar los altos esfuerzos impuestos por las cargas concentradas aplicadas en la superficie de rodamiento y distribuir las cargas a la capa subsecuente.

3.2.3 SUB-BASE.

Se considera como parte integral de la estructura de un pavimento flexible y sus características son similares a las de la base solo se diferencia en la capacidad de soporte que es menor que la de la capa que la precede.

La base y la sub base están formadas por agregados pétreos , debidamente procesados, de calidad adecuada y densificados por medios mecánicos (compactación).

Para mejorar sus características es recomendado el uso de aglutinantes tales como el cemento portland o la cal.

3.2.4 SUBRASANTE.

Esta capa es la interfase entre la sub base y el terreno de cimentación o subrasante natural, su función es distribuir las cargas a la subrasante natural, de tal modo que los esfuerzos concentrados que se transmiten por medio de los vehículos son absorbidos y distribuidos por toda la estructura del pavimento, de tal manera que al llegar a la subrasante natural no excedan su capacidad de soporte.

Los pavimentos flexibles tienen la principal ventaja de poder plegarse a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin llegar a la falla estructural, tienen un menor costo inicial pero requieren de un mayor mantenimiento.

3.3 METODOS DE DISEÑO

De manera breve explicaremos los métodos de diseño que se utilizan en la actualidad, los cuales pueden clasificarse en cuatro categorías:

1. Criterios empíricos:

En los cuales no utilizan pruebas de resistencia de la capa subrasante, el diseño se basa en la experiencia del tipo de pavimento requerido para cargas por eje y suelos similares. La identificación de los materiales se hace en pruebas de clasificación, tales como granulometría y límites de consistencia.

Dentro de esta clase quedan comprendidos los sistemas del índice de grupo del U.S. Highway Engineers y de la U.S. Federal Aviation Agency.

2. Métodos empíricos:

Son los que usan pruebas de resistencia de suelos. Las pruebas son generalmente del tipo de penetración o de carga y sólo son aplicables para su método de diseño asociado.

Uno de los sistemas más conocidos dentro de este grupo es el CBR, o valor relativo de soporte por el método de California. Existen muchas variantes en el criterio CBR, entre las cuales pueden mencionarse el método del US Army Corps of Engineers así como los procedimientos de Kentucky, Wyoming e Instituto de asfalto en Estados Unidos. En México, el método empleado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes también se basa en el CBR.

Los métodos, en desarrollo experimental, del comité de diseño AASHO y del instituto de asfalto también pertenecen a esa categoría.

3. Métodos basados parcialmente en teoría y en datos experimentales:

En la mayoría de los casos se determinen las características fundamentales esfuerzo deformación de la subrasante y de las diferentes capas del pavimento mediante pruebas de esfuerzo cortante, de carga o de vibración, aplicándose los resultados en combinación con alguna teoría de distribución de esfuerzos.

El método triaxial de Texas donde se aplica las envolventes de falla de Mohr, y los sistemas basados en la teoría de capas múltiples donde las constantes esfuerzo deformación se determinan experimentalmente, a través de pruebas estáticas de carga, de impacto o de vibración, son representativas de esta clasificación

4. Métodos teóricos:

Basados en estudios que relacionan las características estructurales del pavimento con los esfuerzos y las deformaciones de las diferentes capas de la estructura. Estos criterios son la base para el desarrollo de los métodos racionales de diseño y en la práctica quedan comprendidos dentro del grupo semiempírico antes mencionado, por la necesidad de determinar experimentalmente las características mecánicas de los materiales.

Entre los métodos teóricos destacan la teoría de Bussinesq y el método de Burmister generalizado o capas múltiples.

3.3.1 LIMITACIONES DE LOS METODOS DE DISEÑO.

- **Hasta la fecha ninguna de las teorías de esfuerzo y deformaciones en uso predice, con suficiente aproximación, el comportamiento de los pavimentos.**
- **Las actuales pruebas de diseño no permiten conocer las características de resistencia intrínseca de los materiales, para incluírlas dentro de formulas generales de proyecto. Además, muchas de las pruebas no están d'irectamente relacionadas con las características fundamentales que intervienen en el comportamiento de la carretera.**

Esto se complica más cuando se considera la necesidad de conocer el comportamiento individual de los materiales en diferentes condiciones climáticas regionales, bajo la acción de cargas repetidas de intensidad variable, cuando forman parte de una estructura multicapa donde los efectos de interacción varían en un rango muy amplio. Además, por consideraciones económicas no puede emplearse un factor de seguridad alto.

Los anterior explica la razón por la cual, prácticamente, todos los métodos en uso son empíricos o semiempíricos, basados en pruebas muchas veces arbitrarias, que se supone tienen semejanza con las condiciones de esfuerzo en el pavimento. Los diseños se establecen experimentalmente, comparando el comportamiento del pavimento en condiciones de servicio con las pruebas de diseño utilizadas, fijandose gráficas para el diseño de espesores y límites de aceptación, o rechazo, en cuanto se refiera a la calidad de los materiales.

Debe hacerse notar que los diferentes sistemas solamente consideran algunas de las causas de falla del pavimento y por

tanto no pueden generalizarse a condiciones diferentes de las experimentales.

Es importante mencionar que en la mayoría de los métodos actualmente en boga, el diseño se basa en consideraciones estáticas y no toma en cuenta, de una manera explícita, ni el número de repeticiones de tránsito equivalente ni las condiciones que constituyen la falla del pavimento.

El tránsito equivalente puede definirse como el número de repeticiones de una carga estándar, del tipo de eje sencillo, que producen el mismo efecto que una serie cualquiera de cargas de diferente intensidad y disposición, tal como se presentan en el tránsito real de un camino. En México se utiliza el eje sencillo de 8.2 toneladas como carga de referencia. La convección a tránsito equivalente se realiza mediante factores, determinados en función de las relaciones entre los efectos producidos por la carga estudiada y la carga patrón. La comparación puede basarse en esfuerzos, deformaciones unitarias, deflexiones o daño del pavimento.

Dependiendo del criterio de la persona que califica el daño, de hecho se puede considerar como falla desde la aparición de la primera grieta, o defecto, hasta la destrucción total de la carretera. Por tanto, existen niveles de referencia variables, tanto en equivalencia de cargas como en la valuación del daño que ocasiona la falla funcional del pavimento.

Todo lo anterior da lugar a dos problemas básicos, que no han sido resueltos satisfactoriamente hasta la fecha:

1. Cuando se aplican varios métodos de diseño para resolver un caso concreto, se encuentran soluciones que varían en un rango muy amplio, desde pavimentos subdiseñados hasta pavimentos francamente sobrediseñados para las condiciones particulares de la región.

2. Siendo las pruebas de control de carácter arbitrario, muchas veces pequeñas variaciones en la técnica de ensaye conducen a obtener diseños totalmente diferentes, aun aplicando un mismo método de calculo.

3.3.2 PRUEBA AASHO.

Hasta la fecha, la prueba más extensa sobre el diseño de pavimentos de carretera es la AASHO Road Test

La prueba AASHO ha influido notablemente en los estudios que se realizan en diferentes partes del mundo, dentro del campo de pavimentos. puede decirse que las contribuciones más importantes de dicha investigación son las siguientes:

a) Clasificación e índice de servicio actuales:

Que se valúan en una escala de cero(intransitable) a cinco (excelente) y las cuales sirven para estandarizar la apreciación del estado del pavimento en un momento determinado, en cuanto a su capacidad para dar servicio al transito. este sistema permite determinar los niveles de servicio que constituyen la falla funcional del pavimento.

Los resultados preliminares de las investigaciones realizadas en México demuestran que el nivel de aceptación corresponde a pavimentos con clasificaciones superiores a 2.5 y el nivel de rechaza superficies con calificación igual o menor que 2.0. Debe hacerse notar que estos niveles son idénticos a los obtenidos en investigaciones realizadas en Estados Unidos.

b) Coeficiente de equivalencia de carga:

Establecidos en función del daño acumulado en el pavimento por lo diferentes tipos de cargas por eje que circulan en la actualidad. Mediante los coeficientes de equivalencia, se puede transformar el tránsito mezclado real a tránsito equivalente que es más sencillo de analizar.

c) Comportamiento:

Comportamiento, o gráfica de las calificaciones actuales del pavimento versus número acumulado de aplicaciones de cargas equivalentes de 8200kg por eje sencillo. las gráficas de comportamiento permiten determinar el número de ejes que producen la falla funcional del pavimento. El índice de comportamiento es el logaritmo del número de repeticiones de cargas equivalentes que hacen llegar al pavimento hasta la calificación de rechazo. Mediante el índice de comportamiento puede tenerse una medida sencilla de la eficiencia de diferentes tipos de pavimento.

d) Índice de espesor:

Índice de espesor, o número estructural, el cual permite estimar la resistencia de conjunto de las diferentes capas de carpeta, base y sub base que constituyen el pavimento flexible.

En las pruebas AASHO no se encontró interacción entre las diferentes capas, llegándose a un modelo matemático del tipo:

$$d=a_1d_1+a_2d_2+a_3d_3$$

Donde: d es el índice de espesor del pavimento, en pulgadas, d_1, d_2 y d_3 son los espesores en pulgadas de la carpeta, base y sub-base respectivamente; a_1, a_2 y a_3 son coeficientes que indican la resistencia relativa de las diferentes capas.

En las pruebas se encontró que una pulgada de concreto asfáltico equivale a tres pulgadas de base de piedra triturada, el lo que se refiere a eficiencia estructural del pavimento.

Los resultados de la prueba AASHO están limitados a las condiciones particulares de la prueba realizada y su mayor aplicación es de carácter cualitativo, en cuanto al empleo de los numerosos modelos matemáticos desarrollados, los cuales pueden ser muy útiles para revisar criterios de diseño para otras condiciones regionales.

3.3.3 VARIABLES DE DISEÑO.

Los factores que intervienen en el comportamiento de un pavimento modificando su capacidad de servicio, constituyen argumentos fundamentales que deben hacerse intervenir en las gráficas de diseño, en las cuales también deberá aparecer el nivel de falla aceptada o parámetro de comportamiento.

Las variables de diseño pueden agruparse en tres categorías:

1. Variables estructurales:

Comprenden características tales como espesores de las diferentes capas, medidas de resistencia de materiales y resistencia de conjunto del pavimento.

2. Variables de carga:

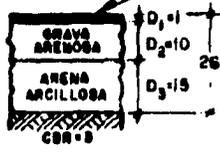
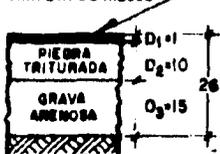
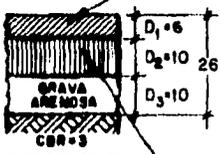
Dentro de este grupo deben considerarse aquellas características como tipo de ejes, sencillos o tandem, cargas aplicadas; presiones de contacto; cubrimientos; tránsito mezclado y tránsito equivalente.

3. Variables climáticas y regionales:

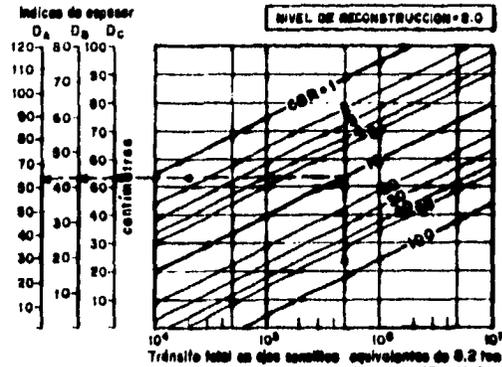
Incluyendo todas aquellas características climáticas, topográficas y aspectos locales que afectan el comportamiento de los pavimentos. entre las variables climáticas más importantes se cuentan la precipitación anual, la temperatura y el régimen de lluvia.

Es evidente que en los programas de investigación sobre pavimentos deben hacerse intervenir todas aquellas variables de diseño que se consideran significativas, además, debe elegirse algún sistema confiable para determinar el comportamiento del pavimento, mediante el cual se pueda comparar la eficiencia de los diferentes diseños. En otras palabras, la investigación debe permitir relacionar las variables de diseño con el comportamiento del pavimento.

RESISTENCIA ESTRUCTURAL DE DIFERENTES DISEÑOS DE PAVIMENTO DE ACUERDO CON DATOS DE LA PRUEBA AASHO

DISEÑO Espesores en cm	Coef. de equivalencia de los materiales, a_i	Índice de espesor D , cm	Carga por eje sencillo, ton	Núm. de aplicaciones que reducen la sección hasta el nivel de reconstrucción (S.S)
CARPETA DE RIEGOS 	1.3	13.8	Automóviles 0.9	300 000
	0.5	10.76 pulg en la escala AASHO)	2.7	10 000
	0.5		5.4	800
	**		8.2	250
CARPETA DE RIEGOS 	1.3	23.3	Automóviles 0.9	4 000 000
	1.0	12.28 pulg en la escala AASHO)	2.7	130 000
	0.8		5.4	10 000
	**		8.2	1 300
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO 	3.0	46.0	Automóviles 0.9	Ilimitado
	2.0	12.52 pulg en la escala AASHO)	2.7	3 000 000
	0.8		5.4	300 000
	**		8.2	70 000

* $D = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$
 ** Carga de referencia para tránsito equivalente



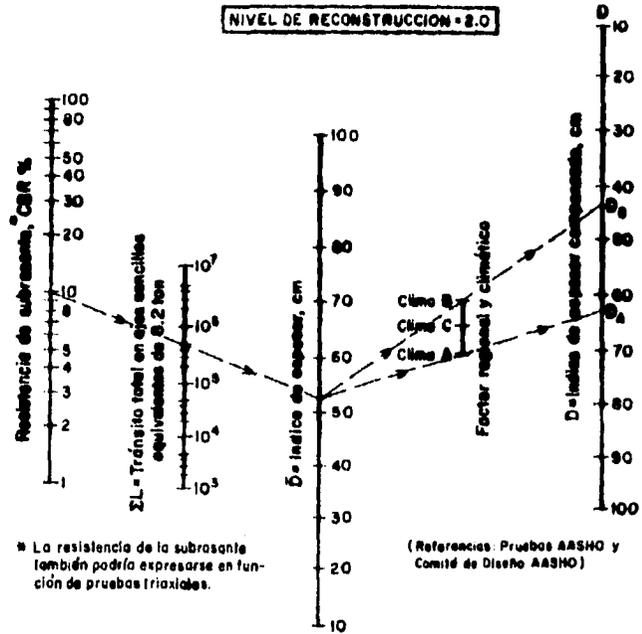
D_A, D_B, D_C son los índices de espesor para los climas A, B o C, en cm
 $D = a_1 D_A + a_2 D_B + a_3 D_C$, en cm
 a_1, a_2, a_3 = Coeficientes de equivalencia
 D_C, D_B, D_A = Espesores reales de carpeta, base y sub-base, en cm

CAPA DEL PAVIMENTO	MATERIAL	COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA		
		a_1	a_2	a_3
CARPETA	Asfalto en el lugar	1.0		
	Asfalto en fábrica	1.0		
	Asfalto triturado		1.0	
BASE	Grava gruesa			1.0-1.5
	Gravilla con cemento			1.0-1.5
	Gravilla con asfalto			1.0-1.5
	Gravilla con cal			1.0-2.0
SUB-BASE	Grava gruesa			0.8
	Asfalto y grava gruesa			0.8-0.6

NOTAS: - La gráfica es solamente para fines ilustrativos y no está basada en datos experimentales.
 - La resistencia de la sub-base y del material superior en función de pruebas flexivas, como por ejemplo, está al del cuadrado o triángulo de Tensar.
 - Los coeficientes de equivalencia están basados en datos de la prueba AASHTO.
 - Referencia: Prueba AASHTO e instructivo del AASHTO.

Criterio que se propone para el diseño de espesores en pavimentos flexibles.

(Este criterio no toma en cuenta esfuerzos radiales y la posible falla por rasadura de la carpeta por lo cual en algunos casos podría ser necesario considerar otros criterios.)



* La resistencia de la subrasante también podría expresarse en función de pruebas triaxiales.

(Referencias: Pruebas AASHO y Comité de Diseño AASHO)

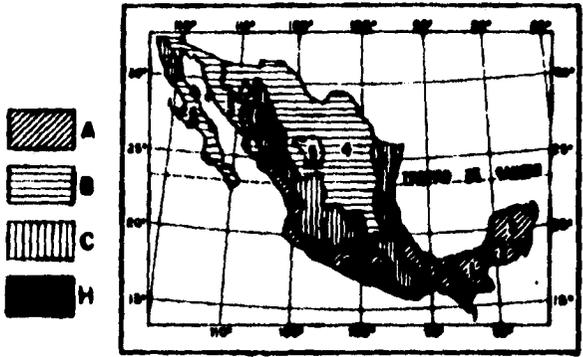
D_A, D_B, D_C son los índices de espesor para los climas A, B o C, cm
 $D = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$, en cm
 a_1, a_2, a_3 = Coeficientes de equivalencia
 D_1, D_2, D_3 = Espesores reales de carpeta, base y sub-base, en cm



NOTA:
 El nomograma únicamente tiene carácter descriptivo y no está basado en datos experimentales

Nomograma para el diseño de espesores de pavimento flexible

(Este criterio no toma en cuenta esfuerzos radiales y la posible falla por tensión de la carpeta por la cual en algunos casos podría ser necesario considerar otros criterios.)



SISTEMA WEGNER-MEIER DE CLASIFICACION DE CLIMAS

PRIMERA LETRA **SEGUNDA LETRA** **TERCERA LETRA**

A - Temperatura alta y precipitación alta o moderada en climas húmedos
 B - Climas templados, templados o templados cálidos moderados
 C - Climas templados cálidos moderados o templados cálidos
 H - Climas fríos, templados o templados cálidos moderados

1 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos
 2 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados
 3 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados
 4 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados
 5 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados
 6 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados
 7 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados
 8 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados
 9 - Climas de alta precipitación templados o templados cálidos moderados



CLIMA		DESCRIPCION DEL CLIMA	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)	INDICACIONES
A TROPICAL	Afo 1	Templado, alta precipitación moderada a alta	25.0	2000	Templado a alto, alta precipitación moderada a alta
	Amo 2	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	24.0	1500	Templado templado, alta precipitación moderada a alta
	Amo 3	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	23.0	1000	Templado templado, alta precipitación moderada a alta
B SECO	BSh 4	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	22.0	500	Templado templado, alta precipitación moderada a alta
	Bsb 5	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	21.0	200	Templado templado, alta precipitación moderada a alta
C SUB-TROPICAL	Cfa 6	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	20.0	1000	Templado templado, alta precipitación moderada a alta
	Cfb 7	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	19.0	1000	Templado templado, alta precipitación moderada a alta
H DE MONTAÑA	CwH 8	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	18.0	1000	Templado templado, alta precipitación moderada a alta
	H 9	Templado templado, alta precipitación moderada a alta	17.0	1000	Templado templado, alta precipitación moderada a alta

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION

DE PAVIMENTOS

4.1 TRABAJOS PRELIMINARES

Antes de la llegada del equipo deberá construirse un camino de acceso a la obra vial, dicho camino no siempre es la ruta más corta, sus características, aunque modestas por razones económicas deberá garantizar la posibilidad de tránsito del equipo pesado, así como las otras unidades de trabajo: camiones, camionetas automóbiles, etc.

Tanto la empresa constructora como la supervisión habrán de construir instalaciones provisionales, fácilmente desmontables al término de su utilidad, para alojar oficinas de campo, laboratorio de control de calidad, talleres, etc.

Naturalmente, mientras esas labores se desarrollen, deben iniciarse los trabajos de construcción propiamente dichos, una vez que los equipos necesarios estén en el sitio de obra.

4.1.1 DESMONTE.

Como desmonte deberá entenderse la acción de tala, derribo o corte de especies vegetales existentes.

Será necesario llevarlo a cabo en toda la zona de construcción, en caso de los aeropuertos, requieren del desmonte de aquellas zonas afectadas por los trapecios de aproximación a las cabeceras de la pista así como la superficie de transición deberá también, quedar libre de la vegetación que la interseque; con la sola limitación de la necesaria visibilidad de la torre de control a la totalidad de las áreas de maniobras que pueda requerir de desmontes adicionales.

Podrá consistir en el corte con sierras motrices o manuales de árboles aprovechables, su derribo mediante la acción de empuje de tractores o, en el caso de especies menores, su corte con equipos motorizados para poda.

Las condiciones del sitio deberán dictar el procedimiento a seguir.

Cuando el lugar de construcción está poblado de árboles aprovechables, habrá de requerirse un proceso acelerado de derribamiento de los especímenes, su eliminación de la rama y el transporte de los troncos al aserradero. Los troncos y raíces deberán extraerse empleando tractores (equipados con arado de requerirse).

El producto deberá juntarse con el desecho no aprovechable y quemarlo, de preferencia afuera de las zonas que llevarán pavimento. Si las especies no son aprovechables, se tumbarán con tractor y se procederá a su quema, también en este caso habrá que efectuar el desenraice.

Es importante hacer notar que por economía es sólo necesario desraizar adecuadamente las zonas que se destinarán a pavimentos, las que serán ocupadas por franjas de seguridad, salvo que el proyecto indique que habrán de compactarse, no requieren de esa operación.

4.1.2 DESPALME.

Se entenderá por despalme a la operación de corte, extracción y acarreo a otro sitio de la capa de suelo vegetal existente en la superficie.

Es indispensable eliminar, de las zonas por pavimentar o terraplenes compactados la presencia de componentes orgánicos que alteren las características del terreno impidiendo un adecuado procedimiento de consolidación.

Su profundidad la dictara el estudio geológico preliminar y deberá ser suficiente para descubrir la capa sana sobre la que se cimentará la estructura de los pavimentos.

Razones de economía han conducido, en la actualidad, a buscar el óptimo aprovechamiento de los movimientos de tierra. Por ello, el producto del corte en despalme no se desperdicia, se procura aprovecharlos en fajas de seguridad o en otros rellenos.

4.1.3 CORTES SOMEROS.

La presencia de capas arcillosas delgadas, de alta compresibilidad bajo los pavimentos, puede provocar deformaciones; en su caso y, cuando el espesor no sea excesivo, será conveniente eliminarlas. Puesto que todo corte deberá, de ser así considerado rellenarse con material de mejor calidad, el análisis económico durante la etapa de planeación y el proyecto habrá definido esta eventualidad.

El producto de estos cortes, será también utilizado en rellenos convenientes tratando de evitar desperdicios de materiales.

4.2 TERRACERIAS

Una vez que se ha limpiado la zona de trabajo, comienza de hecho, la construcción propiamente dicha.

El proyecto incluirá el estudio de curva-masa para el aprovechamiento de los materiales, compensando las zonas de corte y terraplén que sean disponibles, apuntando los rellenos que sean necesarios desde un banco de préstamo o desperdiciando las excedencias.

4.2.1 CORTES.

En el proyecto habrán de llevarse a cabo simultáneamente la formación de terraplenes, el proyecto habrá definido con claridad las zonas de corte, la profundidad de ellos y la acción que deberá obtenerse.

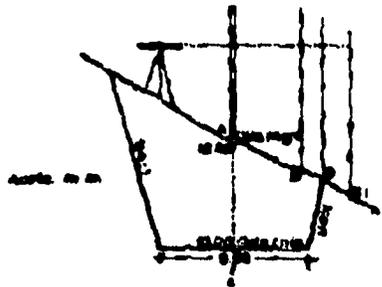
Dependiendo de las dimensiones de los cortes y de la cantidad de material que se moverá, que en carreteras alcanzan grandes alturas y volúmenes, en aeropuertos son al nivel del terreno y de mucho menor volumen que en las carreteras, por lo general, deberá elegirse la maquinaria más adecuada según lo mencionado anteriormente.

El tipo de material y su grado de consolidación darán la pauta respecto a la elección del equipo a utilizar: materiales poco cohesivos como arena y limo, pueden ser cortados fácilmente, materiales más consolidados podrán requerir de aflojar primero la capa con tractores y luego utilizar los equipos de carga y acarreo para la extracción y transporte.

Los cortes de tierra serán tratados en función de su dureza. Así, rocas de tipo metamórfico o sedimentario intemperizadas, pueden ser fracturadas utilizando arado de tractor, rocas duras o de tipo volcánico denso, requerirán de el empleo de explosivos.

Dependiendo de la capacidad de los cargadores y los transportes para acarreo, la fragmentación será al tamaño conveniente.

La nivelación de la superficie, para lograr la sección de proyecto, cuando los cortes son en tierra, se podrá obtener con bastante precisión, no es así en el caso de la roca. Dependiendo de lo que las normas de construcción indiquen, deberá producirse un sobrecorte de espesor especificado, comúnmente de 30cm. El nivel de proyecto se logrará con un relleno compactado.



Nivelación

4.2.2 COMPACTACION DEL TERRENO NATURAL.

Tanto las áreas de terraplenes como las de la sección descubierta mediante el corte (en el caso de tierra), deben ser objeto de un procedimiento de compactación, que servirá para restituir al suelo sus características de consolidación natural, afectada durante los procesos de desenraice, despalme y o corte, propiamente dicho.

El proyecto indicará el espesor del terreno por compactar, así como el valor del grado por alcanzar. Casi siempre, si hay un espesor considerable (1.0 m. o más) de terraplén sobre el terreno natural. La compactación será del 90% del peso volumétrico seco máximo (p.v.s.m.) si hay espesores menores será del 95%.

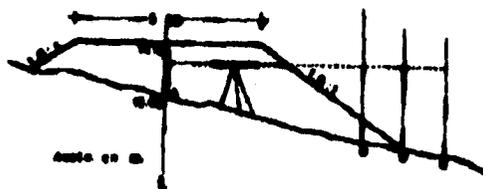
Dado que se trata de una restitución de condiciones anteriores, lo obvio es que se lleve a cabo en cuanto se termina el despalme, a fin de conservar las condiciones de humedad natural. El espesor, por lo común, será de 15 cm. superficiales; sin embargo, el supervisor de trabajos habrá de calificar si no hay aflojamiento del terreno bajo esa profundidad ordenando, en su caso, aumentar el espesor por compactar:

4.2.3 FORMACION DE TERRAPLENES.

Mediante el empleo de materiales producto de cortes o de bancos de préstamo, habrá que formar terraplenes para conseguir una continuidad en la figura longitudinal y transversal de lo que serán los pavimentos.

En esta etapa se comienzan a destacar las diferencias respecto a la construcción de un camino, sobre todo en la pista, donde habrá de trabajar con anchos muy grandes.

Según las características geológicas del sitio, los terraplenes podrán estar formados por roca, roca mezclada con fino o tierra. En cada caso, habrá que tomar providencias comunes a todo trabajo de terracerías.



Nivelación para terraplén

Los pedraplenes habrán de ser bandeados por tractores pesados para asegurar su acomodo. El uso de máquinas con peso superior a 25 toneladas será más conveniente, de ser posible convendrá colocar materiales finos que llenen los huecos.

Las mezclas de roca y tierra, requerirán el uso de tractores para el tendido y acomodo, si el tamaño de los materiales lo permite, deberán utilizarse otros materiales de compactación.

En caso de poderse lograr, convendrá que las piedras tengan tamaño máximo de 30 cm, tamaños mayores pueden provocar la presencia de huecos que los finos no llenen y que, a la larga, produzcan asentamientos.

Los terraplenes a base de tierra se trabajarán conforme a procedimientos normales, tendido, humedecimiento y compactación. El tendido se hará con motoniveladoras; el humedecimiento con pipas provistas con barras de riego y la compactación con el equipo adecuado al tipo de suelo; para materiales poco cohesivos, máquinas del tipo vibratorio; para los de alta cohesividad, máquinas de amasamiento energético (pata de cabra) y rodillos neumáticos o metálicos.

La forma tradicional de trabajo obligará a formar franjas paralelas, de longitud y espesor adecuado al equipo empleado; las juntas entre ellas, sobre todo en el sentido longitudinal, deben ser de especial cuidado, buscando siempre que la compactación en esa zona crítica será la misma que en el resto de las franjas.

Las franjas de borde habrán de quedar excedidas, en ancho, respecto al que tendrán al final, a fin de que, cuando se afine

la zona de pavimentos y se requiera cortar las orillas, éstas tengan la adecuada compactación.

Durante el proceso se irán formando las pendientes longitudinal y transversal, desde la etapa inicial. Si fuere lógico, al término de la etapa inicial de cortes y terracerías, se tendría vista desde el aire, la planta general en tierra, por lo contrario la construcción debe llevarse a cabo escalonadamente.

Si la sección media de una vía fuera la ilustrada la practica constructiva normal consistirá en realizar, primero, los trabajos en la zona de pavimentos, extendiendo los terraplenes hacia afuera con una pendiente que vaya teniendo a ser la de la capa última, a fin de garantizar el drenaje de la sección durante las etapas.

Lo conveniente será, conforme a los métodos tradicionales, construir escalonadamente las capas de terraplén, se irán sucediendo en sentido longitudinal hasta comenzar a ser cubiertas, también en forma escalonada, por las terracerías mejoradas de la subrasante y las capas de pavimentos.

La formación de los terraplenes compactados obedecerá a una lógica razón técnica: no deberá aplicarse sobre el terreno natural una carga superior a la que sea capaz de soportar. Así, a partir de la información geotécnica de la etapa de estudios previos, se sabrá el grado de consolidación del terreno, representado por su porcentaje de compactación (respecto a su p.v.s.m.) y su capacidad de carga, tanto en kg/cm^2 como en su representación como valor relativo de soporte (VRS).

Si el terreno tiene una compactación natural entre 85 y 90 por ciento del p.v.s.m., aceptará sobre él capas iniciales de terracerías al 90%, éstas a su vez, soportarán capas al 95%, que serán seguidas por otras al 100% (grado máximo alcanzable de compactación).

Una revisión muy cuidadosa, permitirá observar que en la zona de frontera entre capas de diferente compactación, hay una transición gradual del grado de consolidación: del 85 al 90%, del 90 al 95% y de éste al 100%.

4.2.4 PROBLEMAS TÍPICOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES.

En los terraplenes con pobre capacidad de carga, los equipos de construcción normales se hunden; no siendo común contar con equipos especiales de gran área de apoyo (llantas y orugas), se requerirá arrancar la formación de las terracerías a partir de un solo punto. En él se formará una plataforma, a manera de plantilla de trabajo, sobre la que se vayan acomodando los materiales del producto de préstamo de bancos, que se irán empujando hacia adelante utilizando tractores. El sistema, denominado de relleno de fondo perdido o de punta de flecha, puede ser utilizado, también, para trabajos dentro de zonas pantanosas o inundadas.

A medida que el relleno progrese, podrá irse extendiendo en sentido longitudinal y/o transversal. Establecida la plantilla de trabajos los terraplenes se elevarán normalmente con capas de compactación progresivamente elevadas.

Actualmente se está difundiendo el uso de geotextiles, a base de tramos de fibras sintéticas que permiten, en su caso, disminuir el espesor de la capa de plantilla al darle un soporte artificial (en condiciones normales, se presenta una incrustación de los materiales de la plantilla en el terreno natural, que será tan grande como la falta de soporte de éste los requiera, hasta que la acción del peso de la capa llega a producir su consolidación en grado adecuado).

Bien sea que la plantilla se coloque libremente o apoyada en un manto geotextil, se producirá un asentamiento que la supervisión debe de controlar, para efectos de pago. La colocación de capas testigo de materiales claramente identificables al efectuar sondeos para determinación del espesor, contribuirá a ese control. La aplicación de capas de espesor reducido de cal

o yeso sobre el piso natural, por ejemplo, identificarán con toda claridad su nivel.

Obviamente al existir un geotextil en la zona de frontera, no se requerirá la colocación de testigos.

El trabajo con materiales arcillosos es siempre conflictivo y, cuando existe la posibilidad, se procurará no utilizarlos.

Si su uso es obligado, siempre la incorporación del agua para compactación constituirá el conflicto mayor: el material procedente del corte o bancos de préstamo muestra grandes terrones que es necesario pulverizar para que el agua se mezcle con las partículas.

El empleo de tractores agrícolas, equipados con rastras de discos, resulta útil para ese propósito, ya que rompe con efectividad los terrones.

De no conseguirse una homogénea incorporación del agua de compactación, el terraplén resultante arrojará deficiencias en las zonas secas.

Por su parte, las terracerías constituidas por materiales inertes, de tipo limoso o arenoso, requieren un cuidadoso manejo de las cantidades de agua para la compactación. En exceso, impedirá el cierre de huecos entre partículas; en defecto, faltará la lubricación necesaria para conseguir el adecuado acomodo.

Estos materiales, además requerirán de la aplicación de riegos de agua superficiales para impedir su desecación y por ende, el aflojamiento de la capa superior. Estos riegos de mantenimiento habrán de sostenerse hasta que las terracerías sean cubiertas con las capas superiores.

Los terrenos de aluvión, formados por una sucesión de depósitos de diferente naturaleza, traerán como consecuencia que al cortarlos exista una mezcla, amenudo heterogénea, de diferentes materiales. Así puede ocurrir que, un solo vehículo de acarreo, transporte dos o más tipos de material por ejemplo, limo arenoso, arena limosa y arena fina. La aparición de lentes

arcillosos de pequeño espesor complicará en forma grave el problema.

Aunque se opte por efectuar una mezcla de los materiales para formar una capa no es difícil que ocurra que el producto resulte diferente al de la capa vecina.

En estas condiciones, el procedimiento de compactación resulta engorroso, pues no siempre el proceso y combinación de máquinas útil para un tramo, resulta adecuado para su vecino, ello obliga a una continua experimentación, con la obvia pérdida de tiempo.

Cuando esto ocurre, como se verá más adelante, será necesario cambiar el criterio de trabajo y el de control de calidad.

4.2.5 EQUIPO COMUNMENTE EMPLEADO PARA LA FORMACION DE TERRAPLENES.

Las máquinas más empleadas en la formación de terraplenes con algunas de sus variantes son las siguientes:

1. PARA CORTES EN ROCA.

- Compresores de aire.
- Pistolas neumáticas y barras perforadoras .
- Carros y vagones perforadores (track drill, mancuernas).
- Tractores de oruga con cuchilla de movimiento angular y arados rompedores (rippers).

2. PARA CORTES EN TIERRA.

- Tractores de oruga.
- Escrepas.

3. PARA CARGA DE LOS MATERIALES.

- **Cargadores frontales sobre orugas o neumáticos.**
- **Palas mecánicas (retro excavadoras).**
- **Escrepas.**

4. PARA ACARREO DE LOS MATERIALES.

- **Camiones con capacidad adecuada (camiones de 7, 8 m³ o de 20 m³, tanto para movimiento sobre carretera como para movimiento fuera de ella).**
- **Escrepas.**
- **Vagonetas.**

5. PARA TENDIDO DE LOS MATERIALES SOBRE EL TERRAPLEN.

- **Escrepas.**
- **Tractores sobre llantas u orugas con cuchilla.**
- **Motoniveladoras (motoconformadoras).**

6. PARA INCORPORACIÓN DEL AGUA.

- **Autotanques con barra de riego (pipas con barra de riego)**
- **Autotanques con bomba y manguera aspersora (pipas con bomba y manguera aspersora).**

7. PARA MEZCLA Y AFINE DE LA SUPERFICIE.

- **Motoniveladoras.**
- **Compactadores autopropulsados con cuchilla de empuje.**

8. PARA COMPACTACION DE MATERIALES COHESIVOS

- **Rodillos pata de cabra de arrastre o auto propulsados, de rodamiento fijo o vibratorio.**
 - **Rodillos neumáticos, cajones lastrados de arrastre, neumáticos autopropulsados, compactadores combinados de rodillos neumáticos y lisos (duo-factors).**
- 9. PARA COMPACTACION DE MATERIALES POCO COHESIVOS O INERTES.**
- **Rodillos lisos vibratorio o de rodamiento fijo.**
 - **Rodillos neumáticos.**

De los equipos mencionados existe gran variedad en el mercado; cada máquina reúne características que la hacen óptima para determinados trabajos. Además dentro de las variedades a disposición hay también diversas características de peso y rendimiento que deben tomarse en consideración.

4.2.6 CONTROL DE CALIDAD DE LA COMPACTACION.

Las normas se denominan con el nombre del descubridor de la prueba o con el del organismo editor original.

Para el control de calidad de los materiales a emplear se llevan a cabo las determinaciones de:

- **Granulometria.**
- **Peso volumétrico máximo seco (p.v.m.s.).**
- **Equivalente de arena.**

- **Contenido de materia orgánica.**
- **Valor relativo de soporte (VRS).**

Para la determinación de las compactaciones en tierra se utilizan las pruebas:

- **PROCTOR.**
- **AASHTO.**

Para las determinaciones de materiales inertes, las:

- **AASHTO MODIFICADA.**
- **PORTER.**

Cuando los materiales no son uniformes las pruebas normales no resultan confiables. Para estos casos, el cuerpo de ingenieros del ejército americano ha ideado un sistema de pruebas que, combinando los contenidos de agua con los pesos volumétricos expresa la capacidad máxima de carga que puede recibir de un terraplén en función del acomodo de las partículas y no del grado de compactación. Este método, aunque concebido para el diseño de pavimentos, es de suma utilidad en casos como los citados.

En todos los casos, existirá una condición de humedad óptima de los materiales, para lograr su mejor acomodo o su mayor compactación (al 100% de su p.v.m.s.)

Hecha la determinación en el laboratorio de dichos parámetros, en campo se tratará de aplicar el contenido de agua al óptimo requerido y, mediante la aplicación de determinado tiempo máquina, su mejor acomodo en función de los grados de compactación o capacidad de carga que se deseen obtener.

El laboratorio de campo obtendrá muestras de las capas compactadas y por determinación de los pesos volumétricos húmedos y secos indicará los valores alcanzados.

Nunca deberá colocarse una nueva capa si la anterior no ha cumplido con los requisitos especificados.

4.2.7 BANCOS DE PRESTAMO PARA TERRACERIAS.

Durante los estudios geológicos preliminares se obtendrán las características de los bancos de préstamo, buscando siempre que la calidad sea adecuada para las capas por construir. Podrá darse el caso que se requieran bancos diferentes para cada capa, en función de que, a medida que crece el terraplén, acercándose al pavimento, la calidad de los materiales debe ir mejorando para proporcionar características de resistencia más adecuadas.

En general, el procedimiento de ataque de los bancos de prestamos es similar al de los cortes, con una salvedad importante: puesto que generalmente son excavaciones por debajo del nivel del terreno, habrá necesidad de prever su drenaje para impedir que sean inundadas por lluvias. De no existir posibilidad de desalojo de las aguas, habrá que programar ataque escalonados a fin de contar siempre con zonas de extracción aunque el fondo del banco se inunde.

La extracción de terracerias en bancos secos por lo común no encierra complicaciones, estos bancos casi siempre tienen altos grados de consolidación y bajos contenidos de agua. Su ataque puede requerir del uso de tractores con arados rompedores (rippers) para aflojar las capas y facilitar la extracción de materiales.

Bancos húmedos, por regla general pueden atacarse con mo-
toescrepas autocargables que hacen factible altos rendimientos.

Por último, la presencia de manto freático elevado trae aparejada baja capacidad de carga que hace difícil el empleo de tractores, motoescrepas, cargadores y camiones. En estos casos, podrá requerirse de la extracción de los materiales saturados mediante dragas de arrastre para formar grandes montones donde el contenido de humedad desciende por escurrimientos cuando se tienen las condiciones adecuadas, los montones son cargados con motoescrepas o combinación de cargadores y camiones.

La presencia de bancos con estratigrafía laminar heterogénea puede complicar el ataque de los bancos, la combinación de capas de diferente dureza provocará a su vez la combinación de métodos de corte, abatiendo rendimientos.

4.2.8 EROSIONES Y SU TRATAMIENTO

La construcción de una vía terrestre está como toda obra, expuesta a la acción erosiva de las lluvias y el viento.

Fuertes temporadas de lluvias obligan a tomar medidas de defensa para evitar que las capas construidas se deterioren.

La formación de capas limpias, sin presencia de materiales amontonados o en camellón, con pendiente longitudinal y transversal adecuadas desde las primeras etapas, facilitará el drenaje, impidiendo la penetración del agua.

En los taludes, la colocación de un sobre espesor que posteriormente se elimine, será recomendable para preservar las capas del cuerpo del terraplén.

Será indispensable prever la construcción de conducciones de drenaje, provisionales o definitivas, con toda oportunidad para evitar encharcamientos que lleguen a saturar las capas inferiores.

Por su parte, la combinación de vientos fuertes y materiales poco cohesivos, de lugar a importantes erosiones. En tales casos, el mantenimiento de la humedad superficial será muy importante.

En los taludes, además de la consideración de un sobre espesor, será conveniente provocar la rápida aparición de especies vegetales cuyas raíces permitan la estabilización de la capa superficial y cuyos tallos y hojas mitiguen la acción del viento. Así, la siembra directa o implantación de tepes o capas de pastos trasplantados puede resultar muy positiva.

Sin embargo, en zonas desérticas o semidesérticas esta práctica no resulta efectiva; entonces podrá hacerse necesario estabilizar los taludes mediante concreto lanzado o riegos de asfalto con piedra.

Finalmente la aplicación de mantos de geotextil de fibra abierta, combinada con siembra de especies vegetales puede ser también una buena solución, obviamente más económica que proteger con chapeos de piedra o concreto.

4.2.9 LA CAPA SUBRASANTE.

Constituye la última capa de los terraplenes y, de hecho, forma parte del pavimento.

En los cálculos del espesor del pavimento entrará siempre el espesor de una capa de terracerías mejoradas, con especificación de VRS adecuado para absorber las cargas aplicadas a la superficie y transmitir al terraplén de asiento solo el esfuerzo que éste pueda aceptar sin deformarse.

Las normas de construcción definen las características de calidad de esta capa en forma clara por lo que se refiere a granulometría, límites de Atterberg y VRS Así no se aceptarán materiales que contengan fragmentos de roca con tamaño supe-

rrior a 7.5 cm, contracciones lineales superiores a un 5% y elevados límites líquido y plástico; el VRS será superior al 15%.

Su compactación, por lo común es especificada al 100% del p.v.m.s., para las primeras y 95% para las segundas .

Dada la importancia de esta capa, su construcción debe llevarse a cabo con todo cuidado; su espesor obliga a fabricarla en varias subcapas, acordes con la capacidad de los equipos de compactación. Tanto las subcapas como la capa total deben estar perfectamente compactadas, por lo que, independientemente de que se vigile cada semiespesor deberá comprobarse que el todo cumpla con las dimensiones y compactación especificadas. De aquí que el proceso escalonado debe estar correctamente programado, impidiendo que se pierda la humedad superficial y comprobando que existe liga perfecta entre las subcapas.

En este orden de ideas, se deberá impedir que se construya primero toda una subcapa y luego se proceda a la que sigue, al aceptar un tramo deberá inmediatamente ser cubierto con el material de la capa superior, para evitar la pérdida de humedad.

Al concluirse la construcción de la subrasante, se revisara que su superficie cumpla con la norma de niveles y alineamiento exigidas.

Esta superficie ya reflejará la geometría tanto en planta como en elevación de lo que será la obra vial.

Si ya se han mencionado que en los terraplenes se tratará de evitar, dentro de lo posible, el uso de materiales arcillosos con alto índice de plasticidad, las normas para la subrasante lo rechazan. Cuando no hay otro recurso, su empleo se hará a base de adición de otros materiales, como arena o limo, que abatan la plasticidad y eleven el VRS, en casos extremos, se hará uso de cal para mejorar sus características.

Los materiales inertes, por lo contrario, arrojan valores de calidad adecuados y VRS elevado, por regla general; por lo

tanto, son mejores para esta capa, siempre y cuando se tomen las providencias necesarias para el manejo y contenido de agua y su conservación al terminarse el espesor.

Por otro lado, la utilización de materiales de banco o corte de estratigrafías laminares, en esta capa provoca problemas que nos están presentes en las inferiores. Así mientras se usan capas compactadas al 90% al 95% del p.v.m.s., se observará que existe una severa dispersión en los grados de compactación de un tramo cualesquiera, en el primer caso, donde la compactación mínima es de 90% la heterogeneidad de los materiales provocará puntos con valores entre 90 y 95% o mayores. Si la compactación mínima debe ser del 95%, resultarán puntos con 100% o más. pero cuando la compactación mínima debe ser del 100% se observa una imposibilidad práctica de lograrla, pues aparecerán valores entre el 96 ó 97% hasta 100% o más.

Si se lleva a cabo una prueba en un tramo experimental, controlando el número de pasadas del equipo de compactación, los valores ascienden hasta tener puntos aislados al 100%, con presencia de abundantes zonas con 96 al 98%. Si se incrementa el tiempo máquina, los puntos bajos suben hasta llegar a tener 98-100% de compactación, pero los que ya habían logrado el valor máximo se desploman al 96 ó 97% al excederse su capacidad de recepción de energía, produciéndose el fenómeno denominado ruptura de la estructura o comúnmente llamado encarpamiento.

En estas condiciones, será imposible llegar a obtener un grado homogéneo de compactación en el tramo. Ya se hizo mención de que, ni siquiera la revoltura en seco de materiales arrojará resultados satisfactorios, Será necesario, entonces, llevar a cabo prácticas sobre un tramo determinado, afín de definir el porcentaje de humedad más conveniente para los materiales con contiene la capa; se hará pasar el equipo de compactación, una sola máquina o combinación de dos o más, llevando cuidadoso conteo de las pasadas que se realizan y la forma en que las huellas de los rodillos se traslapan en cada

pasada. A partir de la tercera pasada, convendrá revisar los porcentajes de compactación que se van obteniendo, hasta determinar el momento en que se logra la máxima compactación de un tipo de los materiales. Tomando nota del procedimiento hasta ésa etapa, conviene continuar la prueba, a sabiendas que el máximo valor descenderá, tratando de buscar una uniformidad en la compactación del tramo.

Si se logra uniformidad, resultará conveniente verificar el VRS que da la subrasante en esas condiciones; si resulta igual o mejor que el proyecto, la prueba habrá fijado el método a seguir y el porcentaje de compactación máximo homogéneo que se podrá lograr, casi siempre abajo del 100% que pudiera estar especificado.

Por lo contrario, si la uniformación no se logra y, los porcentajes de compactación siguen resultando en un intervalo que puede ser de 3 a 4 puntos, se requerirá revisar el VRS en las zonas en que aparece la menor compactación. Suele suceder que esas zonas sean de materiales con características arenosas o inertes y que, aun a menor compactación aporten VRS dentro de lo especificado, por lo que el trabajo podrá realizarse considerando el procedimiento de la prueba, vigilando solo que el porcentaje mínimo no descienda del que sirvió para la verificación del VRS.

Si las pruebas realizadas llevan a la conclusión de que no es posible obtener el VRS especificado en la subrasante, deberá concluirse que hay un error de proyecto y será necesario revisarlo a fin de optar entre una modificación del espesor de las capas del pavimento, un cambio de banco de los materiales de la subrasante o un procedimiento de cementación de ésta capa. Todas las posibilidades anunciadas traerán como consecuencia un encarecimiento de la obra, producto, evidentemente, de una pobreza de los estudios previos al proyecto.

4.3 DRENAJE

El drenaje de caminos tiene por objeto, en primer lugar, reducir lo más que sea posible la cantidad de agua que llega a las diferentes partes de un camino, y en segundo lugar, dar salida expedita al agua cuyo acceso al camino sea inevitable, por lo que el control del agua durante y después de la construcción es de suma importancia para el buen funcionamiento de un camino.

4.3.1 SUBDRENAJE

Puesto que las normas de calidad aceptan el empleo de materiales con características plásticas en los terraplenes tanto del cuerpo como de la zona de pavimentos como en las franjas o fajas de seguridad, estos materiales tienden a impermeabilizarse una vez que alcanzan su límite líquido.

En el caso de que, durante la construcción o terminada ésta, por grietas en el pavimento, penetre agua, el líquido se verá atrapado en la frontera entre el pavimento y las terracerías, provocando fallas por saturación de los materiales que se reflejan en deformaciones de las carpetas o aparición de baches, así pues será conveniente que desde el proceso de construcción asegurar que no se presente agua atrapada dentro del pavimento, colocando subdrenes en la zona conflictiva de frontera entre aquél y las terracerías.

El subdrenaje puede consistir en zanjas con fondo nivelado, rellenas con materiales graduados carentes de partículas finas, que sirvan de filtro y hagan caer el agua al fondo de la zanja.

Mediante pendientes adecuadas, se lleva el líquido hasta registros de captación desde los cuales se le conduce a los cana-

les de drenaje de superficie, o bien por nuevas zanjas rellenas de grava sin finos, o a través de tuberías.

Otra práctica será la de colocar en el fondo de la zanja tuberías perforadas en la parte inferior que reciban el agua captada por el material filtrante y la conduzcan a los registros de descarga.

En cualesquiera de las dos formas, se tratará de evitar la presencia de agua atrapada y los problemas que ella provoque.

4.3.2 SUBDRENAJE CON EMPLEO DE FIBRAS ARTIFICIALES

El extendido universo de la petroquímica ha producido telas y mallas de tipo plástico cuyo empleo se experimenta y difunde continuamente en la construcción.

Existen mallas de trama abierta y cerrada (georedes) y telas, más o menos porosas y/o resistentes (geotextiles) que permiten un amplia perspectiva de utilización.

Entre los usos posibles está su aplicación en el subdrenaje, que consiste en utilizar una combinación de geored y geotextil, formando una tubería con la primera y una bolsa con la segunda. La tela capta y conduce el líquido al fondo, donde el tubo formado con la malla permite contar con el medio de transporte que en otra forma hace el tubo de concreto.

El sistema tiene varias ventajas:

- La mano de obra es muy reducida, dado que todo el armado del tubo y la bolsa se hace mediante grapas o amarres muy sencillos.
- Dado que la zanja se hace a máquina el avance que se logra es muy importante en cada jornada.

- La colocación del conjunto captador-conductor puede ir a la misma velocidad.
- El relleno de la zanja debe hacerse con un material cuya permeabilidad sea mayor que la del terraplén vecino, no necesariamente un filtro de material con cierta característica de granulometría como en el caso del subdrenaje convencional. Así se puede utilizar grava fina, arena gruesa, etc. que ofrezca posibilidades de permitir el paso del agua hasta la tela receptora. Obviamente, la colocación con un leve apisonado puede ser muy rápida.

Solamente se deberá procurar que la participación superior de la bolsa conserve cierta verticalidad durante el proceso de relleno, lo que fácilmente se logra atándola a puentes de madera colocadas sobre las zanjas.

La etapa final del relleno, en la parte superior de la zanja, se concluye con la capa de pavimento del acotamiento, en la misma forma que el proceso tradicional.

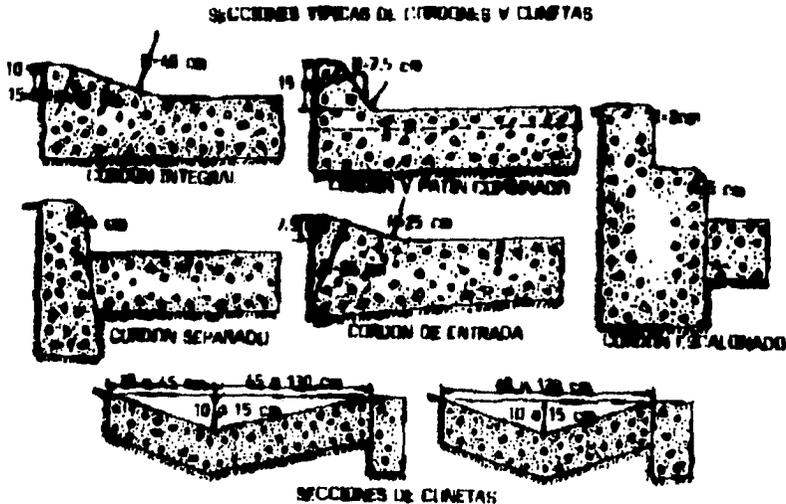
Los peines de desalojo del agua captada, puede ser de tubería de cemento u del propio material propuesto, según convenga. La zona de unión de los tramos longitudinales y transversales puede ser solucionada mediante cajas-registro de construcción sencilla.

4.3.3 DRENAJES DE SUPERFICIE.

Las superficies pavimentadas y los terraplenes compactados impiden que las aguas de precipitaciones pluviales se infiltren en el terreno natural; por lo tanto, habrá una cantidad de líquido que es necesario conducir hacia zonas de descarga alejadas.

La pendiente transversal de las vías terrestres plantea la necesidad de construir canalizaciones en las orillas o arrollamiento, con capacidad para conducir, sin desbordarse, las ma-

yores precipitaciones que el estudio climatológico previo haya establecido. Por razones de economía las canalizaciones a cielo abierto, generalmente con sección transversal triangular o trapecial.



La descarga de estas canalizaciones podrá ser: a una zona baja donde la inundación que provoquen las aguas no represente problema ala operación del pavimento; a otras canalizaciones existentes, naturales o artificiales.

El drenaje superficial se puede clasificar en :

- Cunetas.
- Contra cuneta.
- Bombeo.
- Lavaderos.

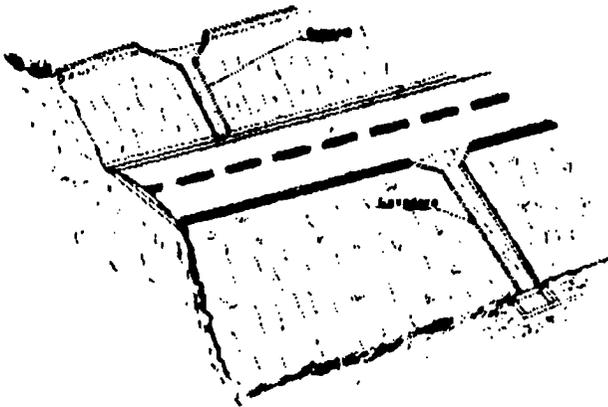
Cunetas .-Son pequeños canales que construimos en ambos lados de la obra vial y recogen el agua de la superficie debido al bombeo y al escurrimiento de taludes, y como ya se ha

mencionado pueden ser de sección triangular, rectangular o trapezoidal.

Contra cunetas .-Son zanjas de forma trapezoidal que se construyen para evitar la llegada del agua a las cunetas y se desalojan en una barranca o corriente natural.

Bombeo.-Es la pendiente transversal que se construye a partir del eje del camino o aeropista , evitando el estancamiento de agua en la superficie de rodamiento y conduce el agua a las cunetas que se encuentran en los extremos del camino.

Lavaderos.-Es una cubierta o delantal de concreto, mampostería o piedra acomodada para encausar el agua proveniente de cunetas sobre los taludes o terraplenes.



4.3.4 OBRAS DE DRENAJE ESPECIALES.

Cuando la única posibilidad de localización de una vía se tiene en terrenos escarpados, los estudios topohidráulicos generalmente detectan la presencia de corrientes de tipo perma-

nente o efímero cuyos cauces deberán respetarse o conducirse. En estos casos, obviamente, la información hidrológica que debe obtenerse cobra un importante valor, ya que, bien sea que se opte por hacer pasar los escurrimientos bajos las áreas de pavimento o se les desvíe, la capacidad de las conducciones debe ser la adecuada para impedir desbordamientos e inundaciones que afecten la operación.

Puede ocurrir, desde luego, que las características de una obra de cruce revistan una gran importancia; no solo porque su trabajo hidráulico exija importantes dimensiones, sino también porque sus requerimientos estructurales al quedar, por ejemplo, provoque la aparición de elementos robustos.

4.4 BANCOS DE PRESTAMO PARA PAVIMENTOS

A partir de la subrasante, que como queda dicho es una capa de terracerías mejoradas, la sucesión de las que constituyen el pavimento (subbase hidráulica, base hidráulica, base estabilizada y carpetas), requieren del empleo de materiales granulares.

Las principales fuentes de suministro de materiales pétreos pueden ser:

- Ríos o arroyos
- Depósitos de aluvión
- Mantos rocosos

Los dos primeros generalmente proporcionan materiales redondeados muy duros que no siempre pueden ser utilizados en su forma natural: sus cantos redondos pueden afectar su acomodo y resistencia, sin embargo si se les aplica un tratamiento

previo de cementación o trituración parcial, resultan adecuados.

Con respecto a los bancos rocosos, se tratará de trabajar con mantos de adecuada dureza. Los materiales muy intemperizados o producto de formaciones sedimentarias o metamórficas jóvenes o incompletas, generalmente resultan blandos y son rechazados. La explotación de estos bancos dependerá de sus características.

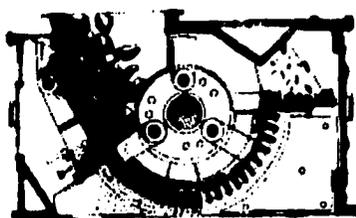
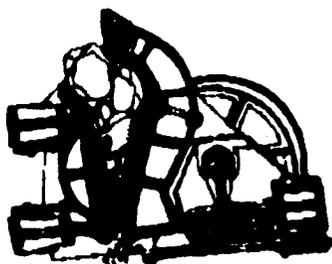
Depósitos de aluvión o playones de ríos y/o arroyos, podrán explotarse utilizando tractores, cargadores frontales y camiones.

Los mantos rocosos, como ya se ha mencionado generalmente requieren del uso de explosivos, a menos que se encuentren fracturados.

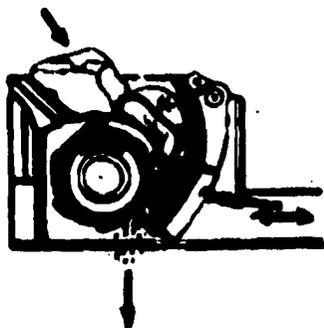
Si los materiales habrán de ser triturados habrá que tomar en cuenta el tamaño máximo de agregado que acepte el equipo, lo que puede provocar en el caso de los depósitos o playones, una selección previa a la carga; en el de los mantos rocosos, una separación adecuada de los barrenos.

En función de las granulometrias que se requiera obtener para las diferentes capas del pavimento, los equipos de trituración podrán consistir de una máquina primaria que reduzca el tamaño de las piedras a 10 ó 12.5 cm., una secundaria que las fragmente a 6.4 ó 5.1 cm. y una terciaria que las fragmente hasta los tamaños menores necesarios comúnmente 1.9 ó 1.3 cm.

Las quebradoras primarias podrán ser de muelas o quijadas o del tipo de impacto. las secundarias y terciarias, de rodillos, cónicas o de impacto.



Trituradoras



Trituradora

Su capacidad de producción estará en función de los volúmenes por obtener y el tiempo en que estos se requieren.

Desde el punto de vista de homogeneidad en la calidad de los materiales, no siempre se logra que el banco, la aporte. En los casos de aluvión, al ir profundizando la extracción, las características pueden cambiar empeorando o mejorando; en los mantos rocosos, por lo común a medida que se profundiza mejora la calidad al encontrar mantos menos intemperizados; sin embargo, ello no constituye una regla, pues se da el caso de que el manto sea de pequeño espesor y el banco deba desecharse (esta posibilidad siempre es consecuencia de un estudio geológico incompleto y debe evitarse que ocurra).

Los mantos de roca de tipo sedimentario, que comúnmente presentan características diferentes conforme a la profundidad,

aunque en algunos casos de formaciones volcánicas o metamórficas también ocurre. Así, puede suceder que aunque el producto de la trituración de una capa específica no resulte del todo conveniente, la mezcla de dos o más sea satisfactoria.

En mantos calizos de casi todo tipo, se presentan formaciones lajeadas que a su vez producen abundancia de partículas de forma plana o alargada que no resultan adecuadas para algunas capas del pavimento.

Por otra parte, la presencia de tierra, empacando tanto a los depósitos de aluvión como a las formaciones rocosas debe ser analizada, en particular si se trata de arcilla. Su presencia debe estudiarse con detenimiento y mediante pruebas de laboratorio revisar si influye negativamente en el producto, ya que las especificaciones admiten un determinado porcentaje de contracción lineal para los materiales de subbase (3%), base (2%), y mezclas asfálticas (2%).

De ser necesario, un proceso de eliminación de polvo deberá ser incluido durante la trituración o antes de la utilización de los materiales, bien sea por cribado o lavado.

4.4.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA PAVIMENTACION.

Conforme a lo que indiquen las normas de calidad, tanto durante la trituración como antes del tendido de los materiales en la capa deberán de hacerse muestreos para determinar:

1. Granulometría.
2. Grado de dureza.
3. Límites de Atterberg.
4. Valor relativo de soporte.
5. Valor cementante.
6. Contenido de materia orgánica.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

7. Equivalente de arena.
8. Porcentaje de partículas planas o alargadas.
9. Peso volumétrico máximo seco.

Como ya se menciona anteriormente y en preparación para los procesos de verificación de las compactaciones en las capas de la subbase, habrán de obtenerse los contenidos óptimos de agua generalmente por los métodos de Porter.

4.4.2 CAPAS DE SUBBASE Y BASE HIDRAULICA.

La construcción de la capa de base hidráulica, en función de su espesor generalmente se realiza, dependiendo del equipo empleado en dos o tres subcapas, manejadas con las mismas precauciones recomendadas para las rasantes inertes.

El procedimiento normal consistirá de las siguientes operaciones, a partir de la llegada de los camiones cargados desde el almacén en los patios de trituración:

- El material es descargado acomodando los montones a la distancia que convenga en función del espesor de la capa.
- Empleando motoniveladoras se lleva a cabo revoltura del material, formando un camellón.
- El laboratorio muestrea el camellón y en su caso lo acepta.
- Con motoniveladoras se tiende el material seco y sobre él se hacen pasar los autotanques que lo riegan con el agua necesaria para la compactación, ordinariamente en volumen suficiente para obtener la humedad óptima o un poco por encima de ella.
- Se mezcla el material hasta conseguir un grado uniforme de humedad en todo el camellón. Puede ser conveniente, de requerirse, que el laboratorio revise el grado de humedad y su uniformidad.

- Se realiza un tendido de la subcapa en espesores no mayores de 10cm. que se someten al paso del equipo de compactación apenas lo suficiente para un acomodo inicial. Una vez tendido todo el material, se extenderá el proceso de compactación durante el tiempo que sea necesario hasta obtener el porcentaje especificado, que por lo común es del 100 por ciento.
- Al llegar a la subcapa final, antes de conseguir la compactación total, por métodos topográficos se fijaran elementos al piso que sirvan de guía a los operadores de las motoniveladoras para obtener una superficie dentro de la tolerancia de niveles (que para este caso, por lo común es de +/- 1.0 cm.
- El alineamiento longitudinal, con tolerancia de +3cm, será comprobado y en su caso corregido, recargando donde se requiera o cortando los excesos. Siempre será preferible construir las capas con exceso de ancho y luego cortar, recuperando el material.
- Resulta conveniente, pues se gana tiempo y calidad, tender la última subcapa empleando una máquina extendedora, con ellas se simplifica el control de niveles. En este caso, el material se prepara en una plataforma de mezclado, humedeciéndola en el grado adecuado; ya mejorado, se transporta hasta la máquina que la tenderá, de contarse con equipo de mezclado, su uso acelerará el proceso.
- Concluido el trabajo en cada subcapa, se revisará que el grado de compactación haya sido alcanzado, al término, se revisarán también las tolerancias en nivel y alineamiento. Para ello, se realiza una nivelación topográfica de precisión con cuadrícula a cada 5m; en aeropuertos se utilizan reglas metálicas para verificar que entre puntos no existen protuberancias o depresiones fuera de norma.

Las líneas de unión entra capas a todo lo largo del pavimento son objeto de una verificación cuidadosa, tanto en compactación como en niveles.

4.4.3 EQUIPO EMPLEADO.

1. Para la mezcla seca, húmeda ,tendido y afinamiento.

- Motoniveladoras.
- Autotanques con barras de riego.
- Equipo de mezclado.
- Extendedoras.

2. Para la compactación inicial.

- Aplanadora tandem o triciclo con peso entre 8 y 14 toneladas.
- Rodillos lisos vibratorios de arrastre o autopropulsados.

3. Para la compactación final.

- Rodillos lisos vibratorios
- Rodillos neumáticos autopropulsados con peso entre 20 y 30 toneladas de preferencia con variación de presión en llantas.
- Aplanadoras tandem con peso entre 8 y 14 toneladas.

No siempre el procedimiento resulta sencillo. A veces, aunque los materiales no entrañen problemas, una inadecuada combinación de equipo produce comportamientos anómalos en la capa. Por ejemplo, cuando los materiales tengan abundancia de partículas finas, la aplicación de rodillos neumáticos antes de tiempo que por efecto de amasamiento, los finos sean empu-

ados hacia arriba produciendo una costra dura que impide el paso de los riegos de agua para mantenimiento en la humedad de compactación. Este fenómeno, denominado "encarpetamiento" impedirá lograr la compactación especificada. Por lo contrario usar por tiempo excesivo los equipos vibratorios, puede producir un rompimiento en la estructura del material.

Así pues el empleo de cada maquina deberá racionalizarse, a fin de obtener, como resultado, capas con la compactación y nivelación requerida y con adecuada distribución de partículas finas en todo el espesor.

4.5 BASES Y RIEGOS

La textura de la superficie de la base hidráulica debe ser lo suficientemente abierta para permitir el paso de agua de mantenimiento de humedad; una superficie demasiado cerrada y lisa no siempre es deseable, ya que como se ha dicho, adquiere condiciones de dureza indeseable. Por su parte, la textura demasiado abierta y carente de finos, resultara permeable en exceso, amen de provocar problemas en la aceptación de la capa por niveles.

4.5.1 RIEGO DE IMPREGNACION

Para proteger la base hidráulica mientras se construyen las capas de base estabilizada o carpeta que lo cubrirán, es conveniente proteger su superficie mediante la aplicación de un riego asfáltico rebajado de fraguado medio, por lo común en proporción de 1.0 a 1.5 l/m² (dependiendo de la textura).

Si la textura superficial es adecuada, el asfalto penetrará hasta una profundidad en el orden de 10mm., forman de hecho una ligera carpeta que impermeabilizará la capa y le permitirá resistir efectos de erosión por lluvia o viento, o de abrasión por tránsito de vehículos o equipo de construcción.

El producto asfáltico empleado, bien sea rebajado con solventes o emulsionado, debe corresponder a normas de fraguado medio, con el propósito de que haya adecuada penetración y la base asfáltica que permanezca al perderse los solventes o el agua sea suficiente para garantizar la impermeabilización de la capa. Si se utilizan productos de tipo lento, habrá mayor cantidad de solventes o agua, que aunque permitirán mayor penetración, dejarán menos residuo asfáltico, obligando a incrementar el litraje por metro cuadrado o a repetir el riego para conseguir el efecto de impermeabilización buscado.

Previo al riego del producto asfáltico la superficie deberá prepararse: la existencia de polvo suelto, o de una capa encarpada de material fino impedirá obtener resultados satisfactorios, el polvo suelto formará grumos con el asfalto si tiene afinidad con el, afectando a la libre penetración, si no la tiene, provocará la formación de lunares secos en donde tampoco habrá penetración, produciendo encharcamientos de asfalto o natas del mismo que posteriormente serán zonas problemáticas.

- Riegos matapolvo:

Si la base hidráulica esta constituida por materiales poco cementados, aunque cumpla con normas, la superficie quedará cubierta con materiales finos relativamente sueltos que, si se tratan de eliminar para que no haya polvo, por barrido, se provocará la exposición de partículas gruesas, dejando una textura áspera.

En estos casos resulta más conveniente sellar la superficie mediante la aplicación de un riego ligero de agua que

se deja secar hasta una profundidad del orden de 1.0 cm. y luego tirar el riego de asfalto; las características de textura abierta de este tipo de bases, garantizan la penetración.

Por la acción que representan estos riegos se denominan como queda titulado.

- **Barrido:**

Es el procedimiento más común. Se lleva a cabo a mano utilizando cepillos de cerdas de dureza media, de tipo vegetal o de plástico, o bien utilizando rodillos barredores (con cerda vegetal o plástica), tanto arrastrados como autopropulsados.

El empleo de cerda plástica está indicado para superficies duras en donde interesa abrir la textura, las del tipo vegetal, para las de grado intermedio.

En todo caso se tratará de desalojar del área por impregnar con asfalto, el polvo suelto.

- **Rastrillado:**

La presencia de costras de polvo duras y encarpetadas es del todo conveniente, pues impedirán la penetración del asfalto.

Si el barrido enérgico con rodillos de cerda plástica no logra abrir la textura, se hace necesaria una acción más agresiva que rompa la capa; para ello; resulta conveniente rastrillarla para soltar el polvo y pocederlo a barrer.

Por experiencia puede construirse un implemento sencillo, de bajo costo, que de resultados satisfactorios.

- **Superficie mal preparada:**

Siempre será la que tenga polvo suelto, con el que el asfalto se aglutina sin penetrar o bien hace lunares provocados por la tensión superficial del líquido ante la superficie suelta.

De cualquier forma, la penetración está dispareja: mayor en donde hay poco polvo y menor (o nula) en donde hay mucho.

- **Efectos de la salinidad.**

Cuando la vía se construye en zonas próximas al mar, en terreno seguramente de tipo sedimentario, es común que tanto los materiales de las terracerías, como los triturados para la pavimentación tengan sales en incorporación.

Aunque se tome la precaución de utilizar agua dulce durante los procesos de compactación, las partículas salinas tienden a ascender y, es común, observarlas claramente como grandes manchas blanquecinas sobre la superficie de las capas.

Cuando se llega a la base hidráulica, la impregnación con asfalto puede tornarse un problema, pues francamente la reacción química del asfalto con las sales provoca primero la aparición de ampulas de pequeño tamaño que van creciendo formando lentes de mezcla de polvo con asfalto, totalmente suelto. A medida que crece la reacción, se va perdiendo el efecto de la impregnación hasta desaparecer totalmente, en un proceso que se inicia tras la pérdida de solvente o agua (en las emulsiones) y que dura entre 5 y 10 días, dependiendo de la concentración de sales. Al final, resulta una capa negruzca totalmente suelta, que si es barrida dejará los materiales gruesos superficiales expuestos.

A mayor abundancia de finos superficiales, más violenta la reacción; de aquí que en zonas costeras sea más importante vigilar el correcto barrido de las bases por impregnar.

En caso de que no se tomen las adecuadas precauciones, y sobre todo en un proceso acelerado de obra, se corre el riesgo de que la reacción química se produzca cuando se ha tendido la capa subsecuente (base asfáltica o carpeta), agravándose el problema por la falta de liga entre capas que la pulverización provocará. Por ello, resulta sumamente importante garantizar que este tipo de complicación se minimice o anule.

El barrido enérgico, eliminando totalmente el polvo superficial será, pues, muy conveniente, aunque puede redundar en incremento de costos y pérdida de tiempo.

Combatir fuego con fuego siempre ha dado resultado. Aunque los procesos constructivos de las obras de tipo terrestre fundamentalmente se trabaja con conceptos físicos, en ocasiones la química es importante, como en el caso que nos ocupa.

Los materiales asfálticos, originalmente son productos de base ácida.

Es fácil al hablar de terrenos salinos cometer el error de generalizarlos hacia sales alcalinas, del tipo del cloruro de sodio (sal común). En este orden de ideas, se antojará lógico neutralizar la acción de las sales aplicando a la superficie de trabajo un riego ácido que produzca un ph neutro.

Sin embargo, en ocasiones las sales que se presentan son de tipo ácido, por lo cual, al agregarles más ácido agrava la reacción. En consecuencia conviene conocer si el ph del suelo es ácido o alcalino, afin de tratarlo en consecuencia, esto se logra fácilmente utilizando papel reactivo para ph, que se expende en rollos o tiras y que trae, en el

paquete, una clave de las coloraciones que puede adquirir el papel según el ph de la substancia en prueba.

Una pequeña muestra de los finos superficiales, mezclada con agua destilada sometida a prueba, dará el valor del ph del suelo por impregnar. Si resulta alcalino, deberá neutralizarse con ácido; si ácido requiere de la aplicación de productos básicos. Bastará encontrar en el laboratorio el grado de concentración de la substancia correctiva por utilizar, buscando, por ejemplo emplear productos muy económicos.

Un autotanque de riego, con la solución necesaria en su depósito, y tirando el producto a la velocidad necesaria para obtener una concentración adecuada por metro cuadrado, será, finalmente, la respuesta ocasionada por la salinidad.

Dicho riego correctivo químico debe realizarse después del barrido, dejándolo secar antes de proceder a la impregnación del producto asfáltico.

4.5.2 BASES MEJORADAS.

No siempre los bancos de préstamo de los que se extraen los materiales para bases resultan del todo adecuados, pero cuando no hay otro remedio que usar los que se tengan a la mano, por cuestiones de economía, se tendrá que recurrir a la opción de mejorar los productos.

Con frecuencia ocurren estas posibilidades: producto con VRS y valor cementante bajos, por falta de partículas finas o por características inertes de ellas, o bien, VRS bajo pero alto valor cementante por presencia de partículas finas activas de tipo arcilloso. En los dos primeros casos, la contracción lineal es nula o despreciable; en el segundo puede rebasar el límite permitido por las especificaciones. En los dos primeros casos,

la carencia de valor cementante dificultará el proceso de compactación, en el último, el material puede no aceptarse.

Para mejorar bases con alto VRS pero bajo contenido de finos y pobre valor cementante, la adición de un limo, puro o mezclado con arena y aún algo de arcilla; mejorará sus características aumentando la trabajabilidad, sin decremento de su buena resistencia.

En bases con VRS alto y bajo valor cementante pero que si tienen finos, inertes, se mejorará la cementación adicionando pequeñas cantidades de arcilla seca pulverizada. El empleo de tobas o cenizas volcánicas será también indicado en estos casos, por sus características cementantes.

Por lo contrario, bases con contenidos de materiales arcillosos altos pueden mejorarse mezclándolas con arena limpia, limo puro o arenoso y/o tobas o cenizas volcánicas. En todos los casos, el material de adición deberá tener contracción lineal inapreciable o nula, a fin de mejorar las características de la mezcla.

Pese a las alternativas enunciadas, podrá darse el caso de que los materiales resultantes no sean del todo adecuados y sea requerido mejorarlos aún más mediante la adición de productos aglutinantes para formar la denominadas bases estabilizadas, sobre las que se comentará a continuación.

4.5.3 BASES ESTABILIZADAS

Cuando se desean mejorar las características de un material de base, tanto por necesidades como por conveniencia, se recurre a adicionarle cementantes tanto hidráulicas (cemento, cal) como asfálticos (asfalto rebajado o emulsión asfáltica).

Si la capa cementada permanece sobre las terracerías o la subbase, simplemente como una base de características mejores

que las naturales (aún corregidas), a la base se le denominara estabilizada.

Si la capa se coloca sobre una base hidráulica normal, será denominada base cementada o bien base negra o asfáltica, en su caso.

- **Bases cementadas.**

Serán diseñadas según la resistencia a la compresión que se desea obtener: en el laboratorio podrán hacerse equivalencias entre la resistencia a la compresión y el VRS de un material natural. Podrán buscarse valores entre 19 y 15 kg/cm² de resistencia en especímenes cúbicos de 5 cm de lado, para los cuales se especifican adiciones (en volumen) de cal o de cemento entre el 3 y 6 por ciento (por ejemplo).

Para lograr una adecuada mezcla, será requisito que los materiales estén secos; los bultos de cal o cemento se rompen sobre los camellones de base mezclada previamente, distribuyéndolos uniformemente a todo lo largo de ellos. Luego, con las motoniveladoras se realiza la incorporación del aglutinante al árido. El agua deberá aplicarse con rapidez, revolviendo y tendiendo la capa oportunamente para que su compactación se realice dentro de los tiempos de fraguado. Obviamente las dimensiones de los tramos estarán en función del tiempo disponible para el trabajo y la capacidad de los equipos empleados.

- **Bases negras o asfálticas:**

Su resistencia se medirá en función de la "estabilidad Marshall" obtenida. Se valuará en relación con el contenido de cemento asfáltico base, la granulometría de los áridos y el grado de compactación obtenido.

La resistencia obtenida será lograda, según pruebas de laboratorio, mediante un determinado porcentaje del cemento asfáltico que se traduce en un litraje por metro cúbico de un asfalto rebajado de fraguado rápido o una emulsión de rompimiento rápido, así, para estabilizaciones podrá hablarse, por ejemplo, de contenidos de asfalto base del 2 al 4 por ciento para litrajes de 50 a 80 l/m³.

Sobre una cama de los áridos secos, con un autotanque dotado de barra de riego bajo presión de bombeo, se tiende el asfalto rebajado calentado hasta la temperatura indicada, o la emulsión asfáltica, en la proporción recomendada por el estudio de laboratorio.

Revolviendo con motoniveladora hasta lograr uniformidad en la mezcla, se consumirá parte del tiempo necesario para que los solventes se volatilicen o la emulsión se rompa. Casi siempre será aún necesario esperar por periodos que varían de 1 a 6 horas que la evaporación se complete antes de proceder a la compactación de la base estabilizada, proceso poco diferente al común.

Tanto en las bases cementadas como en las asfálticas, una vez concluido el proceso de compactación, deberá completarse el del fraguado de los aglutinantes antes de considerar terminado el trabajo.

Si las capas de base cementada ya van a emplearse como elemento de refuerzo en la estructura del pavimento entre la base hidráulica y la carpeta, resultará muy conveniente, por cuanto mejora la calidad y se acelera el proceso, preparar las mezclas en plantas estacionarias: las hidráulicas cementadas con cal o con cemento, en plantas para concreto hidráulico; la asfálticas, en las que se utilizan para concreto asfáltico. En tal caso, la dosificación de áridos y cementantes se lleva a cabo rápidamente y con precisión; el tendido, hasta espesores de 15 a 18 cm, se puede ejecutar con extendedoras para carpeta, logrando mejorar la textura superficial, los niveles y el alineamiento lo que,

con motoniveladoras, no resulta sencillo. Obviamente el proceso se acelera.

4.5.3.1 EQUIPO EMPLEADO PARA BASES ESTABILIZADAS (PROCESO EN CAMPO):

a) Para cal o cemento hidráulico:

- **Motoniveladoras.**
- **Camión distribuidor de bultos de cemento.**
- **Pulverizadora - mezcladora de tipo agrícola.**
- **Autotanque para agua, con barra de riego.**
- **Compactador liso vibratorio.**
- **Compactador neumático.**
- **Aplanadora.**

b) Para asfalto rebajado o emulsión (de fraguado rápido)

- **Motoniveladoras.**
- **Autotanque petrolizador con barra de riego.**
- **Compactador liso vibratorio.**
- **Compactador neumático.**
- **Aplanadora.**

4.5.3.2 EQUIPO EMPLEADO PARA BASES CEMENTADAS O ESTABILIZADAS (PROCESO MIXTO: PLANTA ESTACIONARIA Y CAMPO):

a) Para cal o cemento hidráulico

-
- Planta dosificadora - mezcladora para concreto hidráulico.
 - Camiones de transporte para la mezcla.
 - Extendedora autopropulsada sobre orugas o neumáticos, con amplitud de tiro variable y espesor controlado.

b) Para asfalto rebajado, emulsión o cemento asfáltico:

- Autotanque pretrolizador.
- Planta productora de concreto asfáltico caliente.
- Camiones transportadores.

- Extendedora autopropulsada con control de ancho y espesor.
- Compactador neumático.

4.5.4 RIEGO DE LIGA.

En los pavimentos flexibles, es necesario que, para lograr un comportamiento homogéneo de la estructura, las capas que lo componen estén ligadas entre sí: la base hidráulica se unirá con la base negra o cementada (si la hay), y esta a su vez con la carpeta.

Se hará necesario, por tanto, aplicar un producto que, actuando como cementante, establezca liga entre las capas. Lo más común resulta ser, aplicar un asfalto rebajado de fraguado rápido.

Si los materiales asfálticos que se vienen empleando en el proceso son emulsiones, la liga deberá también hacerse con el mismo producto, utilizando las de tipo rápido.

Previamente a la aplicación de un riego de liga, la superficie deberá estar seca y limpia, libre de basura y/o polvo. El barrido a mano o con escoba mecánica será obligado.

- **Densidad del riego:**

Dependerá de varios factores. Si se aplica sobre una impregnación vieja y oxidada, deberá utilizarse como revitalizador del riego anterior. En estas condiciones, riegos con proporción de 1.5 a 1.8 l/m² no resultan extraños.

Si se aplican, la capa subsecuente sólo se podrá trabajar hasta que el riego haya perdido solventes y el asfalto base, quede libre.

Sobre impregnaciones vivas o recientes el riego deberá ser suficiente para cubrir, al ser aplicado a presión, toda la superficie con una película delgada y uniforme. Así se encontraran proporciones variables entre 0.7 a 1.9 l/m² dependiendo de la textura de la superficie, una lisa requerirá menos asfalto que una áspera. Finalmente, cuando hay sucesión constructiva de las capas, el riego se reduce a una mínima expresión, simplemente para reemplazar la película superficial que se haya oxidado en plazos superiores a 24 hrs. (en plazos menores puede no requerirse liga). Entonces, se tendrán riegos que apenas dibujan líneas sobre la zona: 0.2 a 0.3 l/m² resultan tan tenues que deben ser extendidos utilizando escobas o la llantas de un compactador neumático.

4.6 CARPETAS ASFALTICAS

A continuación se describirán los componentes (nuevamente) de los concretos asfálticos, su función y su proceso constructivo, así como el equipo empleado:

a) **Materiales áridos (agregados).**

Deben cumplir con las normas que se estén utilizando, por lo que se refiere a granulometría, densidad y peso - volumétrico, dureza y límites de Atterberg.

Los tamaños máximos a utilizar jugarán un importante papel en el resultado final: tamaño máximo de 199 mm. dará por resultado una textura áspera, con buen coeficiente de fricción, la mezcla demandará contenidos de asfalto razonables (6 - 7 % para áridos comunes), pero exigirá espesores de carpeta con tamaños mínimos de 4cm, y normales de 7cm. en los cuales llega a haber problemas para lograr niveles finos dentro de normas. Tamaño máximo de 13 mm. mejora la calidad de la nivelación, permite espesores de carpeta mínimos de 3cm, con consumos de asfalto entre 7 y 8.5%, pero da como resultado superficies más lisas con bajo coeficiente de fricción, que pueden obligar a tomar acciones posteriores para mejorarlo. Finalmente mezclas con tamaño máximo de 6.4 mm. producen carpetas con espesores mínimos de 2cm., texturas muy finas y cerradas con alta calidad topográfica, por su pequeño espesor pueden tenderse muy rápidamente con un alto grado de precisión, pero requieren de concentraciones de asfalto elevadas (9 - 12 %).

Como consecuencia de lo anterior, resulta que el tamaño recomendable es para vías terrestres (carreteras y pistas importantes) es el de 19 mm., si se toman las precauciones necesarias para lograr un acabado adecuadamente nivelado. Los dos tamaños restantes tienen sus pros y sus contras, según el destino que se les desee dar.

Dependiendo del tipo de planta que se vaya a emplear para fabricar el concreto asfáltico, los materiales se separaran por tamaños, por ejemplo, de 19 a 13 mm, de 13 a 9.5 mm, de 9.5 a 6.4 mm, y de 6.4 a polvo, si solo se cuenta con tres. Esta separación facilitará, mediante la adecuada dosificación, obtener en la máquina la curva granulométrica más adecuada.

b) Cemento asfáltico:

El cemento asfáltico es, en general, un residuo de la destilación de crudos de petróleo. Mediante una adecuada combinación de adicionantes, se pueden lograr productos con características en cuanto a elasticidad, grado de dureza, temperatura de fusión (son rígidos a la temperatura ambiente) y grado de fraguado. Con clasificaciones entre el No. 1 y el No. 12 se identificaran por sus características físicas y, sobre todo, por su tiempo de fraguado. Así, los cementos del No. 2 al 4 son del tipo lento, trabajan a temperaturas de fusión bajas y son muy elásticos. Los del No. 5 al 8 son de tipo medio, en todas sus características; son los más comúnmente empleados. Por último, los del No. 9 al 12 son de fraguado rápido, alta temperatura de trabajo y alta dureza.

Como ejemplo: En los aeropuertos mexicanos se especifican cementos asfálticos del No. 6, aunque se toleran los del No. 5 y 7, esto es, se trabaja con cementos de tipo medio, con dureza y elasticidad medianas, temperatura de fusión entre 85 y 90 grados centígrados, temperatura adecuada para mezcla entre 110 y 125 grados centígrados y tiempo de fraguado (a la temperatura ambiente de 21 a 24 grados centígrados) en el orden de 1.5 a 2 horas.

c) Preparación de la mezcla:

Hay dos tipos fundamentales de plantas para preparación de mezclas asfálticas: las llamadas de bachas, con capacidades de entre 0.23 y 2.80 t/hr muy buenas en su tiempo han resultado muy lentas al compararlas con las modernas llamadas de producción continua, que producen 90 a 350 t/hr o más.

Como las del tipo de bacha ya no son usuales solo comentaremos las del tipo continuo que son las utilizadas en la actualidad.

Las plantas de producción continua, solo están limitadas por el tamaño de sus elementos, ya que trabajan a base de gastos de fluidos: uno de áridos y otro de asfalto, si los dispositivos para calentar los materiales, mezclarlos y almacenarlos mientras se dispone de ellos son suficientemente grandes, la producción puede ser muy importante.

Las plantas mayores, económicamente operables, están en el volumen de producción de 300 a 350 t/hr.

Complicados mecanismos computarizados, se encargan de controlar el flujo de los materiales de aportación, la temperatura de los áridos, el asfalto y del volumen de mezcla almacenada o descargada, llevando gráficas de control de todos los aspectos importantes de la producción.

En estos equipos, los áridos son entregados en flujo continuo, a razón de litros o kilogramos por segundo, a una banda transportadora. Cada tolva tiene una compuerta que se abrirá tanto como lo requiera la curva granulométrica adecuada. La banda arroja los materiales sumados (de finos a gruesos) al tambor secador; en él, un potente succionador elimina el polvo en suspensión. Los áridos son secados y calentados en ese tambor y, al salir son rociados mediante una tobera a presión, con el volumen de asfalto requerido, también caliente. Los agregados, pintados con el asfalto, caen en una tolva, de donde son tomados por un elevador que, en parte contribuye a revolver y uniformizar la mezcla con los cangilones con los que está dotado. La mezcla asciende y cae a depositarse en un sitio de almacenamiento, desde el que llegará a los vehículos de transporte.

Aunque bien controladas las plantas continuas funcionan de manera impresionante, bastan pequeñas fallas o descuidos para que una gran cantidad de mezcla asfáltica se eche a perder. Por ejemplo si los áridos o el cemento asfáltico no están a la temperatura adecuada, la bomba del aspersor de asfalto funciona irregularmente, o el propio aspersor resulta obstruido, la mez-

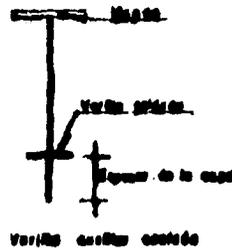
cla obtenida resultará heterogénea, con partes secas, sin asfalto, porque no se adhirió a los áridos el aglutinante.

La gran velocidad de producción obligará a la empresa, y a la supervisión, a estar sumamente atentas a fin de detectar cualquier anomalía oportunamente.

d) Tendido y compactación.

El tendido se simplifica con el empleo de máquinas terminadoras (finisher) con su auxilio, se tienden franjas sólo limitadas por el tamaño de la máquina, en espesores que pueden variar, en el caso de carpetas, entre 2 cm para materiales finos y 4 a 12 cm para los normales. En efecto hay terminadoras que permiten tirar anchos de 12 m aunque las comunes permiten tirar franjas del orden de 4.5 con el máximo de sus extensiones. Maquinas modernas permiten con elementos hidráulicos, variar al antojo del operador, el ancho de la franja entre su mínimo y su máximo simplemente pulsando botones.

La máquina recibe, al frente, la mezcla enviada desde la planta mediante un transportador de cadena lo remite a la parte posterior en donde un gusano sin fin lo distribuye a todo lo ancho; una placa que se mantiene caliente por medio de quemadores de diesel, lo enrasa, y mediante vibración, lo acomoda uniformemente produciendo la primera compactación superficial, al paso de la máquina, de requerirse, un grupo de personas entrenadas, utilizando rastrillos metálicos afina la capa, reduciendo espesores o recargando zonas bajas.



La placa enrasadora es controlada mediante tornillos que permiten afinar los espesores a los lados y al centro de la máquina, permitiendo ajustarlos a medida que el tendido avanza.

Una vez que la temperatura ha descendido a niveles adecuados (90-105 °C para el cemento número 6), se procede a la compactación inicial, empleando aplanadora con rodillos en tandem (dos rodillos lisos alineados). Si la temperatura es aún elevada, se observará que se forma un bordo adelante del rodillo frontal (corrimiento de la carpeta), si es baja, la huella de los rodillos es apenas visible, siendo correcta la temperatura, no hay presencia de bordo y la huella dejada por las orillas de los rodillos se borra al pasar nuevamente el compactador.

La aplanadora se moverá siempre de una orilla de la franja hacia la otra. Si se trata de segunda franja, la primera pasada montará la mitad del rodillo sobre la franja anterior y la otra sobre la nueva, a fin de garantizar que la zona de unión quede adecuadamente compactada.

La aplanadora, una vez que ha terminado de cubrir la franja reiniciará el proceso, para, al menos dar dos pasadas a media huella: osea montando el centro de los rodillos sobre la línea del borde de la pasada anterior.

Terminada la compactación inicial, se hace entrar un compactador neumático autopropulsado, con llantas, que, trabajando también a media huella, pasará sobre la franja tantas veces como se requiera para obtener la compactación especificada

(ordinariamente del 95% del p.v.m.s. determinado en la prueba Marshall)

En la actualidad se cuenta con máquinas que cuentan con rodillos metálicos en tandem que pueden trabajar rodando simplemente o bien produciendo vibración en uno o en los dos rodillos; este equipo permite acelerar notablemente el proceso de compactación de la carpeta asfáltica.

El procedimiento consistirá en dar dos pasadas a media huella con los rodillo sin vibrar y, a continuación dar de dos a cuatro vibrando en frecuencia baja a media, si se realizan pruebas preliminares ayudará a ajustar el método.

En este caso, el uso del rodillo neumático seguirá siendo recomendado para asegurar el cierre de la estructura de la capa. Posteriormente, y para asegurar sobre todo, que la zona de unión entre las franjas ha quedado adecuadamente cerrada, se deberá proceder a añadir compactación en sentido transversal a todo el ancho de la zona. Este proceso, se recomienda preferentemente, realizarse al día siguiente de que se complete el ancho total de la carpeta, al mediodía aproximadamente, para aprovechar el calentamiento ocasionado por el sol.

Por lo anterior se destaca la conveniencia de reducir la longitud de las franjas tendidas, en beneficio de lograr el ancho total en corto tiempo.

Al término de cada jornada, el extremo longitudinal de las franjas deberá procurarse no quede alineado, a fin de evitar la coincidencia de la línea de unión.

e) Control de calidad de los materiales de la mezcla y de la capa:

El laboratorio juega un papel muy importante en todas las etapas de fabricación de una buena carpeta asfáltica.

Desde la etapa de explotación del banco de préstamo, debe indicar, cuál es el estrato mejor para las mezclas asfálticas,

buscando, siempre, los materiales de tipo más compacto, menos fisurado y sano (carente de contaminación polvosa y empacada). Durante la trituración estará atento a las granulometrias que se obtengan, bien sea que se vaya a producir base asfáltica con t.m.a. de 25 mm. o carpeta con t.m.a. 19 -13 mm., recomendando, en su caso, las separaciones por tamaños, que resultarán más convenientes para lograr que la planta de fabricación del concreto asfáltico produzca la mejor granulometría.

Probará la afinidad de los materiales de base asfáltica y carpeta, con los productos, especificando, de así requerirse, los aditivos para mejorarla.

A partir de una granulometría ideal obtenida en el laboratorio, llevará a cabo las pruebas Marshall para conocer los resultados óptimos de:

- Estabilidad de la mezcla:
Resistencia a compresión anular en muestras cilíndricas de dimensiones y fabricación especificadas.
- Contenido óptimo de cemento asfáltico.
- Porcentaje de vacíos de la muestra óptima (normado entre 2 y 4 %)
- Flujo de la mezcla:
Es la deformación de la muestra cilíndrica bajo compresión anular al momento de la falla por ruptura (3 - 8 %)

Posteriormente, se vigilará que en la planta de asfaltos, el producto sea el especificado, que los materiales estén separados por tamaños conforme a sus recomendaciones y que se tenga previsto el aditivo para mejorar la afinidad del material pétreo con el cementante, si es requerido.

Participará en las pruebas de calibración de la planta tratando de lograr que la curva granulométrica se apegue a la ideal obtenida en el laboratorio. Constatará que el asfalto y el aditivo se dosifiquen en las cantidades especificadas y ya sobre la

mezcla producida, hará ajustes al estudio Marshall para hacer lo congruente con lo que la planta puede fabricar, realmente.

Durante el proceso normal de fabricación y tendido, obtendrá muestras de la producción en forma constante, pero aleatoria, tanto para controlar granulometría y contenido de asfalto, como para fabricar especímenes para las pruebas Marshall. La temperatura con que la mezcla sale de la planta deberá registrarse sistemáticamente.

Al llegar a la zona de tendido, se tomará la temperatura de la mezcla sobre el camión, aceptándose dentro de los parámetros marcados por la especificación correspondiente, dependiendo del No. de cemento empleado.

Al ser colocada la mezcla en la capa, el personal de control de calidad vigilará que la distribución del material sea uniforme, que no existan bordos o depresiones en los niveles y que la zona de liga entre franjas esté adecuadamente trabajada.

Termómetros de tipo metálico calentados en la franja tendida indicarán a los operadores de los equipos de compactación el momento y la zona en donde puedan trabajar, una vez que la temperatura haya alcanzado el intervalo deseable, constatando que no existe corrimiento de la mezcla o ausencia de huella del rodillo.

Una vez terminada la compactación y fría la mezcla, se revisará la permeabilidad de la capa (que no debe exceder del 10 %), prestando especial atención a las zonas de unión entre franjas. Utilizando una broca cilíndrica abierta, obtendrá especímenes que permitirán, fundamentalmente, revisar el grado de compactación alcanzado, por comparación con el máximo del procedimiento Marshall.

Adicionalmente servirán para observar la forma en que quedó acomodada la mezcla, comprobando que no haya habido clasificación de las partículas. De ser necesario, aunque no se considera totalmente representativa, la muestra servirá, también, para verificar la estabilidad.

f) Problemas de calidad:

En general son de dos tipos :

1) Originados por la calidad deficiente de los materiales, tanto pétreos como asfálticos. Las causas más comunes son comentadas con sus alternativas de solución :

- **Curva granulométrica defectuosa:**

Por carencia de tamaños, debe corregirse la trituración o la separación pro cribado. Por falta de finos debe corregirse adicionando finos inertes: arena, limo, ceniza o toba volcánica, etc.

- **Por ruptura de las partículas gruesas durante la compactación:**

Consecuencia de materiales blandos, generalmente en el límite de aceptación de la prueba de desgaste. Si no es posible cambiar de banco, no hay solución, será necesario recubrir la carpeta terminada con un sello protector.

- **Desprendimiento de finos superficiales:**

Son evidencia de falta de afinidad entre pétreos y asfalto; debe se revisada la calidad y cantidad de aditivos. Es común en materiales duros, de origen volcánico o de aluvión la inadecuada afinidad con el asfalto, motivada por la falta de porosidad o por incompatibilidad de carga estática de electricidad. Los aditivos rompen la tensión superficial de los fragmentos pétreos permitiendo que el asfalto se adhiera a ellos.

- **Fraguado precipitado de la mezcla:**

Puede ser por bajas temperaturas ambientales (no se recomienda tender mezclas asfálticas cuando la temperatura sea menor de 18 °C) pero también ser índice de un cemento asfáltico de tipo rápido (No. del 8 al 12). Siempre y cuando se tenga tiempo para compactar las capas, no resulta un problema mayor.

- **Fraguado lento de la mezcla:**

Lo originan altas temperaturas ambientales, en cuyo caso siempre se logrará la temperatura para compactación, no importando tener que esperar el fraguado hasta que la mezcla se haya enfriado. Puede ser también producido por asfalto de baja denominación (No. 1 al 4), en cuyo caso sí puede ser un inconveniente al combinarse con las altas temperaturas ambientales, pues la utilización del pavimentos puede demorarse. De ser así, la carpeta deberá rechazarse.

2) **Originados por fallas durante el proceso de fabricación y tendido:**

- **Carpeta porosa:**

Falta de control de la granulometría, seguramente por falla de una compuerta en la planta. Por lo común, no pasa normas y es rechazada.

- **Carpeta cerrada:**

Indicadora de exceso de finos por fallas de control en granulometría. Puede cumplir con normas, pero la super-

ficie lista resultante deberá ser corregida para mejorar sus condiciones de fricción.

- **Mezcla pinta:**

Indicadora de baja temperatura de los materiales y fallas en la alimentación de asfalto caliente.

- **Mezcla excesivamente brillante:**

Indicadora de exceso de asfalto, producido por fallas en el control de la dosificación

- **Defectos de nivelación:**

Producto de falta de cuidado durante el tendido, o fallas en el equipo extendedor.

- **Carpeta abierta:**

Indicadora de falta de compactación completa. Si no es producida por fallas de granulometría, recompactando como ya se recomendó con equipo neumático pesado en ambos sentidos, se logra corregir el defecto.

- g) **Métodos mecánicos y electrónicos de control de nivel de tendido**

- 1. **Los mecánicos:**

Ya se ha mencionado que, en las máquinas extendedoras - terminadoras de mezcla asfáltica, una placa vibratoria caliente, en la parte posterior de la máquina, controlada mediante mecanismos a tornillo permite controlar los niveles de la capa que

se tiende. Por tanto, los operadores de estos mecanismos (llamados tornilleros) son responsables de dar el espesor requerido y, por ende, el nivel necesario que según las normas, sólo acepta variaciones en ± 5 mm como máximo.

Puesto que las bases aceptan tolerancias de hasta ± 10 mm, resulta una labor complicada el absorber las deficiencias de esa capa para convertirlas a las que tendrán que respetar en la rasante del pavimento.

Siendo así los tornilleros deben ser verdaderos expertos en su labor cuando el tiro se hace dependiendo de ellos. Para auxiliarse, comúnmente emplean una varilla acotada mediante una cruceta de metal soldada, que se ubica exactamente en la longitud que equivale al espesor por tender, corregido por abundamiento de la capa, tal como sales de la extendedora menos 5 mm.

Así el espesor final de la capa será de 70 mm y la mezcla tiene un abundamiento, después de vibrado superficial, de 1.18, la capa resultante deberá tener $70 \times 1.18 - 5 = 78$ mm, siendo este valor el que deberá medirse de la punta de la varilla a la base de la cruceta.

Al avanzar la máquina, el tornillero irá introduciendo este medidor, denominado escantillon en la capa tendida, vigilando que la cruceta apenas roce en la superficie y asegurándose de que la punta de la varilla se apoye en la inferior.

Obviamente, la labor precisa depende de la apreciación de los tornilleros, su habilidad para detectar espesores diferentes y su rapidez de reacción para corregirlos.

Cuando la base está trabajada con cuidado, y se ha recibido con estricto apego a las tolerancias, la carpeta tendida con este procedimiento resulta de buena calidad, sin embargo, no siempre se cuenta con tornilleros expertos y entonces se presentan molestos problemas de control de espesores y nivel de terminación.

Las empresas constructoras desarrollan, para auxiliar al tendido, una serie de ideas, más o menos complejas, para dar apoyo exterior al tendido; por ejemplo algunos colocan tabletas acotadas a determinada distancia según el recorrido de la extendedora, para verificar, utilizando largos niveles de burbuja, que en estos sitios se cumple el espesor y el nivel buscados; otros utilizan equipo topográfico y mediante comprobaciones frecuentes con estadales o reglas graduadas, hacen la misma verificación.

Dentro de estas ideas hay una que resulta particularmente adecuada y se apoya en un hecho innegable: en toda obra hay un buen topógrafo, con su auxilio y mediante una labor sencilla aunque laboriosa, el tendido queda simplificado y, aun con personal inexperto el los tornillos, se logran resultados de buenos a excelentes.

El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

- Dividir el ancho total del pavimento en tantas partes como lo permita el de la extendedora; mientras menos franjas, mejores resultados.
- Sacar perfiles longitudinales precisos, de la línea correspondiente a cada ancho, sobre la base terminada.
- Dibujar a escala horizontal reducida y vertical 1 : 1, la rasante de proyecto el perfil obtenido para cada línea de franja, considerando la capa a espesor abundado después de vibrar.
- Medir físicamente en el dibujo, los espesores por tender al milímetro, vaciándolos en una tabla de datos para su uso en el campo, si se cuenta con los niveles de proyecto, empleando un programa de computadora adaptado a una hoja de calculo lo anterior se reduce a vaciar datos y que la computadora calcule los espesores por franjas y las vacie en la tablas que se mandarán a campo.

- **Marcar en campo físicamente mediante estacas o cal, pintura los espesores por colocar, teniendo cuidado de referirse a un cadenamiento ubicado en los extremos, en el caso de los aeropuertos es más complicado porque los espesores de las carpetas varía, en el caso de las carreteras es más sencilla ya que por lo común el espesor de la carpeta permanece como constante haciendo más sencilla esta labor.**

2. Métodos electrónicos:

El procedimiento mecánico tiene un equivalente electrónico, algunos modelos de extendedoras pueden recibir un aditamento a manera de patín o pata de trineo que apoyado sobre un riel de guía, consistente en una tira de aluminio o solera de acero delgada, adecuadamente nivelado, reacciona electrónicamente en forma equivalente a la lectura que registre el palpador, enviando señales electrónicas a motores en los tornillos niveladores, al bajar el mecanismo, su señal hará bajar la palanca terminadora y viceversa.

Aunque útil, este mecanismo, requiere de una preparación meticulosa de la barra guía, pues resulta muy sensible a sus irregularidades, además si el operador de la extendedora, por alguna distracción o error desvía la máquina de la línea trazada provocando el brusco descenso del elemento sensor y la obvia reacción del tornillo.

Uno de los métodos modernos más precisos se basa en un equipo nivelador a base de rayo láser. Un aparato emisor, girando a alta velocidad emite un rayo láser prenivelado según las cotas de la rasante, en la extendedora, un receptor centraliza la señal recibida enviando información a los motores de los tornillos; cuando el rayo sube o baja conforme a las cotas pro-

gramadas para cada punto de control el receptor busca la señal y la vuelve a centrar, enviando el ajuste ascendente o descendente a los motores.

Este equipo complicado y costoso, funciona con precisión una vez adecuadamente calibrado y programado. Tiene la gran ventaja de poderse emplear tanto de día como de noche, lo que permite acelerar significativamente el avance de los trabajos de encarpetao.

h) Mezclas finas

Descritas inicialmente como aquellas que se elaboran con material con un t.m.a. de 6.4 mm son generalmente utilizadas como capas de sello en pavimentos en los que no se requiera textura áspera o un espesor de carpeta integrado a la estructura. Son útiles para espesores de 2 a 4 cm, resultando inconvenientes para capas mayores ya que tienden a deformarse bajo la carga.

Cuando los bancos de materiales para carpetas son lechos de ríos o arroyos, suele ocurrir que produzcan un fuerte volumen de partículas finas, entre los 9.5 mm y el polvo, dando lugar a un costoso desperdicio, es entonces cuando puede resultar interesante utilizar mezclas finas.

El tendido se realiza normalmente, pero la compactación debe hacerse a base de aplanadora de rodillos metálicos, desechándose el neumático.

i) Mezclas experimentales

Buscando fundamentalmente ahorrar derivados del petróleo, se llevan a cabo mezclas experimentales que pretenden reducir los espesores de las carpetas sin perder resistencia y aumentando la durabilidad, así se estudian mezclas con caucho, fibras geotextiles, fibras vegetales, etc.; de ellas ya hay elementos indicadores de que las mezclas con caucho aumentan la du-

ración de las capas al hacerla más resistentes a la oxidación y flexibles, permitiendo su deformación sin fracturas, por su parte, las mezclas con azufre aumentan la resistencia y duración pero resultan quebradizas a determinado tiempo; las mezclas con fibras naturales o artificiales están en experimentación.

4.6.1 MEZCLAS FRIAS

Las mezclas tradicionales elaboradas en frío a base de asfalto rebajado y tendidas con motoniveladoras presentan dificultades para lograr acabados que cumplan con las tolerancias de nivel, el uso de máquinas extendedoras permite mejorar la calidad de la nivelación, sin embargo, trabajar con mezcla de asfalto rebajado obliga a que, antes de enviar la extendedora, sea necesario disgregar de manera muy completa los camellones que usualmente se forman para esperar la evaporación de los solventes. La disgregación, comúnmente efectuada con motoniveladora, requerirá un trabajo cuidadoso y prolongado de volteo de la mezcla de uno a otro lado hasta eliminar totalmente la presencia de aglutinamiento.

El tendido y compactación son similares a los descritos.

Existen equipos que permiten fabricar y tender simultáneamente mezcla a base de emulsión asfáltica. La máquina combina un área de almacenamiento y dosificación con otra de mezclado y tendido, permitiendo lograr buenos resultados en una sola operación.

La compactación se realiza básicamente con aplanadora tandem sin vibrar, una vez que se ha producido la ruptura de la emulsión asfáltica.

4.7 CARPETAS DE CONCRETO HIDRAULICO

Si esta opción ha sido la elegida por los proyectistas, la elección ha sido favorable, pues este tipo de carpetas permite obtener texturas al antojo y precisión en los niveles del acabado muy por encima de los que se consiguen con el concreto asfáltico

a) Materiales:

- Gravas:

Procedentes de bancos de trituración total o depósitos de aluvión triturados parcialmente, deberán estar limpios de polvo y materia orgánica, conforme a normas.

Usualmente se utilizan tamaños máximos de 51 a 76 mm.

Para proporcionar una adecuada proporción granulométrica durante la fabricación y evitar la segregación en los almacenes, convendrá separar las gravas en dos o tres variedades de tamaño.

Para dos separaciones:

Tamaño máximo	- 13 mm.
9.5 mm.	- 6.4 mm.

Para tres separaciones:

Tamaño máximo	- 25 mm.
19 mm.	- 9.5 mm.
9.5 mm.	- 6.4 mm.

No es recomendable el uso de gravas redondeadas naturales porque presentan problemas de comportamiento en

la masa del concreto trabajando a flexocompresión , convendría mezclarlas con partículas trituradas para mejorar sus características.

- **Arena:**

Deberá estar limpia de polvo y materias orgánicas y poseer una adecuada granulometría conforme al modulo de finura que se desee, en el caso de pavimentos, no conviene utilizar arenas muy finas, pues provocan mayor consumo de cemento.

Arenas con abundancia de partículas calizas o alcalinas serán rechazadas, ya que originan reacciones alcalinas con el cemento que pueden llegar a alterar la resistencia final.

- **Agua:**

El agua empleada deberá tener las características de potabilidad, de no existir forma de suministrarla se podrá utilizar agua tratada que no contenga sólidos o materia orgánica en suspensión.

- **Cemento portland**

En los pavimentos por lo general sólo se emplean el tipo I y el tipo II, los otros tipos de cemento no son recomendables para este tipo de uso.

- **Aditivos**

De ser necesarios se podrán utilizar los del tipo de: fluidificantes, retardantes, inclusores de aire, estabilizadores de volumen.

b) Proporcionamiento de los materiales:

Ya que el laboratorio ha emitido sus resultados de las muestras de los materiales ha emplear, que el amplio mercado ofrece, procederá a emitir la dosificación recomendable, aunque de ser posible trabajar con plantas premezcladoras de marca conocida, el laboratorio de dichas empresas es el que se encarga del muestreo y dosificación de la mezcla.

Por lo general cuando se opta por esta alternativa, estos pavimentos se diseñan para una resistencia de 45 - 50 kg / cm² expresada por el módulo de ruptura a la tensión, aunque el ACI ya ha desarrollado sistemas de cálculo para proporcionar concretos con base en el módulo de ruptura, aunque su difusión no es muy comercial, los métodos convencionales de proporcionamiento para resistencia a la compresión f'_c son comunes en todos los laboratorios.

Aunque no hay una equivalencia clara entre los resultados probados a la tensión por flexión y a compresión se podrá diseñar una mezcla para un orden de $f'_c = 350$ kg / cm² y revenimientos de 6 a 8 cm.

Dentro del muestreo del concreto el laboratorio encargado del diseño de la mezcla debe probar y ajustar sus proporcionamientos de acuerdo a los materiales que le estén llegando del mismo banco o de diferentes bancos, así como ajustar sus aditivos (reductores de agua) para que el producto entregado sea el requerido y emitir recomendaciones en su colocación.

Las temperaturas, tanto durante la etapa de fabricación del pavimento, como durante el trabajo de éste, son de suma importancia, temperaturas entre los 18 y 30 °C son excelentes para la fabricación y ayudan a que el mismo tenga una vida prolongada, temperaturas por debajo de los 15 °C pueden hacer inconvenientes los colados ya que retardan el proceso de fraguado de la mezcla, oscilaciones de temperatura a lo largo del año, entre los 0 y 45 °C resultan severamente dañinas para el pavimento.

naria se elijirá tanto por disponibilidad como por economía tomando en cuenta que la labor dosificación y transporte de la mezcla serán manuales.

Los agregados deberán de ser pesados en básculas con capacidad adecuada, empleando recipientes tarados, que tengan agarraderas convenientes para facilitar la maniobra.

El orden de adición de los materiales deberá ser :

1. Agua.
2. Grava gruesa.
3. Grava Fina.
4. Cemento.
5. Arena.
6. Aditivo.

El tiempo de revoltura no deberá exceder de 2min a partir de que los materiales estén en el interior del depósito revolver.

- Dosificador y camiones revolveres:

Si el volumen de concreto crece, y si se cuenta con este tipo de equipo, pueden emplearse en combinación dosificadora de sólidos y camiones revolveres, las primeras generalmente tolvas pesadoras, permitirán, por pesadas sucesivas, formular la dosificación, los sólidos se pasan al camión revolver en donde reciben el agua y los aditivos, mientras es transportado a la zona de tendido, la mezcla se revuelve. El propio camión, con los canalones de que esta dotado, descargará el concreto fresco dirtribuyendolo en la zona de colado.

- Plantas estacionarias:

Volúmenes de producción de más de 15 m³ o más, por hora, requerirán emplear plantas estacionarias.

Considerando que la capacidad normal de los camiones revolvedores (ollas) varia en México de 7 a 9 m³, se planteara que es más viable emplearla solo como dosificadora, con camiones revolvedores, o emplearla como dosificadora y mezcladora, haciendo la mezcla en camiones de volteo.

El proceso de fabricación de las plantas estacionarias generalmente es el siguiente:

- 1. Pesaje de la grava gruesa.**
- 2. Pesaje de la grava fina.**
- 3. Pesaje de la arena.**
- 4. vaciado de áridos en el tanque revolvedor.**
- 5. Revoltura en seco.**
- 6. Adición de agua medida.**
- 7. Adición de aditivos.**
- 8. Revoltura de la mezcla.**
- 9. Descarga de la bacha.**

Las plantas, según su capacidad, producirán en bachas de 1m³ cada 2 min., ya que mientras el tambor mezclador esta ocupado, se producen las operaciones de pesado de áridos y cemento; al vaciarse, éstos caen en él junto con el agua y los aditivos, posteriormente el mezclado se realiza con paletas o a velocidad conveniente cuando se trata de tambores giratorios de manera muy enérgica, este proceso de mezclado se realiza en alrededor de 30 seg.

d) Características de las mezclas:

Las mezclas deben tener características de fluidez, plasticidad trabajabilidad y tiempo previo al fraguado inicial adecua-

dos, tanto para el tendido manual como para el mecanizado, ya que no es de extrañarse que sea necesario modificar el proporcionamiento dado por el laboratorio para modificar el concreto fresco a los requerimientos del tendido, por ejemplo: el revenimiento de las bachas en la planta puede ser el convenido, pero durante el tiempo de llenado del vehículo de transporte, por evaporación, puede variar, llegando a las cimbras con una dimensión menor; el tiempo requerido para el acarreo también afectará. Así la mezcla puede tener en la planta un revenimiento de 4 a 6 cm y estar llegando con un revenimiento de 2 a 4 cm, lo cual decrementa la trabajabilidad, dado lo anterior se recomienda hacer los ajustes que se requieran para tener, en la zona de colados, el revenimiento adecuado, así como las demás características, dentro de los límites especificados.

Se debe vigilar la temperatura de la mezcla, ya que es indicador del proceso de fraguado, ya que como se indicó anteriormente se debe contar de un tiempo máximo de 60 min., desde que el transporte salió de la planta, hasta que se concluye el afinado de la superficie colada, de no ser así deberá de aplicarse algún aditivo retardante perfectamente dosificado, ya que en exceso retardará más de lo requerido el fraguado y se podría perder el control del resto del proceso de pavimentación.

e) Efectos de la temperatura:

Aunque en nuestro país son muy pocos los lugares donde se producen temperaturas inferiores a los 0 °C durante la época invernal, conviene indicar lo que ocurre al efectuar colados de concreto hidráulico:

- Las arenas y las gravas se recubren de una película impermeable, impidiendo que penetre a su interior el agua necesaria para su saturación.

- El agua puede contener cristales de hielo, falseando la dosificación.
- Se retrasa la necesaria reacción química entre las partículas de cemento y por lo tanto el fraguado no se produce o se produce muy tardío.

Para combatir estos efectos se recomienda :

- Proteger los agregados con lonas para evitar que se congelen.
- Utilizar agua calentada entre los 10 y 20 °C
- Utilizar aditivos fluidificantes adecuados
- Utilizar inclusor de aire
- Proteger los vehículos de transporte para evitar el enfriamiento de la mezcla
- Proteger la superficie terminada con elementos mientras dura el fraguado.
- En casos extremos, deberán utilizarse complicados sistemas de calentamiento en la cimbra y la zona de trabajo.

Como se puede observar trabajar en estas condiciones resulta muy costoso y riesgoso, por lo que se recomienda que de ser posible llevarlos a cabo cuando el tiempo sea mas favorable.

Por lo contrario llevar a cabo este tipo de trabajos bajo temperaturas de ambiente muy altas, provocan que los agregados como el agua y el cemento se sobrecalienten, los efectos que se registran en estas condiciones son:

- Evaporación violenta del agua al contacto con los áridos calientes, no lográndose la saturación y reduciendo el volumen de ella para la formación de la lechada.
- Revenimientos bajos o nulos, fuera de especificación.
- Fraguado violento o endurecimiento pronto por el fenómeno de falso fraguado. En éste, hay un endurecimiento de la masa por la reacción química acelerada de parte de ce-

mento con parte del agua, provocando que el concreto no se pueda trabajar.

- Tiempo muy reducido para transportar, acomodar y afinar el concreto.
- El comportamiento de los aditivos es afectado produciéndose cambios radicales o efectos no deseados, por lo que se deberá revisar con el fabricante las temperaturas que se recomiendan para su utilización y los posibles comportamientos.

f) Transporte de las mezclas:

Como se menciona anteriormente hay tres medios de comunes de transporte para los concretos frescos de los pavimentos y estos son:

- Carros o carretillas manuales para volúmenes reducidos.
- Camiones revolvedores.
- Camiones de volteo.

Las principales ventajas y desventajas que presentan los dos últimos medios, ya que se utilizan para volúmenes muy grandes, son las siguientes:

1. Camiones revolvedores

Ventajas:

- Mayor velocidad de producción, al utilizar solo los dosificadores y efectuar la revoltura durante el proceso de transporte.
- Protección contra la evaporación o baja temperatura por contar con tambor cerrado.
- No presenta clasificación o segregación.
- Se utilizan los canalones de descarga para distribuir la mezcla en la zona de colado.

Desventajas:

- **Operación especializada (costosa).**
- **Dificultad de vaciado para revenimientos bajos.**
- **Limpieza del tanque (interior) en caso de falla mecánica que produzca el fraguado del concreto.**
- **Tiempo de vaciado**

2. Camiones de volteo abiertos

Ventajas:

- **Capacidad variable a elección.**
- **Rapidez de vaciado.**
- **Fácil limpieza del contenedor.**

Desventajas:

- **Segregación de la mezcla durante el transporte y en la descarga por caída libre.**
- **Sangrado de la mezcla por el movimiento durante el transporte de la mezcla**
- **Pérdida de agua por evaporación durante los procesos de carga y transporte de la mezcla.**

El empleo de camiones abiertos resulta económico y por ello es utilizado ampliamente en procesos de colado de gran volumen de colado, protegiendo con lonas las cajas para evitar la evaporación y manteniendo en buen estado las rutas de tránsito para evitar el bamboleo del vehículo, lo que disminuye el sangrado.

g) Tendido y compactación mecanizados:

Tanto para el colado hecho a máquina como para el ejecutado a mano, comúnmente se procede a construir largas franjas en el sentido longitudinal del proyecto de distribución de las losas, para cimbrarlas se recurre a formas, generalmente metálicas con la altura exacta de las losas y la canalización para la liga entre ellas, las dimensiones de las canalizaciones las determinara el proyectista que generalmente corresponden a recomendaciones de los métodos de diseño, las formas tendrán cartabones a distancias convenientes para fijarlas al piso del colado, para colocarlas se alinearán y nivelarán utilizando equipo topográfico a fin de obtener trazo y nivelación de acuerdo a normas.

Los colados no deben avanzar desmedidamente en longitud individual, lo conveniente es que avancen de manera simultánea.

Para el colado mecanizado, conviene construir franjas alternadas, dejando una sin construir, que se ejecutará posteriormente sin empleo de cimbra, de modo que mientras se completa el ancho de una ala del pavimento, se dispone de cimbra para otras franjas.

En el caso de los aeropuertos, en los que se trabajan con grandes anchos, y debido al parteaguas que se presenta en el eje longitudinal de la pista, ésta es dividida en franjas del eje longitudinal hacia las orillas.

Las máquinas extendedoras para concreto hidráulico, se apegan, por lo común a lo antes mencionado, están montados sobre orugas propulsoras, de manera que el conjunto de trabajo mantenga un nivel adecuado dentro de la losa en proceso.

Según el croquis anterior y en sentido de avance, la máquina auto propulsada, se mueve sobre las orugas fuera de las formas, que puede girar en direcciones opuestas, distribuye las bachas uniformemente a lo ancho de la franja, una batería de vibradores de inmersión con motores eléctricos, se introduce

en la masa y la acomoda (los cabezales vibradores deben penetrar hasta no menos de 5cm del fondo de la losa), después una placa o rodillo vibratorio se encarga del enrase y acomodo superficial. Finalmente una banda oscilante da el acabado áspero superficial necesario para un adecuado coeficiente de fricción.

La máquina cuenta con un adecuado sistema motogenerador que proporciona la energía eléctrica requerida por los equipos motrices. Un operador, situado en el centro de control se encarga de mantener la extendidora alineada centro de la zona de trabajo y de hace funcionar los aparatos en el orden correspondiente.

Aunque este tipo de maquinaria es capaz de terminar, por sí sola, con el grado de tolerancia requerido, puede ser necesario una cuadrilla que después del paso de la máquina, revise con reglas o hilos de nylon tensados el estado de la superficie y de detectarse irregularidades corregirlas a mano, empleando grandes planas de aluminio, por otro lado, para mejorar la aspereza, se recomienda un escobillado transversal en el sentido de la pendiente, que debe hacerse también a mano, utilizando escobas o cepillos mojados, posteriormente se recomienda un rastillaje.

h) Tolerancias:

El proceso de alineación y nivelación topográfica de la cimbra contribuirá de manera determinada en el logro de la superficie dentro de normas de +/- 2.5 cm en alineamiento.

i) Control de calidad durante el tendido:

Durante el proceso de tendido se recomienda realizar las pruebas y obtención de especímenes siguientes:

- **Revenimiento:** No se aceptarán mezclas con medida de 2 cm arriba o abajo de lo especificado.

- **Medición del aire incluido:** No debe estar por encima del 5% ni por de bajo del 3%.
- **Vigas de prueba:** Se construirán dentro de moldes metálicos de 15 x 15 cm, parejas suficientes para pruebas a la edad conveniente.
- **Cilindros:** Se construirán en moldes de acero, parejas suficientes para realizar las pruebas ala edad especificada.

j) Tendido y compactación a mano:

Cuando no se cuenta con equipo extendedor, el trabajo debe realizarse a mano.

Esta actividad aunque fatigosa, bien organizada puede producir avances diarios del orden de 200 m³, con doble jornada, para lograr un tiempo efectivo de trabajo de 15 hrs.

Tanto para el trabajo de manera manual como para el mecanizado la organización de cuadrillas es similar: las de cimbradores y las de acabadores, cuando es en forma manual habrá que añadir la que se encarga del acarreo y distribución de la mezcla, vibrado y enrase de la superficie.

Para realizar de manera eficiente las labores a mano se requerirá por ejemplo de:

- **Paleadores.**
- **Vibradoristas.**
- **Regleadores.**

Deacuerdo al volumen por colar se tendrá que contar con el personal suficiente de a cada uno de los anteriores para poder realizar debidamente los trabajos.

Una vez que se cuenta con la cimbra alineada y nivelada, se procederá a humedecer la superficie, vigilando que esté limpia, paso siguiente se podrá vaciar el concreto, si se realiza con camión revolvedor (es el recomendado para efectuar colados a

mano), los canalones permitirán distribuir la mezcla a todo lo ancho de la franja, de lo contrario de ser vaciada con camión de volteo, toda la masa quedará en un solo lugar, ocasionando sobre acarreo y el principal desgaste del personal, los paleadores habrán de distribuir el concreto sobre todo el ancho entre las cimbras, procurando que quede sobre el nivel de ellas aproximadamente 2 cm. A continuación, se procederá a efectuar el vibrado, hundiendo los cabezales en la masa de concreto hasta tocar fondo, por periodos de 2 a 4 seg aproximadamente, en forma de retícula cuadrada a cada 50 o 60 cm, teniendo cuidado de no vibrar en exceso, ya que se produciría una segregación, o de no vibrar de manera insuficiente ya que no producirá la compactación del concreto deseada.

A continuación se procederá a reglear la superficie con una regla vibratoria metálica, misma que se hará cargo del acomodo superficial, para poder después dar el enrase utilizando vigas de madera o metálicas (lo suficientemente ligeras para poder ser maniobradas con facilidad). Al terminar esta actividad se procede a revisar por medios topográficos los niveles y a dar la textura deseada al concreto.

k) Curado del concreto

Como es conocido, el fraguado del concreto genera calor que, a su vez produce la pérdida de humedad superficial, lo cual provoca contracción en la masa y su agrietamiento, para evitar este fenómeno, se recomienda mantener húmeda la superficie expuesta al aire, por un tiempo que normalmente se especifica de nueve días, tiempo durante el cual el concreto ha adquirido su primera resistencia y no hay riesgos de agrietamiento, también se recomienda la aplicación de membranas impermeables para curar las losas del tipo de curacretos que al formar una membrana sobre la superficie del concreto impiden la evaporación superficial del agua y el obvio agrietamiento.

Así, una vez iniciado el fraguado inicial del concreto (marcado por la pérdida de brillo y aumento de temperatura) es oportuno aplicar el producto para formar la membrana de curado.

Este producto por lo común (ya que es el más recomendado) es una emulsión de partículas finas de parafina en color blanco o rojizo, que se aplican mediante aspersores manuales a presión. De estos dos se recomienda el del color blanco, ya que por lo general tiene baja absorción de calor. La dosificación es del orden de 0.5 a 0.8 l/m² para asegurar un correcto recubrimiento.

1) Varillas pasajuntas:

Para lograr que todo el pavimento trabaje en conjunto, los métodos de diseño aconsejan el empleo de varillas transmisoras de esfuerzos entre las losas centrales y las perimetrales.

Por lo general se colocan de la siguiente manera:

- En el sentido longitudinal: Se colocarán tramos de varillas corrugada de diámetros entre 13 y 19 mm. de 60 cm, para tal efecto la cimbra debe de contar con perforaciones que permitan el paso de las varillas.
- En el sentido transversal: En el sitio en el que el proyecto marque y en todos los cortes de colado, se colocarán varillas lisas que transmitan los esfuerzos de flexión sin impedir el trabajo libre del concreto por temperatura dichas varillas tendrán diámetros entre 25 y 38 mm, recubiertas de grasa para impedir el trabajo en el sentido longitudinal, para que queden en posición se recomienda en uso de silletas

m) Aserrado de losas:

Conforme a los proyectos, las juntas longitudinales de las losas quedan marcadas por la unión de colados, pero se tiene una franja sin solución de modulación, y como es sabido, el proceso de fraguado provoca, de por sí, que a determinadas distancias no regulares, se produzca una ruptura transversal que actúa como junta de dilatación, para impedir la formación de la ruptura antes mencionada, el proyecto marcará una modulación, por lo común a cada 5 m, en donde deberá hacerse un corte para guiar la grieta de dilatación.

Dicho corte se puede efectuar insertando un elemento extraño: una tira de lámina, de tabla artificial, de fibra prensada; marcando la línea mediante un inserto metálico que permanezca en la losa hasta la aparición del fraguado inicial y luego se retire, o bien realizando un corte con sierra.

En el caso de los aeropuertos, en las pistas no debe emplearse el inserto fijo o movable, ya que producen ascendentes o descendentes, que resultan muy sensibles al rodamiento de las aeronaves, por lo que se recomienda marcar las juntas con cortes de sierra con los espesores y profundidades marcados por el proyecto.

Así mismo las juntas longitudinales deberán de aserrarse, para el caso de uniones de cuerpos diferentes y en los que marque el proyecto deberán dejarse juntas de construcción con separaciones de 20 a 25 mm de espesor, que se rellenan de fibra prensada impregnada de asfalto.

Para cada tipo, el proyecto indicará el ancho y la profundidad del corte, en el transversal se ejecutará primero el delgado y profundo para posteriormente ajustar con el más grueso y poco profundo.

n) Sello de las juntas:

La presencia de separaciones producidas por los cortes o los injertos ocasionan fisuras por las que se pudiera filtrar el agua, llegando a las capas inferiores del pavimento, saturando y provocando en su caso la falla; por lo que para evitar que esto ocurra, dichos espacios deben rellenarse con un producto que asegure su impermeabilización, dicho material debe ser capaz de adherirse firmemente a las paredes del corte, ser elástico, impermeable y resistente a la acción de aceites o combustibles. Los productos que ofrece el mercado son muy variables, se pueden aplicar en frío o en caliente, pero por economía se aplican los productos en caliente, para aplicar este tipo de productos, las juntas deben estar totalmente limpias de grasa, partículas extrañas y polvo, lo cual obliga a efectuar una limpieza a fondo e incluso con aire a presión, de existir rastros de grasa, de deberá lavar con solventes, de no llevarse a cabo este proceso de limpieza se corre el riesgo de que el producto no se adhiera a las paredes del corte permitiendo el paso del agua.

En las juntas transversales el corte profundo puede llenarse con cartón o fibra asfaltados, por razón de economía, y el superficial con el producto adecuado.

En cada caso el fabricante del producto dará las normas de temperatura de aplicación del producto, para realizarlo deberán de contar con equipos especiales de calentador y bomba para impulsar el sellador hasta la manguera que remata con un aplicado con las dimensiones adecuadas para que éste quepa en la ranura. Se cuidará de que el material no que por debajo de la superficie mas de 1.5mm y que no haya desbordamientos, en caso de haberlos, éstos deben cortarse.

o) Defectos de colado:

La falta de supervisión en los trabajos o de oportunidad de realizar determinadas acciones durante los colados, ocasionan

defectos que no siempre son fáciles de corregir, por lo cual resulta más fácil siempre ser cuidadoso respetar las normas convencionales y las particularidades que el proyecto marque.

A continuación mencionaremos algunos de los defectos que se presentan durante la construcción, señalando las posibles causas, y en su caso, las medidas correctivas.

1. Grietas finas superficiales:

Las ocasiona el fraguado rápido del mortero superficial . Generalmente no son peligrosas , pero pueden provocar el desprendimiento de la capa, descubriendo al agregado. Estas son debidas al viento rasante o a la alta temperatura del ambiente y se evitan aplicando la membrana de recubrimiento adecuadamente

2. Grietas transversales profundas, en todo el ancho de la franja:

Estas se deben a la aparición espontanea de una junta de dilatación y se pueden correr a las franjas vecinas, para evitar que esto suceda se debe aserrar éstas en línea con la grieta , la superficie de la fisura deberá abrirse mediante métodos manuales y sellarse con el mismo material de los cortes.

3. Agrietamientos diagonales en esquina:

Estos aparecen cuando la losa aún con poca resistencia es golpeada o sometida a cargas pesadas y la única solución es la demolición de la zona afectada y proceder a recolar el elemento, ligando los concretos con adhesivos epóxicos.

4. Desconchamientos en juntas:

Estos se deben a que la junta aserrada no coincide con la grieta natural de ruptura, para lo cual debe desprenderse el material suelto antes del sellado de la junta

5 Desconchamiento en esquina:

Aparecen como consecuencia de golpes en el concreto aun si la resistencia total, se repararán después del endurecimiento final empleando morteros epóxicos.

4.8 SELLOS

A fin de mejorar las características superficiales de un concreto asfáltico se le aplican materiales que sellen se textura y en su caso ayuden a evitar su deterioro.

Dichos materiales pueden ser:

- Sello de material pétreo de pequeño tamaño.
- Morteros de emulsión asfáltica.
- Cemento.

4.9 SEÑALAMIENTO

El buen funcionamiento de un camino depende del señalamiento, que es el que proporciona la seguridad al usuario.

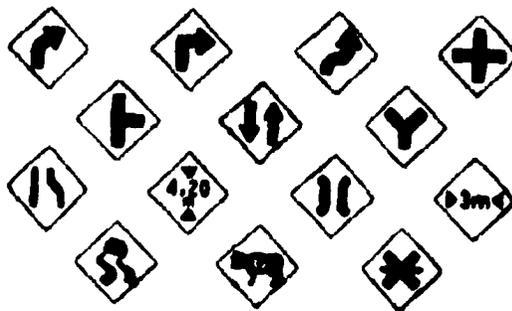
Las señales se clasifican en:

1. Preventivas.
2. Restrictivas.
3. Informativas.

Señales preventivas:

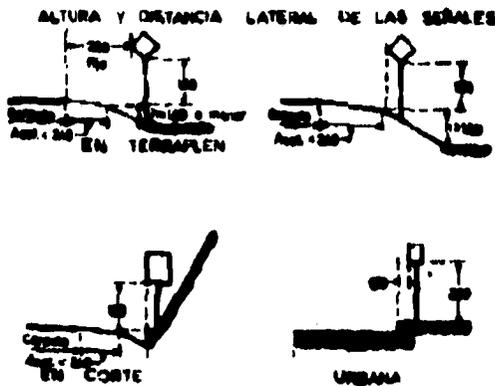
Son las que tienen por objeto advertir al usuario de un peligro potencial y la naturaleza del mismo, estas señales tienen forma de cuadrado con una diagonal en forma vertical, las dimensiones son aproximadamente 60 cm como mínimo. Por convenciones internacionales éstas tienen el fondo amarillo con letras o símbolos y letras en color negro.

La distancia a la que se deberán de colocar será determinada de manera que asegure su mayor eficiencia tanto de día como de noche, se aconseja que la distancia no sea menor de 90 m. ni mayor 225 m. Si embargo estos datos los marcará el proyecto.



Señales preventivas

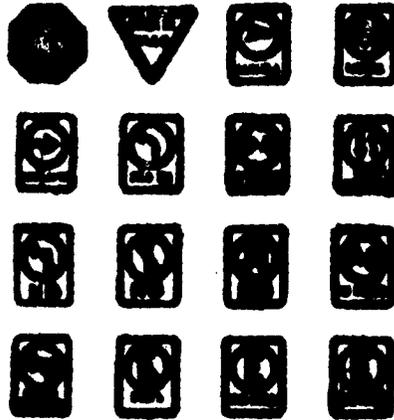
Las señales preventivas deben colocarse en el lado derecho, correspondiente a la circulación del camino, estas se colocan a 1.50 m mínimo del camino y a 2.4 m como máximo. La señales deberán tener una altura de 60 cm mínimo y 2.1 m máximo, por lo general la medida que se emplea es de 1.5 m.



Cuando se usen barreras para desviar la circulación, con motivo de obras que se ejecutan en el camino, tales señales deben ser anaranjadas y negras, provistas de dispositivos reflejantes

Señales restrictivas:

Son las que tienen como finalidad expresar en la misma, alguna fase del reglamento de tránsito, restringir algún movimiento del vehículo, estas señales son de forma rectangular, colocándose el lado mayor en posición vertical, estas señales tienen el fondo blanco, las letras en color rojo inscritas en un círculo de color rojo.



Señales restrictivas

La colocación de estas señales es la misma que las anteriores, salvo que se colocan a partir del punto en que comience la reglamentación y de ser necesario repetitivas para recordar la reglamentación.

Señales informativas:

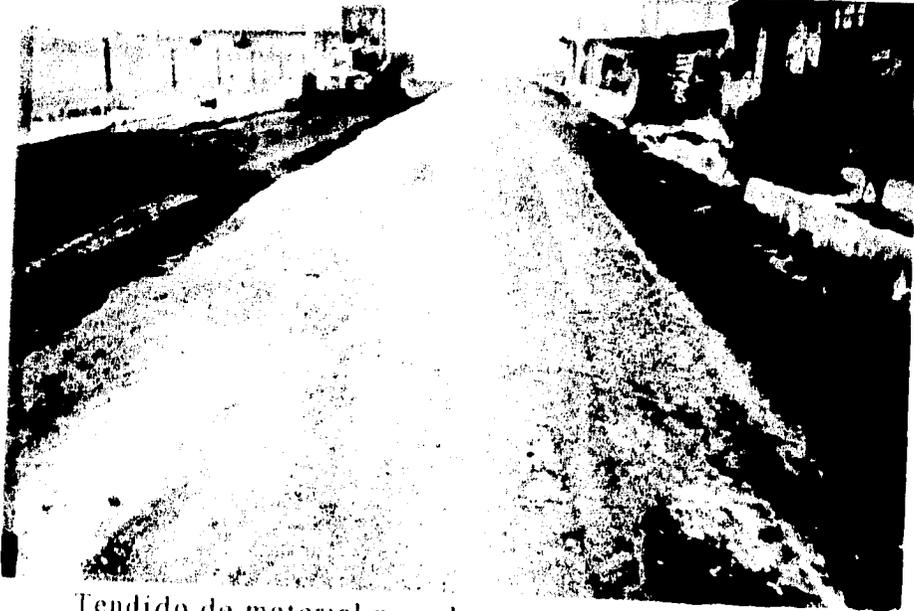
Estas son las que tienen como finalidad el proporcionar al usuario información que le ayude a su viaje, éstas señales son rectangulares y se colocan de manera horizontal o vertical según sea el caso.

Sus colores serán de fondo blanco, con letras y ribete negro, algunas señales también cuentan con un segundo fondo de color azul, el tamaño de estas señales se ajusta a la necesidad.

Marcas sobre el pavimento:

Las marcas sobre el pavimento son del tipo longitudinal, marcas transversales y otras marcas. Estas son de color blanco.

4.10 FOTOGRAFIAS



Tendido de material para base con motoconformadora



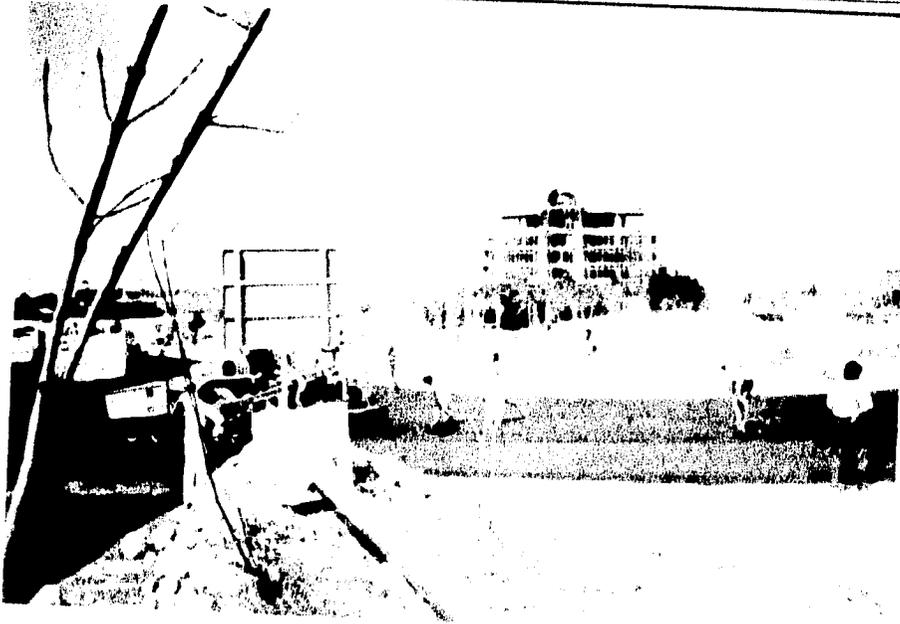
Compactacion de la base con rodillo vibratorio



Muestreo de la compactación



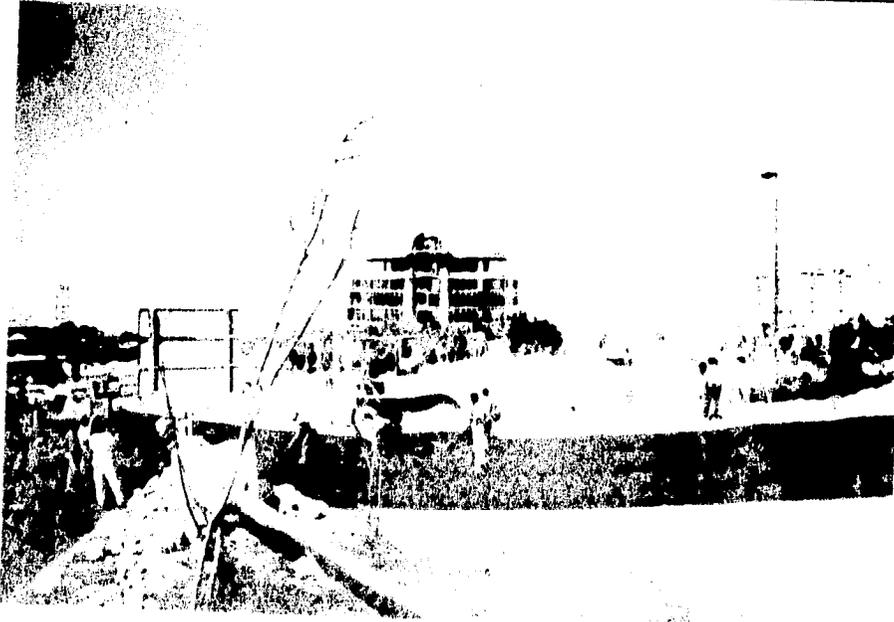
Riego de impregnación



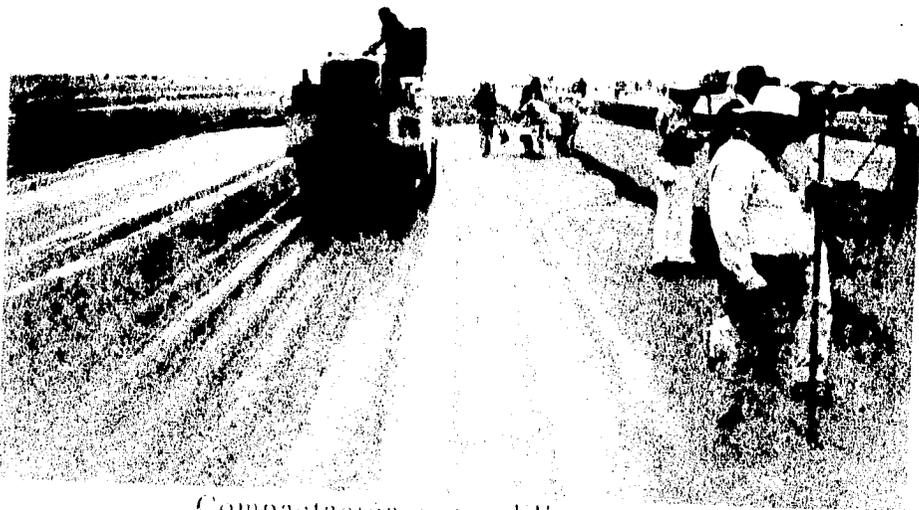
Tendido de carpeta de concreto asfáltico



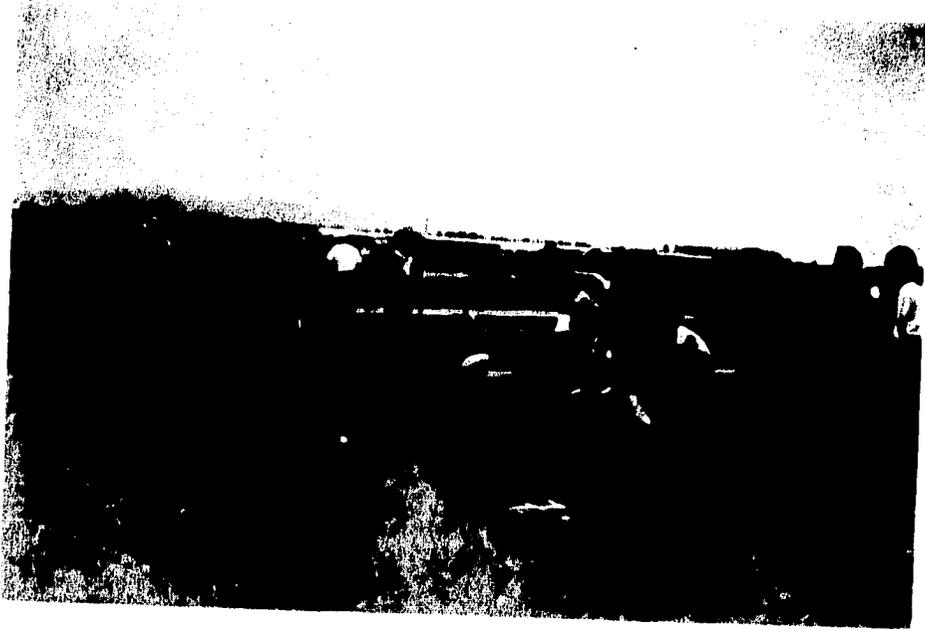
Tendido de carpeta de concreto asfáltico



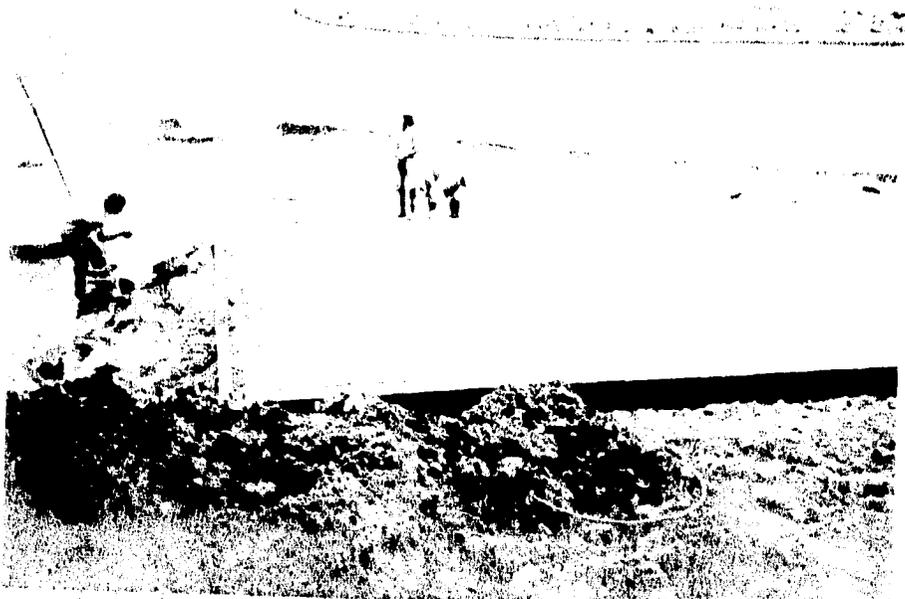
Compactación con rodillo vibratorio



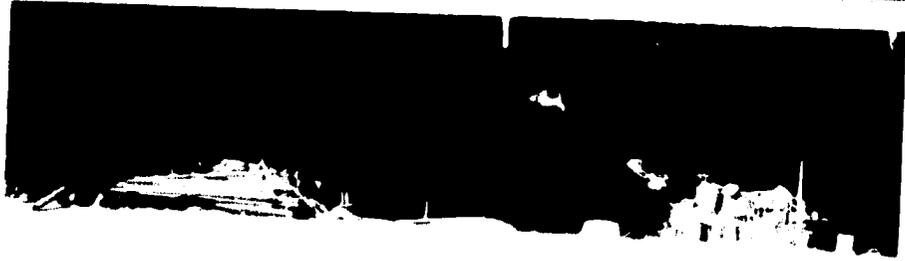
Compactación con rodillo neumático



Verificación de la superficie tendida



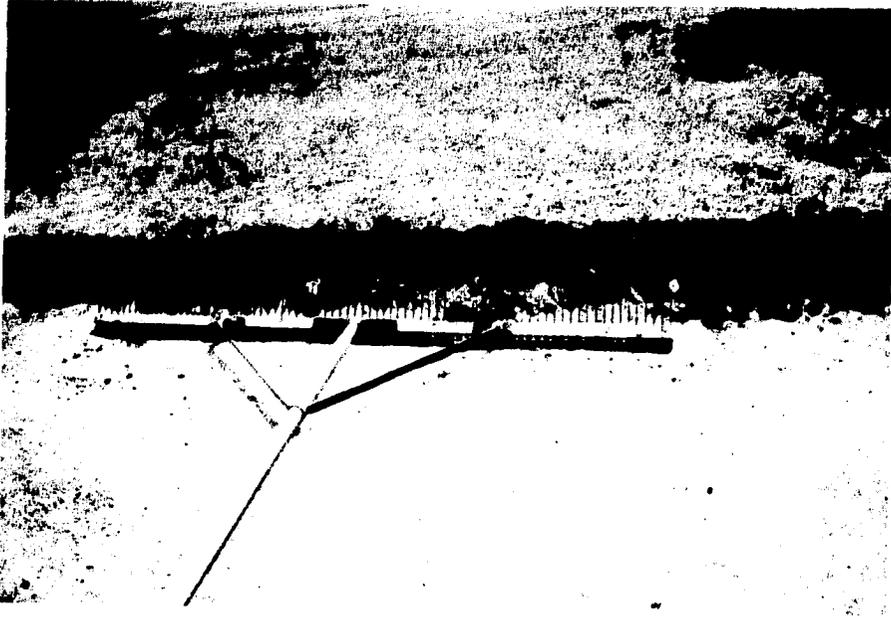
Obra de carpeta de concreto hidráulico y masalmente



Carpeta de concreto hidraulico (Conectores)



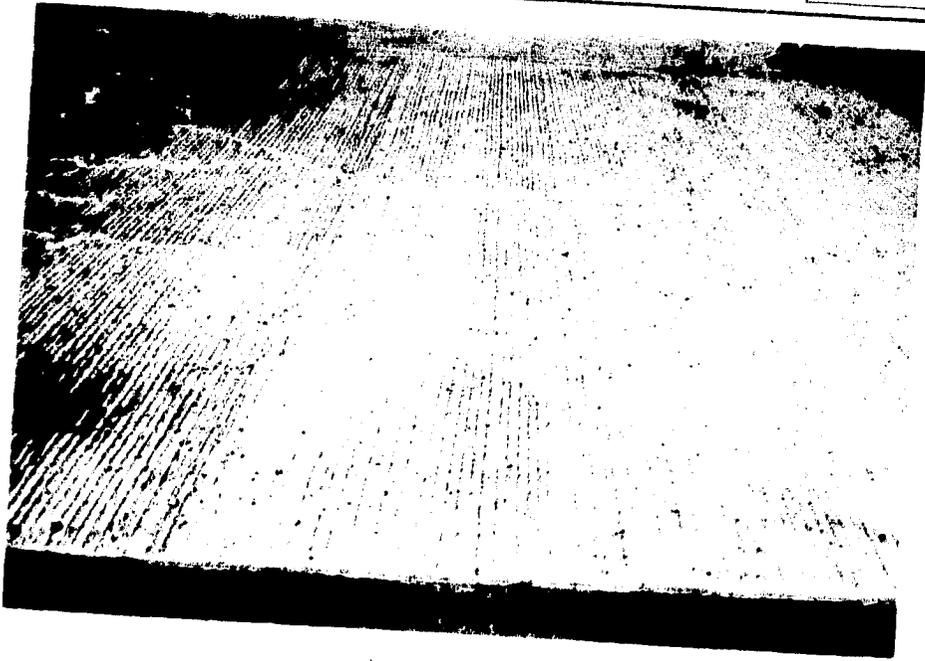
Pulido de la superficie



Rastrillos empleado para dar el acabado final



Cepillo empleado para dar el acabado final



Acabado final

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD

CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad es una actividad muy importante en la ejecución de todo proyecto, ya que cuando se lleva a cabo un adecuado control se obtendrá el nivel de calidad requerido en las especificaciones, y se evitarán gastos innecesarios de mantenimiento debido a una mala calidad en los materiales o en las actividades.

Para definir el control de calidad podemos decir que es una actividad encaminada a mantener o superar la calidad de un producto o un servicio al menor costo posible.

En el caso de los pavimentos, el control de calidad se apoya en la estadística, la geotecnia, la resistencia de materiales y la química, entre otras disciplinas, y utiliza sistemas de inspección, muestreo y ensayos de campo y laboratorio.

Es en la etapa de construcción donde se observan y analizan los resultados obtenidos de aplicar los procedimientos constructivos para verificar que se cumplan las especificaciones y si fuera el caso, corregir los procesos constructivos para adecuarlo a las necesidades de la obra.

Los aspectos fundamentales para todo control de calidad son los siguientes:

- Establecer las normas de calidad
- Estimar la concordancia con las normas
- La información debe ser clara y oportuna
- Finalmente, acción cuando no se coincide con las normas.

Es importante señalar que el control de calidad en una obra depende tanto del supervisor como del constructor por lo que

es responsabilidad de ambos vigilar el cumplimiento de las normas de calidad requeridas.

Es conveniente y en algunos casos necesario elaborar un programa de control de calidad, ya que es tan importante como el control de obra.

Cuando se lleva a cabo un programa de control de calidad se debe cumplir con algunos requisitos como son:

- a) Fundarse en especificaciones realistas, para evitar confusiones
- b) Basarse en ensayos relevantes técnicamente, para que los indicadores obtenidos sean los apropiados sobre el estado real del trabajo.
- c) Que el sistema de inspección se enfoque a los aspectos fundamentales del comportamiento de la obra
- d) La interpretación del programa sea clara y concreta, con un enfoque científico.

Para la elaboración del programa de control de calidad se debe definir claramente el nivel de calidad que se desea, estudiando cuidadosamente las especificaciones, se definen cuales son los parametros que se controlarán, para realizar los ensayos de campo y laboratorio. Dichos ensayos deben tener las siguientes características:

- a) Estar dirigidos a la comprobación de las características esenciales.
- b) Ser sencillos y rigurosamente estandarizados.
- c) Ser rápidos en su ejecución
- d) Ser de fácil interpretación
- e) Que se efectúen con equipos de manejo simples y económicos y que sean de fácil reparación.

Dependerá del volumen de obra a controlar y de la homogeneidad de lo que se controle , la cantidad y la frecuencia de ensayos que se hagan e irán acordes al programa de obra.

5.1 SISTEMAS DE MUESTREO

Los Programas de Control de Calidad tienen un enfoque científico, por lo que la mejor herramienta que tenemos es la Estadística Inferencial con lo que los ensayos que se obtengan sean muestras representativas de un determinado concepto de obra.

Debe tomarse en cuenta que la variabilidad en los resultados dependen de problemas en los procedimientos de muestreo y ensayo y de los materiales, que son variables aleatorias, así los datos obtenidos también son aleatorios.

5.1.1 PLAN DE MUESTREO ESTADISTICO.

En este Plan de Muestreo Estadístico se requiere que todas las muestras sean obtenidas al azar, para que reflejen el comportamiento de la calidad real de los materiales o los procedimientos de construcción, ya que de otra manera se obtendría un resultado falso. Por lo tanto este Plan debe apoyarse en la Estadística que, como ya mencionamos nos ayudará siempre que se sigan las consideraciones pertinentes, como son:

- 1) Se debe dividir el total del material en lotes de tamaños iguales y cada uno debe ser representativo del conjunto. En cuanto a la cantidad y tamaño de los lotes se determinará

tomando en cuenta la importancia y el concepto que se desea medir.

- 2) Se deberá muestrear cada lote para obtener muestras de todos ellos, además la cantidad y el tamaño de las muestras dependerá del costo y la homogeneidad de ellas.
- 3) La cantidad total de muestras debe de ser suficiente para lo que se requiere, pero no mayor ya que sería muy costoso
- 4) El muestreo debe tomarse basándose en tablas de números aleatorios.
- 5) Se debe establecer un procedimiento claro para la estimación cuantitativa de las características de la muestra y del error estándar de dicha estimación.

5.1.2 TABLAS DE NUMEROS ALEATORIOS.

Una tabla de números aleatorios es una disposición de números compuestos por una cierta cantidad prefijada de cifras obtenidas estrictamente al azar.

Para elaborar una tabla de numeros aleatorios se define el numero de renglones y columnas que la formarán, así como la cantidad de cifras que formarán los números. A continuación se colocan números del cero al nueve en una urna y se agita, se extrae al azar un número el cual será la primera cifra del primer número aleatorio, se vuelve a depositar dicho número dentro de la urna, se vuelve a agitar, y a continuación se extrae un siguiente número , que será la segunda cifra del número aleatorio, se repite el procedimiento hasta completar toda la tabla

A continuación se presenta una tabla de números aleatorios simple.

Tabla simple de números aleatorios

10	9	73	25	33	76	52	1	35	66	34	87	35	46	70	80	25	80	81	17	36	20	27	40	45
37	54	20	48	5	84	66	47	42	96	24	80	52	47	37	20	63	81	4	2	36	82	29	18	46
8	42	26	88	53	19	84	50	93	3	23	20	80	25	68	15	98	33	47	64	4	6	3	36	8
98	1	80	25	20	8	37	87	7	15	36	31	13	11	65	68	87	57	43	97	4	43	62	78	59
12	50	79	69	70	80	15	73	61	47	4	3	23	68	53	89	65	11	68	77	12	17	17	58	33
66	6	57	47	17	5	7	27	00	58	36	68	73	81	70	65	81	33	98	66	11	19	92	81	70
31	8	1	8	5	45	57	18	24	8	8	30	34	28	14	88	79	80	74	39	23	40	30	97	32
84	24	88	75	41	7	5	18	58	92	68	68	57	48	18	73	5	38	52	47	18	62	39	85	79
65	25	97	78	2	5	32	54	70	48	80	55	35	75	48	20	48	82	87	9	83	46	12	58	24
73	57	33	21	36	0	52	98	47	78	35	80	83	42	82	80	83	52	3	44	35	27	38	84	36
98	52	1	77	87	14	90	58	65	7	22	10	94	5	58	68	97	9	34	33	50	50	7	39	98
11	80	50	54	31	39	80	62	77	32	50	72	54	82	48	29	40	52	42	1	52	77	86	76	51
83	45	20	98	0	5	28	88	80	83	13	74	97	0	76	18	47	54	8	10	86	71	17	78	17
88	88	54	2	1	58	50	75	84	1	38	78	88	79	51	80	38	47	84	83	29	80	91	10	62
86	58	48	73	46	87	51	78	46	9	91	82	80	68	48	93	78	56	13	66	23	47	83	41	13
65	48	11	75	74	17	48	58	9	50	58	4	77	88	74	73	3	85	71	88	40	21	81	65	44
80	12	43	58	35	77	72	70	68	19	45	31	82	23	74	21	11	57	82	83	14	38	55	37	83
74	36	9	98	17	77	40	27	72	14	43	23	68	2	10	48	52	18	42	37	88	28	80	28	55
89	81	82	88	5	8	25	22	91	48	36	98	8	72	3	78	82	11	38	80	94	40	5	84	18
9	89	32	8	3	14	22	58	88	14	48	42	75	87	68	98	29	77	88	22	54	38	21	48	98
91	49	81	45	23	68	47	92	78	85	48	18	28	35	54	94	75	8	99	23	37	8	92	0	46
58	33	88	46	88	28	94	3	88	53	70	29	73	41	35	53	14	3	33	83	42	22	20	84	18
44	10	48	18	48	85	15	74	79	54	12	86	7	48	97	98	84	46	84	39	28	7	72	58	15
12	58	7	37	42	18	10	0	20	40	40	21	86	25	83	43	85	17	70	82	7	20	73	17	68
81	19	86	0	46	28	45	74	77	74	51	92	43	37	28	65	38	45	68	93	42	58	20	5	27
15	47	41	52	68	65	27	7	99	53	59	36	78	38	48	82	38	81	1	18	33	21	15	94	68
94	55	72	68	73	87	89	75	43	87	54	62	24	44	31	81	19	4	26	92	92	72	74	58	73
42	48	11	82	13	97	54	40	87	21	16	28	84	47	67	3	7	18	20	56	25	9	14	66	10
23	52	37	83	17	73	20	37	83	37	8	83	59	14	18	20	25	22	22	68	8	52	28	25	82
4	49	35	24	94	75	24	3	38	24	45	88	25	10	25	81	88	27	83	36	65	33	71	24	72
0	54	98	78	54	84	5	19	81	39	28	11	88	38	85	54	88	28	23	91	23	28	72	85	28
36	98	31	53	7	28	42	80	83	54	33	35	13	54	82	77	97	45	0	24	78	10	33	93	33
58	68	80	83	91	45	8	70	83	42	83	80	94	97	0	13	2	12	48	92	78	58	52	1	8
46	5	88	53	38	1	59	0	23	80	77	28	14	48	77	93	91	8	38	47	70	81	74	29	41
32	17	80	5	97	87	37	92	54	41	5	58	70	70	7	68	74	31	71	57	85	39	41	18	38
89	23	46	14	8	1	11	72	54	4	15	95	88	0	0	18	74	39	24	23	97	11	89	83	68
19	58	54	14	30	7	19	47	80	72	40	41	92	15	85	8	87	43	86	8	84	88	28	52	7
48	15	51	46	38	20	19	47	80	72	48	41	87	76	15	43	59	4	79	33	20	10	34	58	41
84	86	43	19	94	38	10	51	8	51	34	88	88	15	53	1	54	3	54	58	5	1	45	11	78
93	8	82	48	20	45	24	2	84	4	44	98	90	88	98	39	9	47	34	7	35	44	18	18	80
33	18	10	82	32	41	94	15	9	49	89	43	54	85	81	68	88	54	19	94	37	54	87	30	43
90	96	10	4	8	98	38	7	27	74	20	20	15	13	33	25	1	82	52	98	04	82	48	11	71
79	75	24	91	40	71	98	12	82	98	68	68	10	28	81	74	85	22	5	39	0	39	75	95	79
18	83	33	25	37	98	14	50	85	71	31	2	48	74	7	5	45	58	14	27	77	93	68	19	38
74	2	94	39	2	77	55	73	22	70	97	78	1	71	19	52	52	75	80	21	80	81	45	17	48
54	17	84	58	83	80	98	33	71	43	5	33	51	29	88	58	12	71	82	55	38	4	12	33	24
11	88	44	95	83	52	7	98	48	27	58	35	17	15	39	9	97	33	34	40	68	48	6	58	58
48	32	47	79	26	31	24	98	47	10	2	29	53	68	70	32	30	75	75	46	15	2	0	92	94
56	7	49	41	38	87	83	79	19	78	35	58	40	44	1	10	51	82	18	15	1	84	87	89	35

La forma de emplear las tablas de números aleatorios debe ser siempre igual durante toda la selección de las muestras.

El Instituto del Asfalto de los Estados Unidos, formuló una tabla de números aleatorios para seleccionar muestras, enfocado a las vías terrestres, por lo que se utiliza también en aeropuertos

Esta tabla esta compuesta de 28 columnas de 30 renglones y cada columna tiene tres subcolumnas.

CAPITULO V

TABLA F-1 NÚMEROS ALEATORIOS

COL No 1			COL No 2			COL No 3			COL No 4			COL No 5			COL No 6			COL No 7		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	0033	0578	5	0468	0879	21	0013	0220	18	0089	0718	17	0024	0883	3	0030	0901	12	0029	0388
21	0101	0300	17	0074	0158	30	0028	0853	10	0102	0330	24	0060	0032	21	0006	0188	18	0112	0284
23	0139	0918	18	0102	0191	10	0052	0748	14	0111	0925	28	0074	0339	10	0100	0181	20	0114	0843
30	0158	0434	8	0105	0257	25	0061	0854	28	0127	0840	7	0167	0512	29	0133	0388	2	0121	0856
24	0177	0367	28	0179	0447	29	0082	0502	24	0132	0271	28	0184	0778	24	0138	0052	13	0178	0640
11	0202	0271	28	0187	0844	18	0087	0887	19	0285	0898	3	0219	0188	20	0188	0584	22	0209	0421
18	0204	0012	4	0188	0482	24	0109	0849	1	0328	0037	29	0284	0204	22	0232	0953	18	0221	0310
8	0205	0418	2	0208	0577	7	0139	0159	30	0334	0938	11	0252	0282	14	0259	0217	29	0235	0358
19	0211	0708	3	0214	0402	1	0175	0841	22	0405	0285	14	0379	0984	1	0275	0195	28	0284	0941
29	0233	0070	7	0245	0080	23	0198	0873	5	0421	0282	13	0384	0405	6	0277	0475	11	0287	0199
7	0280	0073	15	0248	0831	28	0240	0981	13	0451	0212	8	0410	0157	2	0288	0487	2	0338	0982
17	0282	0300	29	0281	0087	14	0255	0374	2	0461	0023	15	0438	0200	28	0311	0144	15	0363	0488
25	0271	0180	30	0302	0883	8	0310	0043	8	0482	0539	22	0463	0835	5	0351	0141	19	0437	0855
6	0302	0872	21	0315	0088	11	0318	0853	8	0487	0388	21	0472	0824	17	0370	0811	24	0488	0773
1	0408	0408	11	0376	0938	13	0324	0585	25	0503	0883	5	0488	0118	9	0388	0434	14	0351	0014
13	0507	0883	14	0430	0814	12	0351	0275	15	0584	0803	1	0525	0222	4	0410	0073	9	0582	0878
2	0575	0884	27	0438	0878	20	0371	0536	27	0620	0884	12	0581	0980	25	0471	0530	8	0801	0875
18	0591	0318	8	0488	0235	8	0409	0465	21	0629	0841	8	0852	0508	13	0486	0779	10	0812	0859
20	0810	0821	9	0474	0138	18	0445	0740	17	0881	0583	19	0888	0271	15	0515	0887	28	0873	0112
12	0831	0587	10	0482	0474	3	0484	0928	9	0708	0889	30	0738	0834	23	0567	0788	23	0738	0770
27	0851	0281	13	0484	0882	27	0543	0387	7	0709	0012	2	0783	0253	11	0818	0502	21	0753	0814
4	0881	0863	19	0511	0520	17	0625	0171	11	0714	0048	25	0804	0140	28	0838	0148	30	0758	0851
22	0882	0889	23	0581	0270	2	0698	0073	23	0720	0886	23	0828	0425	27	0850	0741	27	0786	0583
5	0779	0345	20	0804	0730	19	0702	0934	3	0748	0413	10	0843	0827	16	0711	0508	7	0780	0534
9	0787	0173	24	0854	0330	22	0818	0802	20	0781	0803	18	0858	0849	19	0778	0812	4	0918	0187
10	0818	0837	12	0728	0523	4	0838	0188	28	0830	0384	4	0903	0327	37	0804	0875	17	0837	0350
14	0886	0831	18	0753	0344	15	0804	0116	4	0843	0002	9	0912	0382	9	0808	0952	5	0854	0818
26	0912	0378	1	0808	0134	28	0908	0742	12	0884	0582	27	0915	0182	16	0841	0414	1	0847	0132
28	0920	0183	22	0878	0804	9	0874	0048	29	0928	0700	20	0945	0582	12	0918	0114	8	0915	0538
3	0945	0140	25	0938	0182	5	0977	0484	19	0951	0801	19	0975	0527	3	0982	0388	25	0925	0584

COL No 8			COL No 9			COL No 10			COL No 11			COL No 12			COL No 13			COL No 14		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
9	0042	0071	14	0081	0935	28	0038	0023	27	0074	0779	18	0073	0887	3	0033	0061	26	0035	0175
17	0141	0411	2	0085	0087	30	0088	0371	8	0084	0388	23	0078	0058	7	0047	0381	17	0089	0830
32	0143	0221	3	0084	0228	27	0073	0878	24	0088	0524	17	0088	0078	28	0084	0113	10	0149	0881
5	0182	0888	18	0122	0945	9	0095	0588	10	0133	0919	4	0153	0183	12	0088	0388	28	0238	0075
3	0285	0018	18	0158	0430	5	0180	0741	15	0187	0079	10	0254	0834	28	0078	0552	13	0244	0787
28	0291	0034	25	0193	0489	12	0200	0851	17	0227	0787	9	0284	0828	30	0087	0101	24	0282	0388
8	0388	0557	24	0224	0572	13	0259	0327	20	0238	0571	12	0305	0816	2	0127	0187	8	0284	0851
1	0435	0388	10	0225	0223	21	0284	0881	1	0245	0888	25	0219	0901	6	0144	0888	18	0285	0311
20	0450	0288	9	0233	0838	17	0283	0845	4	0317	0291	1	0320	0212	25	0202	0874	2	0340	0131
18	0455	0789	20	0200	0120	23	0383	0883	29	0350	0911	8	0418	0372	1	0247	0025	29	0353	0478
23	0438	0715	0	0297	0242	20	0384	0980	28	0380	0104	13	0432	0558	23	0253	0323	8	0358	0270
14	0488	0278	11	0337	0780	18	0385	0383	28	0425	0864	2	0488	0827	24	0320	0851	20	0387	0248
15	0503	0342	19	0388	0084	2	0423	0540	22	0487	0528	29	0503	0787	10	0328	0385	14	0382	0884
4	0515	0883	13	0411	0474	6	0432	0738	5	0552	0511	15	0518	0717	27	0338	0412	3	0408	0077
18	0532	0112	20	0447	0883	10	0478	0488	14	0284	0357	28	0524	0988	13	0358	0981	27	0440	0280
22	0557	0357	22	0478	0321	3	0508	0774	11	0572	0388	3	0542	0352	16	0401	0792	22	0481	0830
11	0559	0820	29	0481	0883	1	0801	0417	21	0584	0187	19	0586	0482	17	0423	0117	18	0527	0003
12	0850	0218	27	0582	0403	22	0887	0917	9	0807	0524	5	0885	0111	21	0481	0838	30	0531	0488
21	0872	0320	4	0588	0179	29	0882	0882	19	0850	0572	7	0733	0838	8	0880	0401	25	0875	0380
13	0709	0273	8	0803	0758	11	0701	0885	18	0884	0101	11	0744	0848	19	0584	0180	21	0725	0014
7	0745	0887	15	0832	0927	7	0728	0488	25	0874	0428	18	0783	0748	5	0571	0054	5	0787	0585
30	0780	0285	8	0707	0107	14	0745	0820	2	0887	0874	27	0802	0987	18	0587	0584	15	0801	0927
19	0845	0887	28	0737	0181	24	0819	0444	3	0787	0928	21	0828	0487	15	0884	0145	12	0838	0284
26	0848	0380	17	0848	0130	15	0840	0823	18	0888	0529	24	0835	0832	11	0841	0288	4	0854	0882
29	0881	0307	7	0874	0481	25	0883	0588	30	0838	0284	28	0855	0142	22	0872	0158	11	0884	0928
25	0908	0874	5	0880	0828	8	0878	0215	13	0845	0470	14	0881	0482	20	0874	0887	19	0888	0832
24	0919	0889	23	0931	0859	18	0930	0801	8	0855	0524	20	0874	0825	14	0872	0881	7	0929	0832
10	0952	0555	28	0980	0385	4	0954	0827	7	0887	0718	30	0929	0058	9	0774	0580	9	0932	0288
8	0981	0504	21	0978	0194	28	0983	0034	12	0881	0722	9	0935	0582	29	0921	0752	1	0970	0882
27	0988	0811	12	0982	0183	19	0988	0000	23	0937	0872	22	0947	0787	4	0858	0089	23	0973	0882

CAPITULO V

TABLA F-1 NUMEROS ALEATORIOS

COL No 15			COL No 16			COL No 17			COL No 18			COL No 19			COL No 20			COL No 21		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	0.023	0.979	19	0.082	0.589	13	0.045	0.004	25	0.03	0.29	12	0.052	0.075	20	0.030	0.581	1	0.010	0.948
11	0.118	0.085	25	0.080	0.218	18	0.089	0.878	8	0.08	0.57	30	0.078	0.483	12	0.034	0.781	10	0.014	0.939
7	0.134	0.172	9	0.131	0.285	26	0.128	0.980	28	0.08	0.03	28	0.120	0.341	22	0.043	0.883	9	0.032	0.348
1	0.139	0.230	18	0.139	0.381	12	0.128	0.881	7	0.11	0.16	27	0.145	0.889	28	0.143	0.073	8	0.083	0.180
16	0.145	0.122	5	0.147	0.884	30	0.145	0.337	18	0.11	0.38	2	0.209	0.887	3	0.180	0.807	15	0.151	0.012
20	0.185	0.530	12	0.158	0.385	5	0.189	0.470	22	0.13	0.83	28	0.272	0.818	4	0.154	0.887	16	0.185	0.455
6	0.185	0.431	28	0.214	0.184	21	0.244	0.433	23	0.16	0.44	22	0.289	0.317	19	0.158	0.359	7	0.227	0.277
8	0.211	0.316	14	0.215	0.757	23	0.270	0.849	15	0.17	0.18	18	0.308	0.425	29	0.304	0.815	2	0.304	0.400
14	0.248	0.348	13	0.224	0.849	25	0.274	0.407	8	0.22	0.10	20	0.311	0.883	6	0.289	0.633	30	0.318	0.074
25	0.248	0.880	15	0.227	0.809	10	0.280	0.625	20	0.25	0.07	15	0.348	0.138	18	0.380	0.538	19	0.328	0.788
13	0.282	0.577	11	0.280	0.888	1	0.328	0.480	4	0.27	0.58	16	0.381	0.710	17	0.403	0.382	20	0.382	0.288
30	0.275	0.088	1	0.331	0.885	24	0.352	0.281	14	0.28	0.30	1	0.411	0.807	23	0.404	0.152	28	0.371	0.216
18	0.272	0.889	10	0.388	0.982	15	0.381	0.135	11	0.30	0.58	13	0.417	0.715	1	0.415	0.457	19	0.448	0.754
22	0.372	0.888	30	0.417	0.787	29	0.374	0.881	1	0.38	0.31	21	0.472	0.484	7	0.437	0.888	13	0.487	0.588
10	0.481	0.078	8	0.438	0.921	8	0.433	0.138	9	0.41	0.09	4	0.478	0.825	24	0.448	0.548	12	0.548	0.840
28	0.519	0.538	20	0.472	0.484	4	0.487	0.288	18	0.43	0.83	25	0.478	0.080	28	0.485	0.783	24	0.550	0.038
17	0.520	0.880	24	0.480	0.712	22	0.508	0.880	10	0.48	0.20	11	0.588	0.104	15	0.511	0.313	3	0.627	0.277
3	0.523	0.519	4	0.518	0.288	27	0.832	0.181	28	0.54	0.31	10	0.578	0.889	10	0.517	0.280	22	0.621	0.930
28	0.573	0.882	3	0.588	0.888	18	0.881	0.838	12	0.58	0.09	28	0.685	0.387	20	0.688	0.883	21	0.628	0.154
19	0.634	0.238	23	0.587	0.508	19	0.675	0.629	2	0.58	0.52	19	0.738	0.288	25	0.681	0.837	11	0.634	0.628
24	0.635	0.910	21	0.681	0.114	14	0.680	0.880	30	0.48	0.20	14	0.748	0.738	9	0.674	0.588	5	0.688	0.458
21	0.678	0.841	2	0.738	0.288	26	0.714	0.508	19	0.71	0.45	8	0.758	0.918	10	0.813	0.782	23	0.710	0.028
27	0.712	0.288	28	0.732	0.038	6	0.719	0.441	24	0.71	0.17	7	0.781	0.183	11	0.885	0.753	28	0.728	0.585
5	0.780	0.487	22	0.838	0.334	9	0.735	0.033	13	0.82	0.74	23	0.834	0.647	14	0.715	0.178	17	0.748	0.916
23	0.881	0.108	17	0.834	0.647	17	0.714	0.905	5	0.85	0.87	8	0.837	0.678	15	0.870	0.128	4	0.802	0.188
12	0.885	0.371	16	0.888	0.808	11	0.747	0.205	27	0.87	0.83	3	0.848	0.884	8	0.815	0.385	14	0.835	0.319
29	0.882	0.888	8	0.914	0.425	20	0.880	0.047	5	0.85	0.33	24	0.881	0.187	6	0.872	0.480	8	0.871	0.548
8	0.902	0.020	27	0.886	0.886	2	0.859	0.338	17	0.80	0.34	5	0.859	0.835	21	0.885	0.918	28	0.871	0.538
4	0.881	0.482	28	0.881	0.978	7	0.870	0.812	21	0.81	0.38	17	0.883	0.220	2	0.888	0.177	25	0.871	0.388
2	0.977	0.172	7	0.883	0.624	3	0.918	0.403	29	0.88	0.78	9	0.883	0.147	27	0.881	0.880	27	0.884	0.252

COL No 22			COL No 23			COL No 24			COL No 25			COL No 26			COL No 27			COL No 28		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
12	0.051	0.032	28	0.010	0.187	8	0.015	0.521	2	0.038	0.005	16	0.028	0.102	21	0.050	0.982	29	0.042	0.038
11	0.088	0.980	3	0.053	0.256	16	0.088	0.984	18	0.081	0.588	1	0.023	0.888	17	0.088	0.403	7	0.105	0.293
7	0.088	0.308	29	0.100	0.158	11	0.118	0.400	26	0.088	0.054	4	0.088	0.588	10	0.141	0.824	25	0.118	0.420
1	0.091	0.371	13	0.102	0.485	21	0.124	0.585	11	0.073	0.812	22	0.080	0.802	5	0.154	0.152	9	0.128	0.912
10	0.100	0.708	24	0.110	0.318	18	0.153	0.158	7	0.123	0.648	13	0.114	0.804	8	0.164	0.841	10	0.208	0.144
30	0.121	0.744	18	0.114	0.300	17	0.180	0.188	5	0.128	0.858	20	0.138	0.538	7	0.197	0.013	3	0.210	0.054
2	0.188	0.058	11	0.123	0.208	20	0.182	0.878	14	0.161	0.188	5	0.138	0.228	16	0.215	0.383	23	0.234	0.533
23	0.178	0.538	9	0.138	0.182	1	0.237	0.030	18	0.188	0.040	10	0.218	0.588	8	0.222	0.520	13	0.288	0.788
21	0.187	0.051	8	0.184	0.115	12	0.283	0.072	28	0.248	0.171	2	0.233	0.810	13	0.288	0.477	20	0.308	0.803
22	0.205	0.543	22	0.234	0.483	3	0.288	0.318	8	0.255	0.117	7	0.278	0.367	2	0.288	0.012	5	0.372	0.223
28	0.230	0.688	20	0.274	0.107	10	0.317	0.734	15	0.281	0.928	30	0.405	0.273	25	0.335	0.833	28	0.385	0.111
19	0.743	0.001	21	0.331	0.282	5	0.337	0.844	10	0.301	0.811	8	0.421	0.807	28	0.248	0.710	30	0.422	0.315
27	0.287	0.880	8	0.348	0.085	25	0.441	0.338	24	0.383	0.025	12	0.435	0.583	20	0.262	0.981	17	0.453	0.783
15	0.283	0.440	27	0.382	0.797	27	0.468	0.788	22	0.378	0.762	8	0.471	0.708	14	0.511	0.989	2	0.480	0.918
16	0.382	0.088	7	0.387	0.085	24	0.473	0.237	27	0.378	0.958	18	0.473	0.738	26	0.540	0.903	27	0.481	0.841
3	0.377	0.848	28	0.411	0.778	20	0.475	0.281	19	0.420	0.557	19	0.510	0.207	27	0.587	0.643	14	0.483	0.066
8	0.387	0.788	18	0.444	0.968	8	0.557	0.001	21	0.487	0.943	3	0.512	0.328	12	0.603	0.745	12	0.502	0.375
9	0.408	0.438	4	0.515	0.983	7	0.810	0.238	17	0.484	0.225	15	0.640	0.328	28	0.618	0.885	28	0.508	0.748
14	0.485	0.405	17	0.518	0.827	9	0.817	0.041	9	0.820	0.081	9	0.885	0.354	23	0.623	0.333	21	0.583	0.804
13	0.488	0.651	5	0.538	0.820	13	0.641	0.648	30	0.823	0.108	14	0.880	0.884	22	0.624	0.078	22	0.587	0.983
4	0.538	0.972	2	0.623	0.271	22	0.684	0.281	3	0.625	0.777	28	0.703	0.822	18	0.670	0.904	18	0.688	0.338
18	0.580	0.747	30	0.634	0.374	4	0.888	0.858	8	0.651	0.780	28	0.738	0.384	11	0.711	0.253	8	0.727	0.288
26	0.575	0.882	14	0.714	0.384	19	0.717	0.232	12	0.715	0.588	25	0.758	0.388	1	0.780	0.382	4	0.731	0.814
29	0.788	0.712	15	0.738	0.107	2	0.778	0.594	23	0.782	0.083	24	0.803	0.802	4	0.813	0.811	8	0.807	0.983
20	0.780	0.880	19	0.771	0.552	28	0.777	0.545	20	0.810	0.371	27	0.842	0.481	19	0.843	0.732	15	0.833	0.757
5	0.847	0.925	23	0.780	0.882	14	0.823	0.223	1	0.841	0.738	21	0.870	0.435	3	0.844	0.511	19	0.868	0.484
25	0.872	0.881	10	0.884	0.888	23	0.848	0.284	29	0.882	0.008	28	0.908	0.387	30	0.858	0.288	18	0.928	0.384
24	0.874	0.138	12	0.928	0.204	30	0.882	0.817	25	0.891	0.873	23	0.948	0.387	9	0.923	0.180	1	0.943	0.810
6	0.911	0.215	1	0.937	0.714	28	0.943	0.180	4	0.917	0.284	11	0.958	0.142	24	0.921	0.285	11	0.948	0.708
7	0.948	0.085	25	0.874	0.388	15	0.975	0.932	13	0.958	0.880	17	0.983	0.888	15	0.938	0.847	24	0.978	0.833

Al emplear las tablas de números aleatorios, se elije al azar un renglón y una columna y así se encuentra el primer número; los siguientes números serán los que se encuentren debajo del primero, de esta manera, se ensayarán las muestras que tengan los numeros que resultaron de aplicar las tablas de números aleatorios.

5.2 CARTAS DE CONTROL

En la industria de la construcción, como en todas partes, un producto nunca será idéntico a otro, por lo que la calidad de ellos podrá variar debido a varias razones.

En general las causas que provocan variación en la calidad entre los productos pueden ser de dos tipos:

- a) Pueden ser causas aleatorias, o sea dependen de factores que no se pueden determinar, ya que son inevitables e influyen en la calidad de un producto en forma aleatoria, provocan variaciones pequeñas.

Cuando la variación en la calidad de un producto es debido a causas aleatorias se dice que el proceso esta "bajo control".

- b) El segundo caso es que sean causas asignables, en este caso dependen de fenómenos que si se pueden controlar, y provocan variaciones grandes.

Un ejemplo de esto serian defectos en la maquinaria, en la materia prima, o bien en los operadores, por mencionar algunos.

Cuando la variación en la calidad es debido a causas asignables se dice que el proceso está "fuera de control".

Para calcular la variación en la calidad de un producto por causas aleatorias, se emplea la fórmula siguiente que es la obtención del "error inherente" al proceso de producción para un cierto nivel de confianza.

$$Em = t\sigma / (n)^{1/2}$$

Donde:

t = factor de nivel de confianza.

σ = desviación estándar.

n = número de elementos de las muestras.

Valores de "t" para diferentes niveles de confianza:

Nivel de confianza en %	t
99.7	3.00
98.0	2.33
95.5	2.00
95.0	1.96
90.0	1.64
80.0	1.28
68.2	1.00
50.0	0.67

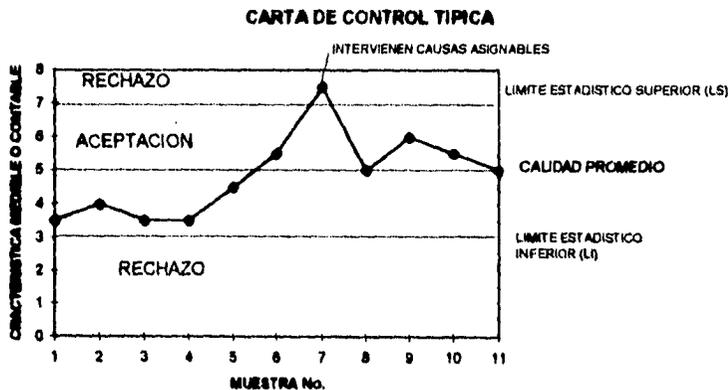
Las "cartas de control" son gráficas que se construyen dinámicamente, con lo que se puede observar fácilmente si el

proceso se encuentra "bajo control" o "fuera de control" por lo tanto se pueden realizar correcciones oportunas a los procesos.

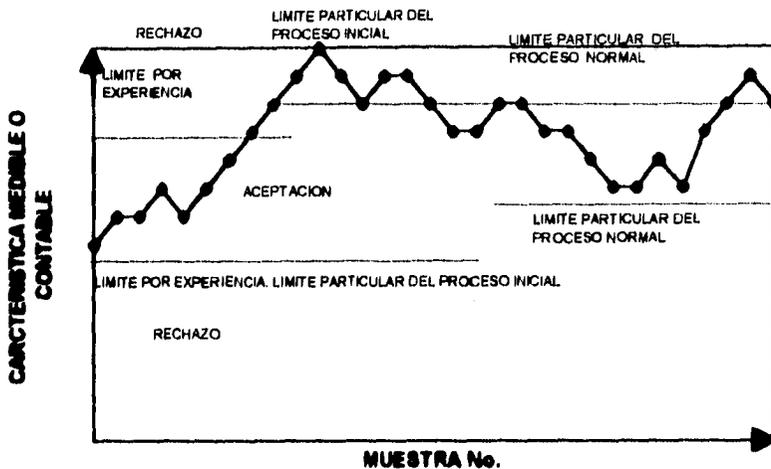
En estas cartas se indican límites de aceptación y rechazo, para fijar dichos límites estimando la magnitud de las variaciones debido a causas aleatorias, estos límites se obtienen estadísticamente.

Si los valores calculados caen dentro de la región definida por los límites se dice que el proceso está bajo control, de lo contrario estará fuera de control.

Para cada proceso de producción los límites estadísticos son particulares, pero para un proceso nuevo se pueden utilizar límites basados en la experiencia de otros procesos similares, pero será necesario ajustarlos al nuevo proceso a medida que éste avanza. Una carta de control es como la que se muestra a continuación:



Para cada concepto se fijan niveles de calidad y con éstos se definen los límites de tolerancia, que pueden ser los límites de especificación en las cartas de control, para la variación en su calidad de acuerdo al nivel requerido.



Cuando se elabora un proyecto, se fija el nivel de calidad para cada concepto de obra y se especifican tolerancias a la variación de su calidad, de acuerdo al nivel requerido. Estas tolerancias pueden constituirse en límites de especificación en las Cartas de Control. Es deseable que la homogeneidad de la calidad obtenida en un proceso de producción sea tal que la región de aceptación definida por los límites estadísticos resulte más angosta que la de los límites de especificación; en este caso se tendrán áreas entre los límites estadísticos y los de especificación, que harán las veces de zonas de corrección, es decir, que si un punto queda fuera de la zona de aceptación estadística pero dentro de los límites de tolerancia especificados, se sabrá que en su calidad intervinieron causas asignables que podrán corregirse sin que el producto sea rechazado.

Para que el control mediante estas cartas sea representativo, todos los valores que se manejen deberán proceder de muestras obtenidas por un plan de muestreo aleatorio.

LIMITES ESTADISTICOS Y DE ESPECIFICACION EN UNA CARTA DE CONTROL



5.2.1 CARTAS DE CONTROL PARA CARACTERISTICAS MEDIBLES.

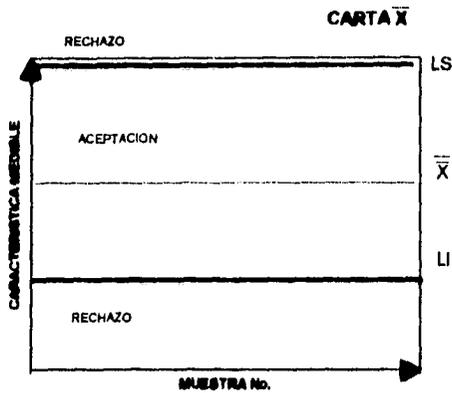
Las cartas de control para características medibles que mas frecuentemente se emplean son las siguientes:

- a) **Cartas \bar{X} .**- Se construyen con base en la calidad promedio en un proceso de producción y sus límites estadísticos superior (LS) e inferior (LI) están dados por las siguientes expresiones:

$$LI = \bar{X} \pm A_1 \bar{R}$$

$$LS = \bar{X} \pm A_2 \bar{R}$$

- En estas expresiones \bar{X} es el promedio de la medida de cada muestra es la medida de las desviaciones estándar de cada muestra, y \bar{R} es la medida de los rangos de cada muestra, A_1 y A_2 son factores que en base a un nivel de confianza dado correlacionan el error inherente del proceso con \bar{X} y \bar{R} , respectivamente.



b) Cartas σ .- Estas cartas se basan en la variabilidad de la calidad del proceso estimada mediante la desviación estándar de la población producida y sus límites estadísticos inferior y superior están dados por:

$$LI = \beta_3 \bar{\sigma}$$

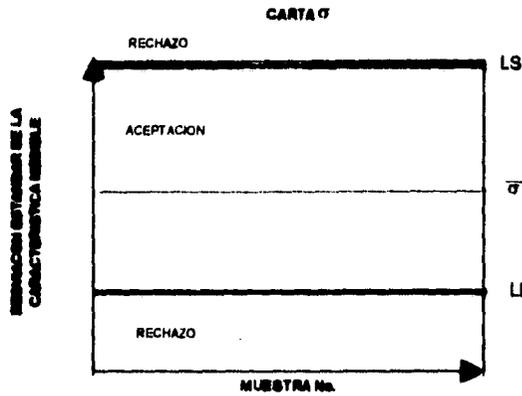
$$LS = \beta_4 \bar{\sigma}$$

donde:

$$B_3 = 1 - ((t/c_2 \sqrt{n}) (\sqrt{(2(n-1) - 2nc_2^2)}))$$

$$B_4 = 1 + ((t/c_2 \sqrt{n}) (\sqrt{(2(n-1) - 2nc_2^2)}))$$

En estas expresiones, t , n y σ tienen el sentido ya expresado y C_2 es un factor que relaciona a $\bar{\sigma}$ con σ' en función de n .



- c) **Cartas R.-** Estas cartas también se basan en la variabilidad de la calidad del proceso, pero estimada ahora mediante los rangos de las muestras obtenidas y sus límites estadísticos inferior y superior se definen por:

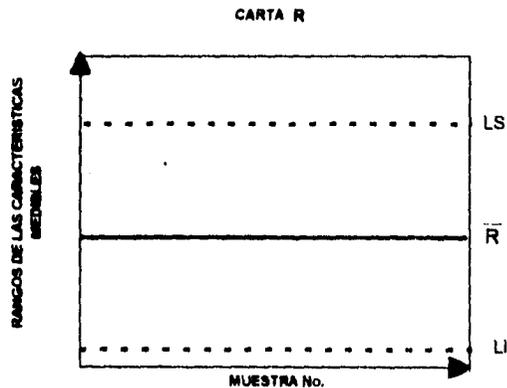
$$LI = D_3 \bar{R}$$

$$LS = D_4 \bar{R}$$

Donde D_3 y D_4 son los factores que en función de n correlacionan a \bar{R} con el error inherente al proceso de producción.

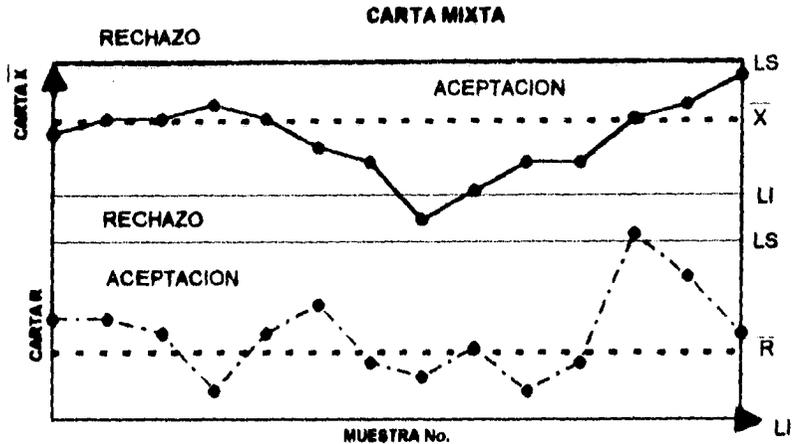
En la siguiente tabla se presentan valores de los factores que intervienen en las expresiones mencionadas, para un nivel de confianza de 99.7% ($t=3$)

Tamaño de la muestra n	Cartas \bar{x}			Cartas σ		Cartas R	
	A ₁	A ₂	B ₃	B ₄	C ₂	D ₃	D ₄
2	3.760	1.880	0	3.267	0.5642	0	3.267
3	2.394	1.023	0	2.568	0.7236	0	2.575
4	1.880	0.729	0	2.266	0.7979	0	2.282
5	1.596	0.557	0	2.089	0.8407	0	2.115
6	1.410	0.480	0	1.970	0.8686	0	2.000
7	1.280	0.420	0.12	1.880	0.8882	0.08	1.920
8	1.170	0.370	0.19	1.810	0.9027	0.14	1.860
9	1.090	0.340	0.24	1.760	0.9139	0.18	1.820
10	1.030	0.310	0.28	1.720	0.9227	0.22	1.780



Para el control de muchos procesos de producción conviene emplear cartas mixtas en las que se muestren simultáneamente una carta \bar{X} con una carta σ o R, pues es de gran importancia conocer, además de la tendencia de las medidas de las muestras, la dispersión de la calidad obtenida, lo que facilita la localización de posibles causas asignables en el proceso de ma-

nufacturación. En la siguiente figura se muestra una carta mixta.



De las cartas mencionadas, las de mayor sencillez para su aplicación son las cartas \bar{X} y R, pues la obtención de los valores que se utilizan para formarlas se reduce a simples cálculos aritméticos.

5.2.2 CARTAS DE CONTROL PARA CARACTERISTICAS CONTABLES.

El control de las características contables de los elementos producidos puede efectuarse mediante cartas de atributos en las que se clasifica el producto en defectuoso o no defectuoso. Estas cartas son:

- a) Cartas P.- Se aplican con base en la fracción defectuosa de los elementos producidos. En este caso la

probabilidad de obtener un elemento defectuoso en la población será:

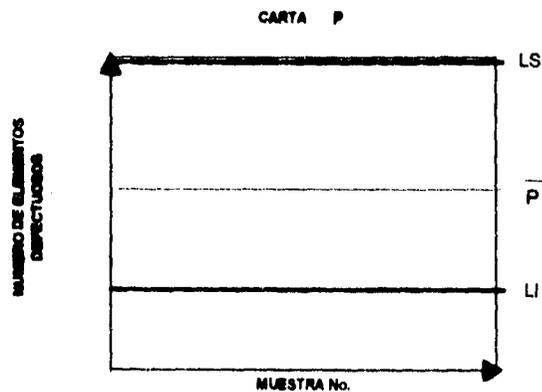
$$p=d/n$$

Donde "d" es el número d elementos defectuosos en una muestra y "n" el número de elementos que constituyen la muestra. Si se define por:

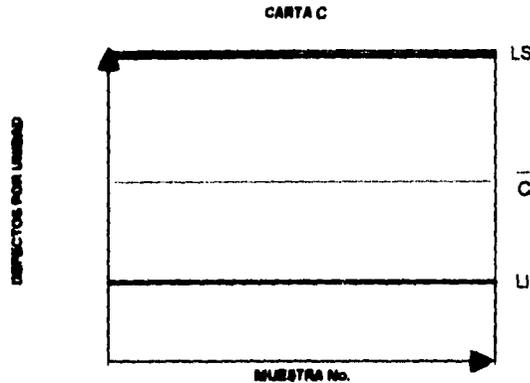
$$\bar{p}=\Sigma d/\Sigma n$$

En el que Σd es el número total de elementos defectuosos detectados en las muestras y Σn es el número total de elementos inspeccionados, entonces los límites estadísticos LS y LI serían:

$$p \pm (3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})})/n$$



- b) Cartas C Se aplican con base en los defectos por unidad producida. En este caso, C' es el promedio de defectos por unidad y los límites estadísticos estarán dados por :

$C' \pm 3\sqrt{c'}$


5.2.3 CARTAS A BASE DE MEDIDAS MOVILES.

En las cartas para características medibles comentadas anteriormente, se obtienen los límites estadísticos en función del tamaño de las muestras, lo que exige planes de muestreo en los que las muestras estén integradas por el mismo número de elementos. En la realidad de la construcción no siempre es posible la obtención de muestras homogéneas en lo que a tamaño respecta, ya que el número de elementos muestreados suele estar en función de los volúmenes de obra que se construyen y que varían frecuentemente.

El problema de tener muestras de diferente tamaño en la aplicación de los criterios comentados se anula utilizando las "Medidas Móviles", que son los promedios de medidas de las

últimas "n" muestras y que pueden expresarse de la siguiente manera:

$$\bar{X}_m = (\bar{X}_{j-(n-1)} + \bar{X}_{j-(n-2)} + \dots + X_{j-(n-n)})/n$$

Donde "j" es el número de la última muestra obtenida y "n" es el número de muestras con las que se integrará la medida móvil.

Las medidas móviles pueden emplearse para la obtención de X con la ventaja de uniformar el tamaño de "n". Es común trabajar con n= 55, es decir, que la medida móvil será el promedio de medidas de las últimas cinco muestras.

5.2.4 COMENTARIOS A LAS CARTAS DE CONTROL.

Las Cartas de Control son una buena opción para el control estadístico de calidad que se obtiene con un proceso de producción, pues además de lo sencillo que resulta construirlas, permiten saber si los valores que se están obteniendo tienen variaciones inevitables o algunas son susceptibles de eliminarse, ya que señalan en todo momento si el proceso se mantiene Bajo Control, indicando el instante en que han de tomarse medidas para mejorarlo o cambiarlo. Para que las medidas correctivas que en su caso haya que aplicar sean oportunas, las cartas deberán mantenerse al día, evitando en lo posible cualquier retraso en su actualización.

Este sistema de control será realista sólo si las muestras son obtenidas al azar, de lo contrario, las apreciaciones que resulten de su aplicación podrán ser tendenciosas.

Debe decirse que las Cartas de Control indican cuándo se requiere revisar el proceso, mostrando la existencia de irregularidades, pero no definen esas irregularidades.

5.3 CONTROL DE CALIDAD EN AEROPUERTOS

El Control de Calidad debe ser un sistema de inspección, muestreo, prueba y lo que es más importante, análisis de la información obtenida, que permita crear la experiencia necesaria para corregir el proceso constructivo, a fin de lograr los resultados deseados a menor costo y mayor rapidez, tomándose en cuenta los siguientes principios fundamentales:

- a) Al efectuar una operación repetidamente, siempre existirá una variación en los resultados obtenidos.
- b) No debe establecerse un estado de control riguroso.
- c) Debe establecerse un estado de control a un nivel satisfactorio **abajo de** la máxima eficiencia que puede obtenerse en la producción.
- d) La calidad es intrínseca al producto y no puede introducirse a él por medio de su inspección.
- e) Las técnicas de los costos de control son aplicables en cualquier etapa de la producción de una obra, indicando en todo momento si el proceso se mantiene Bajo Control y señalando el instante en que se ha de actuar sobre el proceso en estudio para ajustarlo, mejorarlo o cambiarlo.
- f) Las cartas de control indican cuándo conviene revisar el proceso, pero no dicen dónde. Indican que algo anda mal pero no dicen que.

En el caso de los aeropuertos, el Control de Calidad se debe realizar en cada una de las siguientes tres etapas de acción:

5.3.1 ETAPA PREVENTIVA.

Durante esta etapa se debe controlar los materiales, naturales o producidos, que se emplearán en la construcción de algún concepto de obra, como puede ser de los ingredientes para la fabricación de un concreto hidráulico o de una mezcla asfáltica, ya que si se emplean materiales con las características fijadas por las especificaciones de construcción, mezclados en las proporciones correctas y con los procedimientos adecuados, se tendrá la seguridad de alcanzar los resultados deseados.

En esta etapa, las medidas correctivas que llegarán a requerirse son generalmente sencillas y económicas.

5.3.2 ETAPA DE VERIFICACION.

Es el control de los conceptos de obra terminados para verificar que se hayan alcanzado los resultados deseados, como puede ser el grado de compactación de una terracería, la resistencia del concreto hidráulico o la estabilidad de un concreto asfáltico. Si en esta etapa del Control de Calidad tuvieran que tomarse medidas correctivas, generalmente las correcciones serán antieconómicas y difíciles, pero la probabilidad de que se requieran medidas correctivas durante esta etapa, es muy pequeña si se efectúa un control de calidad preventivo adecuado.

5.3.3 ETAPA DE HISTORIA

Es en esta etapa del control de calidad donde se resumen los resultados de las etapas anteriores, permitiendo el conocimiento de las características de los materiales empleados en la construcción y de los conceptos de obra terminados. Si este conocimiento se difunde a nivel institucional, facilita el mantenimiento de la obra así como el seguimiento de su comportamiento y proporciona la experiencia necesaria para la elaboración de los proyectos de aeropuertos futuros.

CAPITULO VI

CONTROL DE OBRA

6.1 CONTROL DE OBRA

Para llevar a cabo una serie de actividades ordenadas y con un sentido lógico, durante un proceso constructivo, que en cualquier momento exprese en una forma gráfica las actividades desarrolladas en un periodo determinado, se debe contar con un aparato de información, que actuara durante el desarrollo de una obra, que se encargue de analizar, ordenar, procesar y plasmar en un formato, en gráficas o en cifras, el estado físico y financiero de una obra en un momento determinado o de manera periódica constante.

En circunstancias como las actuales donde se viven momentos de incertidumbre económica y financiera, es difícil elaborar una planeación adecuada que se apegue a la realidad, por lo que es indispensable optimizar todos los recursos canalizados para el logro de una terminación adecuada dentro de los alcances permisibles para tal objeto.

El objetivo principal dentro del proceso de control de obra, no es detectar o presentar una serie de formatos de información en los cuales se indique que esta bien o mal el desarrollo de la obra, sino más bien evitar desviaciones en los recursos y lo que es más importante, conservar el orden lógico de ejecución que es deseable en todo tipo de construcción.

En base a la información veraz y oportuna durante todo el proceso, se tiene en todo momento una imagen objetiva del cómo y porqué de las variaciones que sufre a lo largo de su desarrollo.

Es muy importante conocer desde sus inicios el desarrollo de una obra, y sobre todo evaluar su costo y conocer todos y cada

uno de los elementos de que se compone tal costo; para ello es menester partir siempre de una base idealizada para que al aplicarla a la realidad, intervengan todos y cada uno de los imponderables que afectan tanto a los tiempos de ejecución como a los costos.

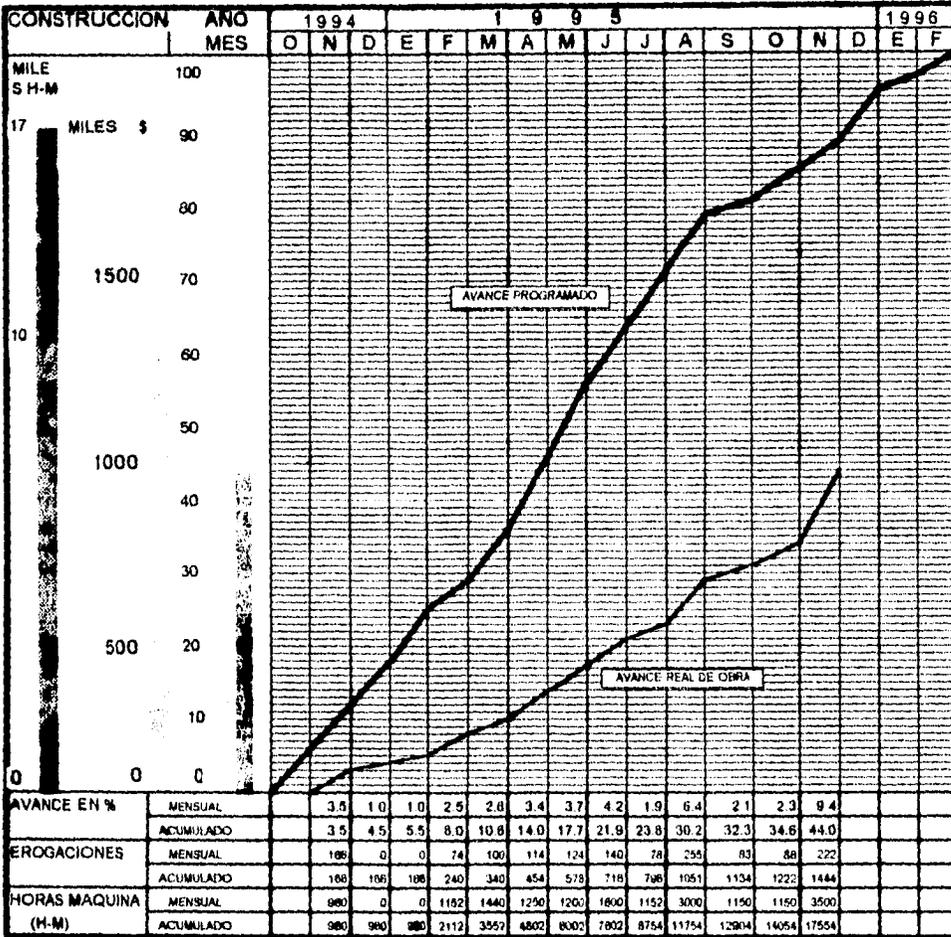
El presupuesto inicial es la base para conocer los costos iniciales de una obra, y es el que marca el arranque del programa de ejecución, el cual parte de una serie de supuestos que son marcados como premisas o metas a alcanzar al elaborar el concurso de obra, y se tendrá entonces que se fija desde el inicio la terminación y el costo.

A continuación es importante conocer cuáles son los elementos constitutivos del programa de ejecución en cuanto al tiempo, para valorarlos y estar en condiciones de saber cuáles son los elementos de más peso durante su desarrollo.

Con relación al monto total que marcará el arranque del programa, se determinarán unos valores abstractos que indican el porcentaje relativo de cada uno de ellos con relación al total, para que de esta manera quede establecido de manera relativa su expresión de avance a lo largo de la ejecución de la obra; siempre se referirá a lo que se genera físicamente durante el proceso y nunca estará relacionado en forma alguna a costos o variaciones de la obra.

Esta manera de expresar el avance físico de una obra, se lleva a cabo mediante la formulación de una gráfica vectorial representada como la que se muestra que marca la relación de avance físico como un número abstracto que se traduce en un porcentaje con relación al tiempo de desarrollo, con lo cual se está en condiciones de evaluar en todo momento la relación entre el avance físico y el tiempo de ejecución.

<p align="center">DIRECCION GENERAL SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION DEPARTAMENTO DE OBRA CIVIL</p>	<p align="center">GRAFICA DE AVANCES, EROGACIONES Y MANO DE OBRA</p> <p>RESIDENCIA _____ UBICACION _____ CONTRATO _____</p>
--	--



AVANCE DE OBRA PROGRAMADA EN %
 EROGACIONES, EN MILLONES DE PESOS
 AVANCE DE OBRA REALIZADA EN %
 MANO DE OBRA EN HORAS - MAQUINA

GRAFICA VECTORIAL DE AVANCES E INVERSIONES

De esta forma al intervenir las variaciones en costo de una obra, que siempre se está modificando de acuerdo a las condiciones diarias de la economía nacional el resultado anterior no intervendrá en la información que se genera y que se referirá siempre a su estado físico.

Una vez elaborada la gráfica vectorial de avances porcentuales o físicos se procede a elaborar para el control diario semanal o mensual, para cada elemento constitutivo de la obra, su gráfica de barras, la que por su sencillez se ha tomado como elemento idóneo de información; en esta gráfica se distribuyen mediante barras todos y cada uno de los elementos que intervienen en forma particular por "concepto", para formar un todo y en la misma forma que se hizo para la distribución global del ejemplo anterior, se hace para cada elemento, formando así el cuerpo completo de información para poder llevar a cabo el control de la obra que se busca y tener la información en el momento que se requiera. El resultado se aprecia en la gráfica de la siguiente página.

Así concluye la primera etapa de formulación de formatos, para poder llevar a cabo con eficiencia la información requerida. Se cuenta con los siguientes elementos para poder transmitir un informe de control de obra:

1. Gráfica de barras por cada elemento subdividido por conceptos con cada uno de sus conceptos constitutivos interrelacionado y expresado en porcentaje.
2. Gráfica de barras de todo el conjunto de elementos que constituye el total de la obra, expresado en porcentaje.
3. Gráfica vectorial que refleja el avance "volúmenes" y el tiempo, referidos siempre a un porcentaje.

DIRECCION GENERAL SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION DEPARTAMENTO DE OBRA CIVIL RESIDENCIA GENERAL _____	PROGRAMA DE CONSTRUCCION Y PROCENTAJE DE AVANCE OBRA _____ P.P. _____ PROY. _____ OBRA No. _____ CONTRATO _____ FASE _____ AÑO _____
--	---

No.	CONCEPTO	% REL	O N D E F M A M J J A S O N D E F M A M																				
			O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	
	CALLE No 10 DE A a L		4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	59	65	70	76	82	88	92	100
1	TERRACERIAS	75																					
					6	8	11	15	20	27	34	42	46	59	63								
2	ESTRUCTURAS	13			9	18	27	26	45	54	63	72	81	90	100								
3	PAVIMENTOS	12							11	22	33	44	55	66	77	88	100						
		100																					

PROGRAMADO  REPROGRAMADO  OBSERVACIONES _____
 EN EJECUCION INACTIVO _____
 HOJA ____ DE ____

GRAFICA DE BARRAS

Desde luego para llegar a este tipo de informe, se requiere de una infraestructura de apoyo para la elaboración de esta información, lo que implica una observación cuidadosa y mucho criterio para su aplicación, que como se dijo, se puede adaptar al informe diario, semanal o mensual, según se requiera y se disponga de los medios para hacerlo.

En toda dirección o supervisión de una obra, se requiere de un grupo de apoyo para poder procesar toda la información que llega en forma dispersa procedente de los observadores físicos, que son los llamados "checadores", supervisores o sobrestantes y que vierten en forma diaria sus observaciones.

Esta información debe ser procesada, como ya se indicó, en forma inmediata, llevando a cabo su análisis cualitativo para poder relacionarla con los informes que se plasmarán en las gráficas de avance. Esta infraestructura de apoyo se denomina generalmente "control de obras", y está disponible exclusivamente para procesar los datos de campo, así como para llevar a cabo la evolución de volúmenes y su costo; no hay que olvidar que todo lo generado físicamente se traduce en costo que también se puede llevar diario, semanal o mensual. De esta forma en una dirección de obra o "supervisión" se podrá contar con un organigrama en el cual el flujo de la información sea ágil con interacción recíproca de campo a gabinete.

Para efectos de control de los costos en la ejecución de la obra, se deberá tener en cuenta que el proceso de la elaboración y cuantificación para el pago de lo ejecutado físicamente, deberá ser observado cuidadosamente por el personal designado para ello y que el departamento de "Control de Obra" observará mediante la documentación generada, su análisis para advertir en su momento si ha habido errores al efectuar tales

pagos, por lo cual se pone en evidencia que un organigrama bien definido se hace necesario en toda dirección de obra, para llevar a buen termino el desarrollo administrativo de la obra, por su sencillez o complejidad siempre deberá contar con este dispositivo que pretende sea el aviso de alarma para cualquier desviación que generalmente no se visualiza inmediatamente por no darle la importancia que se requiere.

Se muestran a continuación algunos modelos de formatos como complemento de la información básica para coadyuvar al entendimiento de la formulación para tales informes, que si bien en su inicio presenta cierto grado de dificultad, ya durante su desarrollo es bastante simple y objetivo por su lenguaje y expresión.

Es muy importante hacer notar que todo director de una obra deberá tener siempre la información a su alcance para poder evaluar rápidamente y así expresar cuando se le requiera, cuál o cuáles elementos y conceptos estarán sujetos a sobrecosto durante la ejecución de la obra, ya que la economía nacional como antes se dijo está en evolución constante, afectando continuamente los presupuestos.

En este sentido no hay que perder de vista que las escalaciones, los precios unitarios fuera de catálogo y otros factores que causan un sobrecosto, no afectan a la información presentada, en su aspecto físico, pero puede llevarse un control de sobrecosto de acuerdo a la situación que impone el momento y referirla en ese instante a un cierto porcentaje con relación al costo total de la obra.

DIRECCION GENERAL
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE OBRA CIVIL

CONTROL DE OBRA

PROYECTO No _____
CONCURSO No _____
CONTRATO No _____
CONTRATISTA _____
REPRESENTANTE CONTRATISTA _____ TELEFONO _____
REGISTRO CONTRATISTA _____ REG FED. CAUS No _____
FECHA DE CONTRATO _____
IMPORTE INICIAL _____
DESCRIPCION DE LA OBRA _____

LUGAR _____

PARTIDAS PRESUPUESTALES _____

REVALIDACIONES O CONVENIOS ADICIONALES _____

No.	FECHA	MONTO
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

FORMATO DE CONTROL DE CONTRATOS

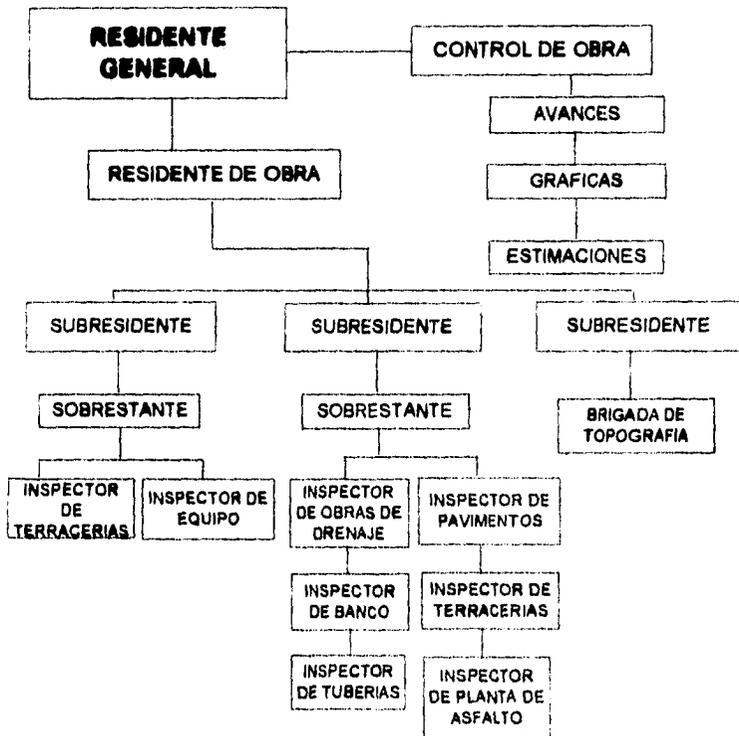
6.2 ORGANIGRAMA DE RESIDENCIA

El personal que integra una residencia de obra, para llevar a cabo las funciones de supervisión en campo, deberá ser el adecuado para que no se vean duplicadas las funciones de información y esto provoque confusiones al procesar los datos de campo; asimismo la ausencia del mismo puede provocar una falta de datos necesarios para la información, siendo ésta pobre y deficiente; se para plasmar en forma gráfica el proceso informativo, se puede anotar tres fases, y de esta manera el director de obra podrá explicarlo a quien se lo requiera, estas son:

- a) Fase de campo. Esta integrada por el personal de inspección o supervisión propiamente dicho, ya que su función específica es la de "ver" lo que acontece en el lugar de la obra y en el lugar donde se le destina para esta función y transcribirla a unos formatos, procurando anotar lo más clara y concisamente lo más relevante del "turno".
- b) Fase de gabinete. Se encarga de seleccionar y condensar lo plasmado en campo y ordenar de acuerdo a su clasificación el contenido de los informes de campo; esta fase comprende el "Control de Obra" propiamente dicho.
- c) Fase de decisión. Corresponde exclusivamente al director de obra y a sus auxiliares, que son los encargados de darle la forma requerida para su presentación.

Es muy importante recalcar que se debe inculcar en el personal observador, su absoluta atención en el desempeño de sus actividades para evitar que se pierda tiempo innecesario en la interpretación de sus informes.

Una residencia para dirección de obra puede establecerse de acuerdo al organigrama mostrado a continuación.



ORGANIGRAMA DE RESIDENCIA

6.3 METODOLOGIA

Para elaborar los informes de que se compone el “avance” de la obra, hay que tener presentes los informes “visuales” del desarrollo físico del trabajo para evaluar sus incrementos con relación al tiempo estimado de ejecución; así pues, tomando cada actividad como una entidad por separado, se analiza y evalúa para poder integrar un conjunto de partes a un total que arrojará el global buscado para dar la imagen de la obra, refe-

rida siempre a un porcentaje que es más fácil de asimilar que cualquier otra expresión empleada para objetivizar el "avance".

Es muy conveniente señalar que una metodología para la obtención de tales cifras se jerarquiza para poder obtener el resultado deseado.

6.3.1 AVANCE FISICO EN PORCENTAJE.

- a) Se determina el periodo de información
- b) Se jerarquizan los elementos que intervienen en el informe.
- c) Se forman "paquetes" para resumir los avances físicos y hacer condensado y comprensible el informe.
- d) Se relacionan todos entre sí para formar un 100 por ciento absoluto con relación al "elemento" por visualizar.
- e) Se conjuntan todos los "elementos" que intervienen en el total y se relacionan entre sí para formar un 100 por ciento absoluto, que da la imagen porcentual de la obra.
- f) Se determinan los tiempos de ejecución para cada elemento, también relacionándolo al 100 por ciento de su ejecución en el tiempo señalado.
- g) Se van marcando los porcentajes parciales para cada elemento relacionándolos con un relativo para referirlo al absoluto de la obra.

- h) Se toman los porcentajes de cada elemento para la fecha indicada y se obtiene el total en porcentaje en el tiempo señalado.**

Para obtener el avance de erogaciones, es fácil llevar una gráfica de inversiones por separado, tomando en cuenta que en este rubro, los incrementos por imponderables no considerados al inicio de un presupuesto hacen muy difícil referirlo a un porcentaje en relación a un total, ya que en las actuales circunstancias, los incrementos en los costos día a día se van sumando al presupuesto, lo cual hace irreal, en un momento dado que se represente con relación a la inversión, el avance de una obra.

6.3.2 FORMATO DE PRESENTACION.

La forma o secuencia para presentar el estado físico o financiero de una obra deberá ser sencilla y objetiva, teniendo en cuenta siempre que es determinante que mediante la observación inicial de la presentación se proporcione al lector de inmediato el estado de la obra; por ello hay que ir siempre de lo general a lo particular, dependiendo del interés que se tenga en cada aspecto. Por lo que en la presentación se deberá colocar en primer término el resumen general de la obra para así ir desglosando de lo general a lo particular.

CAPITULO VII

MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO

El mantenimiento conceptualmente es todo cambio físico que se realiza en el área, equipo o instalaciones de una planta o complejo, que es esencial en las operaciones de la organización, este cambio físico puede ser conservar, reparar, renovar o reemplazar, e involucra mano de obra, materiales y equipo.

En toda obra civil que se realiza, un aspecto muy importante es el mantenimiento, desde el inicio de la obra se toma en cuenta que los sistemas, materiales y equipos que se emplean estén en condiciones adecuadas para asegurar que los resultados que se obtengan sean los deseados, como se señalaba en el capítulo de control de calidad, también en la etapa de mantenimiento o conservación de los caminos, es indispensable que los trabajos que se ejecuten los realice el personal con la capacidad y experiencia adecuada, ya que de lo contrario, se tendrán pérdidas y trabajos defectuosos.

La conservación de los caminos es una tarea que debe efectuarse oportunamente para evitar costos mayores, de esta manera, una conservación adecuada disminuye el costo de explotación, y aumenta la vida del camino así como de los vehículos que lo utilizan.

La Conservación Normal tiene como fin mantener el camino en su calidad y valor originales, esta conservación es un conjunto de trabajos que se da al pavimento periódicamente para evitar el deterioro o destrucción del camino, los trabajos normalmente son rutinarios, y deben efectuarse por ciclos que estarán determinados por varios aspectos como son las condiciones climáticas, atmosféricas, tipo de vehículos que lo utilizan, etc.

El mantenimiento puede ser vital o diferido. El mantenimiento vital es aquel cuya importancia es tan elevada que al no realizarlo, corre peligro la estructura porque se producen pérdidas de vidas, de equipo, colapso de edificación o se paraliza el complejo.

El mantenimiento diferido, es aquel que por su costo o su jerarquía se puede posponer para realizarlo en fechas posteriores.

Por otro lado, el proceso de mantenimiento nunca se presenta aislado, sino que lleva consigo otros aspectos o actividades necesarias que incluso al realizarse pueden ser más costosos que las actividades propias del mantenimiento puro. Dichos aspectos son los siguientes:

1. Un documento importante que debe existir en toda empresa es el inventario, es indispensable conocer los recursos de que se dispone en el taller o bodega, cuando no se tiene dicho inventario, no se sabe que es lo que se tiene que mantener y resulta costoso elaborar este documento siempre al inicio del programa de mantenimiento.
2. El Manual Técnico de Conservación , en el que se indican las rutinas a seguir en el proceso del mantenimiento, como frecuencias, personal, costos, ciclos, cantidades, materiales, etc. Como es de suponer este documento, no es sencillo de elaborar, ya que requiere de tiempo, observación, y personal capacitado y experimentado con conocimientos técnicos, manejo de recursos humanos , dominio de proyecto, diseño y construcción.
3. El Manual Administrativo , muy importante para indicar las responsabilidades y las tareas asignadas a cada quien, impone responsabilidades, limita jurisdicciones, señala trámi-

tes, atiende los problemas de surtir materiales y equipo, proporcionar personal, ejecutar pagos, etc. También indica procedimientos, actualiza inventarios, controla la existencia de equipo reemplazable, diseña requisiciones, informes, etc. Como el anterior, éste documento también es difícil de elaborar, requiere tiempo, inversión y personal altamente capacitado, y debe apoyarse en una estructura sólida cuya base principal es la comunicación, oral o escrita..

7.1 ESTUDIOS ESPECIALES PARA LA EVALUACION DE LA RESISTENCIA Y DE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS

Los administradores y autoridades requieren información técnica confiable acerca de las características y condiciones de los pavimentos a fin de poder tomar una serie de decisiones importantes.

Por ejemplo, las irregularidades superficiales en los pavimentos, interesa detectarlas y cuantificarlas periódicamente con el fin de programar a tiempo las obras de reacondicionamiento que sean necesarias.

Con respecto a las aeropistas, el coeficiente de rozamiento de la superficie de desgaste, es una propiedad invaluable de los pilotos, ya que su conocimiento en condiciones de pavimento mojado permite estimar la eficiencia del frenado de la aeronave, además la medición periódica del coeficiente permite detectar a tiempo para el operador del aeropuerto, el efecto dañino de la acumulación de caucho en las zonas de contactos.

En el caso de la capacidad sustentadora de los pavimentos, se requiere conocerla, para no permitir el paso de vehículos

cuyo peso exceda la resistencia del pavimento. Cuando no se tiene esta precaución, el resultado es la falla prematura del pavimento.

En cuanto a las irregularidades de las superficies de rodamiento, es importante detectarlas y cuantificarlas periódicamente con el fin de programar a tiempo las obras de reacondicionamiento que sean necesarias.

Para las aeropistas, las obras de reacondicionamiento, cuando éstas se encuentran excesivamente deformadas, puede consistir en capas reniveladoras cuando son pavimentos flexibles, o el rebajado mecánico de las ondulaciones en pavimentos rígidos.

7.2 FALLAS EN LOS PAVIMENTOS

Se requiere que al revisar o analizar un pavimento, se observe cuidadosamente la estructura hasta donde sea posible, para detectar las fallas que existan o que pudieran existir, una vez localizadas, se deberán efectuar los estudios de laboratorio necesarios para conocer realmente sus alcances o causas que las provocaron, a fin de realizar las acciones necesarias.

Las fallas pueden ser de dos tipos:

Primero, pueden ser funcionales, en este caso, se pueden observar como un defecto en la superficie del pavimento, y que al circular sobre él un vehículo, provoque en éste incomodidades, pero estas fallas no impiden la circulación de los vehículos sobre el pavimento.

Segundo, pueden ser estructurales, estas fallas son debidas a deficiencias en la composición del pavimento, ya sea en la propia subrasante, en la sub-base o en la base, o en la superfi-

cie de rodamiento, con lo que podemos ver que son fallas que pueden presentarse sin que por algún tiempo nos demos cuenta de su existencia. Sin embargo, al paso del tiempo, inevitablemente provocan graves daños a los pavimentos, ya que reducen su capacidad de carga, y finalmente lo destruyen totalmente.

Clasificación de las principales fallas que se pueden presentar en los pavimentos:

TIPOS DE FALLAS	EN PAVIMENTOS.FLEXIBLES	EN PAVIMENTOS. RIGIDOS
Distorsiones	baches.	Asentamiento.
	asentamientos.	Ondulaciones o alabeos de la losa.
	ondulaciones.	Dislocamientos de las losas (desniveles).
	corrugación de la carpeta.	Movimientos de fragmentos de las losas, por ruptura de las mismas.
	desplazamiento o corrimiento de la carpeta.	
	Levantamientos del pavimento o bufamientos.	
	Rodadas de llantas marcadas en la carpeta.	
	Surcos.	

	Depresiones en zanjias no bien rellenas.	
Agrietamientos.	Grietas longitudinales en las orillas o en el centro.	Grietas longitudinales.
	Grietas transversales por reflexión o por contracción.	Grietas transversales.
	Grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo, limitando piezas pequeñas de carpeta, o piezas grandes (mas de 40cm).	Grietas de esquina o diagonales.
	Grietas por corrimientos de la carpeta.	Grietas por restricción.
	Grietas parabólicas en la carpeta (zonas de desaceleración).	
Desintegraciones.	Desprendimientos del material pétreo de la carpeta o del riego de sello.	Despostillamientos de las losas en las juntas.
	Desprendimientos de la película de asfalto del material pétreo.	Descascaramientos o desintegraciones superficiales del concreto.
	Desprendimientos de la carpeta, como capa.	Rompimiento mas o menos generalizado de la losa en fragmentos.

	Rompimiento de las partículas del material pétreo, que propician su desprendimiento.	Desintegraciones del concreto por ataque de agentes químicos o por reactividad de los agregados con los álcalis del cemento Portland.
Defectos varios.	Superficies lisas o derrapantes (aflojamientos de asfalto o materiales que se pulen fácilmente).	Juntas con exceso de sellante o con defectos de acabado que producen vibraciones molestas o inconvenientes al paso de los vehículos.
	Zonas con asfalto descubierto en carpetas de riegos o en riegos de sello (desprendimientos del material pétreo o ausencia original de éste).	Acción de bombeo(*) en las juntas o grietas de las losas.
	Superficies "rayadas en carpetas de riegos o en riegos de sello (falta de uniones correctas entre las fajas de riego o deficiencias en la aplicación del asfalto).	Superficies lisas o derrapantes, por defectos de acabado o agregados que se pulen fácilmente.

El fenómeno de bombeo en los pavimentos de concreto hidráulico consiste en la expulsión del material fino con exceso de agua a través de las juntas y grietas de las losas, al paso de las cargas pesadas. Para que se produzca dicho fenómeno de bombeo, es necesario que ocurran simultáneamente las tres siguientes situaciones: primera, un material de sub-base que sea susceptible al citado bombeo (generalmente suelos con exceso de finos plásticos), segunda, altos contenidos de agua en este material, y tercera, repetición de cargas pesadas en este pavimento.

Para definir el estado de conservación de un pavimento, comparando su estado actual contra el inicial, el observador puede "calificarlo" tomando en cuenta ciertas características y principalmente el grado de comodidad que tuviera un usuario al llevar a cabo un recorrido de 500 km por una carretera que tuviera las mismas condiciones en el pavimento de la que se evalúa.

La escala utilizada es la siguiente:

CALIFICACION	ESTADO DEL PAVIMENTO
0-1	muy malo
1-2	malo
2-3	regular
3-4	bueno
4-5	muy bueno

Además de la calificación que se le asigna a los pavimento, es necesario hacer una evaluación basada en estudios de laboratorio, para saber con mas precisión el estado real que guarda.

7.3 PRACTICAS DE MANTENIMIENTO EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

Para definir el tipo de mantenimiento que se le deba aplicar al pavimento cuando está dañado, se deben investigar las causas que motivaron las fallas, para lograr que al termino de las correcciones quede en buenas condiciones de operación.

Un procedimiento que se puede emplear para conocer el estado real de un pavimento es el siguiente:

1.- Hacer un recorrido minucioso del tramo o el área afectada, para detectar situaciones ajenas al propio pavimento, que están propiciando su deterioro, como son:

Problemas o deficiencias en el terreno de cimentación, en las terracerías o las obras de drenaje, si el caso lo amerita, será necesario hacer estudios de laboratorio y de campo.

2. Practicar en el pavimento sondeos a cielo abierto con espaciamientos adecuados , dependiendo de la longitud del tramo afectado o la magnitud de la zona fallada, con los que podemos conocer la calidad y la compactación de las terracerías, incluyendo los que constituyen la capa subrasante, la calidad y compactación de los materiales de sub-base, base y carpeta , y espesores de las distintas capas del pavimento, si el espesor de éste es suficiente para las condiciones de trabajo de los materiales de terracerías.

El estudio de los materiales extraídos de los sondeos, revelará también si los materiales empleados cumplen con las normas de calidad fijadas en las especificaciones, y si se les dio el

tratamiento adecuado, para que en el caso de que se requiera una reconstrucción, puedan emplearse nuevamente o no.

Con los datos obtenidos del laboratorio y el conocimiento del tipo de fallas o imperfecciones que presenta el pavimento, se estará en posibilidad de determinar el tipo de mantenimiento que se le deberá de dar o si es necesario la reconstrucción del mismo.

7.3.1 Tipos de mantenimiento

- a) Mantenimiento preventivo**
- b) Mantenimiento correctivo**
- c) Reposición de carpetas**
- d) Refuerzos de pavimentos**

a) Mantenimiento preventivo, tiene por objeto el prevenir que se dañen los pavimentos a partir de fallas o imperfecciones mínimas, consiste en la aplicación de riegos de emulsión asfáltica , para sellar y reactivar carpetas oxidadas y con un leve desprendimiento de partículas. Aplicación de morteros o lechadas asfálticas para restituir superficies que ya presentan desprendimientos generalizados o sellar pavimentos con agrietamiento fini difuso. En pavimentos rígidos, se limita al sello de agrietamientos y juntas de losas utilizando productos termoplásticos .

b) Mantenimiento correctivo., este tipo de mantenimiento tiene por objetivo corregir las fallas o daños que presentan los pavimentos en su superficie o estructura.

Para los pavimentos flexibles consiste en :

- 1) Bacheo , superficial o profundo**
- 2) Renivelación de carpetas dañadas o deformes**
- 3) Reconstrucción de elementos**

Para los pavimentos rígidos consiste en :

- 1) Reparación de daños en bordos o esquinas mediante la aplicación de morteros epoxicos**
- 2) Reposición de fragmentos de losas mediante concretos hidráulicas**

- c) Reposición de carpetas . en el caso de ser necesario y que sea la única solución se repondrán las carpetas a partir de la sub-base siendo rígidos y en caso de los pavimentos flexibles se pueden frezar la superficie, es decir retirar un espesor solamente o retirar todo el asfalto para colocar nuevamente una superficie asfáltica nueva**

- d) Refuerzo de pavimentos. en al caso de pavimentos fallados se pueden reforzar utilizando sobrecarpetas asfálticas, reforzadas con geotextiles .**

Como ya explicamos anteriormente el tipo de mantenimiento que se le dará a un pavimento depende del tipo de falla y del criterio de reparación que se aplique , para lo cual presentamos las fallas más comunes en cada tipo de pavimento rígido y flexible , la causa y el criterio probable de reparación .

PAVIMENTOS FLEXIBLES

1) Distorsiones :

a) **Baches** : Son deformaciones locales en que se ha destruido parcial o totalmente el pavimento , se deben a la baja compactación de las capas inferiores del pavimento, a la penetración del agua a la parte inferior del pavimento, a la contaminación de la sub-base o base con el material de las terracerías, o a que el pavimento se sub-diseño para las cargas que por el transitan.

El criterio probable de reparación consiste en cejar rectangularmente el área dañada , eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva por lo menos treinta centímetros más, reponer los materiales extraídos de la estructura del pavimento , con materiales de la calidad necesaria en capas debidamente compactadas

b) **Asentamientos** : Son descensos en el nivel original de la superficie , se deben a Movimientos o deslizamientos locales de los terraplenes o a la compactación o reacomodo de una o varias capas del pavimento.

El criterio de reparación consiste en la nivelación con mezcla asfáltica , previa limpieza y aplicación de un riego de liga , o reparar la zona de asentamiento mediante la reconstrucción de la estructura original, se debe tener cuidado en revisar y corregir el drenaje del area dañada y el anclaje de los terraplenes.

c) **Ondulaciones** : Son levantamientos de la superficie en forma de ondas que se forman transversalmente al sentido

de la circulación y se deben a movimientos plásticos de la carpeta donde se presentan fuertes esfuerzos.

El criterio de reparación consiste en retirar la carpeta dañada , recompactar la base y colocar una nueva carpeta de calidad y espesores adecuados.

- d) **Desplazamientos o corrimientos de la carpeta :** Se presenta principalmente en las orillas de las carpetas y se debe a la baja estabilidad de la mezcla, al tránsito pesado antes de ser debidamente compactada o al exceso de asfalto del riego de liga.

El criterio de reparación consiste en retirar la carpeta en las zonas afectadas y colocar una nueva carpeta debidamente sellada.

- e) **Surcos o rodadas marcadas :** se deben al efecto del tránsito pesado en zonas subdiseñadas o deficientemente construidas del pavimento, también se deben al tránsito de vehículos sobre zonas que no han sido compactadas debidamente.

El criterio de reparación consiste en renivelar con mezcla asfáltica , previa la limpieza de la zona y la aplicación de riego de liga.

- f) **Depresiones en zanjas :** Se debe a la falta de acomodo o de compactación en los materiales de relleno.

El criterio de reparación consiste en la renivelación con mezcla asfáltica .

2) Agrietamientos

- a) **Grietas longitudinales en las orillas :** Se deben a cambios volumétricos de los materiales de las terracerías con altos contenidos de arcilla, por efectos de humedecimiento y

secado, Ligeros movimientos de los terraplenes debidos a las cargas o a temblores.

El criterio depende de la magnitud de las grietas. Si las grietas son finas la tendencia es a rellenarlas con emulsión asfáltica o con asfaltos rebajados, si esto no es posible se tendrán como testigos para observar su comportamiento. Si las grietas tienen una abertura del orden de tres milímetros o más, se pueden calafatear con morteros asfálticos o con productos especiales a base de asfalto que para este efecto se encuentran en el mercado. Las zonas de grietas por sellar deben barrerse y limpiarse incluso con aire a presión con el objeto de garantizar la reparación, al aplicar el mortero o la mezcla asfáltica se debe vigilar la fluidez, que debe ser la adecuada para que el producto penetre en la carpeta. Al terminar la reparación se recomienda sellar la superficie con arena con el fin de evitar que el tránsito levante el relleno.

- b) Grietas longitudinales en el centro : Son defectos en el tendido de la mezcla principalmente o por flexiones de grietas en la capa subyacente en el caso de tratarse de una sobrecarpeta.

El criterio de reparación es el mismo del caso anterior.

- c) Grietas transversales : Son reflejo de defectos existentes en la capa subyacente, que en ocasiones es un pavimento rígido o pueden ser contracciones de la sub-base o base estabilizadas con cemento portland.

El criterio probable de reparación es idéntico al anterior.

- d) Grietas en forma de piel de cocodrilo : Se deben a deflexiones o deformaciones en la carpeta por acción del tránsito pesado. Espesor insuficiente del pavimento para las cargas que soporta . Capa subrasante o sub-base inestables.

El criterio de reparación consiste en eliminar la carpeta dañada y los materiales de la estructura que presenten características no deseables y reconstruir la estructura y la superficie de rodamiento con materiales nuevos colocados debidamente. Si estas grietas fueran reparadas conforme al inciso anterior, sería una reparación temporal y costosa, por lo que si este tipo de falla tiende a abarcar zonas grandes también es necesario revisar las condiciones de drenaje de la zona dañada.

- e) Grietas parabólicas : Son corrimientos en las carpeta debidos al escaso o nulo asfalto de liga y en los aeropuertos se presenta en la zonas de desaceleración.

El criterio de reparación es similar al anterior.

- f) Desprendimiento del material pétreo de la carpeta o del riego de sello: Se debe a la escasa cantidad de asfalto en la mezcla, a la falta de afinidad del material pétreo con el asfalto, sobre calentamiento de la mezcla, falta de compactación o de planchado de los materiales pétreos.

El criterio probable de reparación depende de la magnitud de los daños que presente la carpeta, Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede requerirse la colocación de una sobrecarpeta con riegos de liga y sello adecuados. Si el desprendimiento es local, se soluciona con la aplicación de riegos ligeros bien distribuidos de asfalto, para evitar que continúe el desprendimiento.

- g) Desprendimiento de la película de asfalto del material pétreo : Se debe a la escasa o nula afinidad del material pétreo con el asfalto.

El criterio de reparación consiste en buscar un producto asfáltico que tenga buena afinidad con el material pétreo y aplicar un riego de sello.

**h) Rompimiento de las partículas del material pétreo que proporcionan su desprendimiento : Se debe a que el componente pétreo de la mezcla asfáltica es un material suave que no resiste la acción del tránsito.
El criterio de reparación es igual al anterior**

**i) Desprendimiento de la carpeta como capa : Se debe al efecto de esfuerzos elevados en la liga de la carpeta y la base, por lo general es ocasionado por la falta de riego de liga o anclaje insuficiente de la carpeta con la base.
El criterio de reparación consiste en retirar la carpeta en la zona dañada, aplicar un riego de liga adecuado y colocar una nueva carpeta.**

3) Defectos varios

a)Superficie lisa o derrapante : Se debe a los materiales que se pulen fácilmente.

El criterio de reparación depende , si la carpeta no presenta inestabilidad , será suficiente calentar la superficie con quemadores y regar una cantidad adecuada de material pétreo como sello, planchándolo inmediatamente, en ocasiones en lugar de calentar la superficie se calienta al material pétreo y se plancha inmediatamente, si la carpeta es inestable se tendrá que retirar y colocar una nueva carpeta.

b)Zonas con asfalto descubierto en carpetas de riego de sello : se deben al desprendimiento del material pétreo y a defectos de construcción.

El criterio de reparación consiste en una nueva aplicación de asfalto y pétreos a efecto de restaurar las condiciones originales o propuestas.

PAVIMENTOS RIGIDOS

1.- Distorsiones :

- a) **Asentamientos o dislocamientos de las losas :** Se deben a la falta de apoyo de las losas de concreto ya sea por mala calidad de la sub-base , base , baja compactación , terracerías inestables, inadecuada transferencia de esfuerzos en las juntas o por socavación de la base.
El criterio de reparación consiste en renivelar con mezcla asfáltica , previa limpieza y riego de liga.
- b) **Losas fracturadas y movimiento de los fragmentos :** Se deben a la baja calidad del concreto o a la ruptura de losas mal apoyadas .
El criterio de reparación consiste en eliminar los fragmentos de losa que se mueven, compactar la base hasta llegar al nivel adecuado, y colocar nuevamente la losa de concreto.
- c) **Alabeo de losas :** Se debe al efecto de cambio de temperatura, del peso mismo de las losas y a las restricciones al movimiento de las losas en la superficie de apoyo.
El criterio de reparación consiste en renivelar con mezcla asfáltica, previa limpieza y aplicación de riego de liga.

2.- AGRIETAMIENTOS :

- a) **Grietas longitudinales :** Son contracciones del concreto , principalmente , cuando las losas son demasiado anchas, por falta de juntas longitudinales, por materiales expansivos en la capa sub-base.

El criterio de reparación consiste en limpiar las grietas con aire a presión y sellar con asfalto ahulado o con algún producto termoplástico.

b) Grietas transversales : Se presentan debido a la falta de juntas transversales o a contracciones del concreto cuando se colocan volúmenes elevados de concreto, también se deben a sobrecargas en el pavimento y por falta de apoyo de la losa sobre la base.

El criterio de reparación es similar al anterior.

c) Grietas diagonales : Se deben a los efectos del tránsito pesado en losas que no están bien apoyadas en la base, también pueden ser por fallas estructurales del concreto por mal diseño o por efectos de mala construcción.

El criterio de reparación es similar al anterior.

3.- DESINTEGRACIONES :

a) Desportillamiento de las losas en las juntas : Se deben a la expansión excesiva del concreto y en algunas ocasiones provocan el levantamiento de la losa.

El criterio de reparación consiste en eliminar la zona dañada cortando con sierra en forma regular, compactar la base y colocar nuevamente la losa de concreto.

b) Descascaramiento superficial del concreto : Se debe a la mala fabricación de la mezcla y defectos en el acabado final del concreto.

El criterio de reparación consiste en limpiar energicamente la superficie , aplicar un mortero asfáltico o colocar una sobrecarpeta.

- c) Deterioros por actividades químicas :** Se deben principalmente al contenido de sílice y otras sustancias contenidas en los materiales pétreos que reaccionan con los álcalis del cemento.

El criterio de reparación consiste en la eliminación del concreto dañado y colocar nuevamente una losa de concreto, teniendo cuidado con los materiales pétreos que se empleen, para que no se repitan los deterioros.

4.- Defectos varios:

- a) Superficie lisa o derrapantes :** Se deben principalmente a defectos de acabado y a los agregados que se pulen fácilmente, aunque en el caos de los aeropuertos puede ser por la acumulación de partículas adheridas al concreto.

El criterio de reparación consiste en aplicar una capa antiderrapante que puede ser de concreto asfáltico, en el caso de los aeropuertos puede ser conveniente si el espesor de la carpeta lo permite limpiar con agua a presión con el fin de eliminar el caucho que se encuentra adherido al concreto, o de no ser suficiente se puede dar un nuevo acabado al concreto cortando con sierras transversalmente la superficie del concreto con el objeto de dar el acabado original.

- b) Juntas con exceso de material sellante o expulsión del mismo:** Se deben a la dosificación incorrecta o inadecuada del material sellante y a la expansión excesiva de las losas.

El criterio de reparación consiste en retirar el material de las juntas y limpiar adecuadamente para añadir nuevamente un asfalto ahulado o algún producto termoplástico.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como hemos analizado anteriormente el buen funcionamiento de una vía terrestre comienza desde la etapa de planeación , por lo que se recomienda tener mucho cuidado con los estudios previos que se realicen ya que repercutirán en el resultado final de la obra.

No solo las deficiencias del proyecto afectan al resultado final, en gran parte la etapa de construcción determina la funcionalidad de las vías terrestres, una vía que está mal ejecutada la construcción, pronto presentará problemas en su funcionamiento, por lo que hacemos énfasis en ésta etapa como la más importante para determinar el buen funcionamiento durante un periodo razonable en el que el mantenimiento que se le deberá de dar será mínimo.

Durante el desarrollo de esta tesis en cada capítulo se han mencionado recomendaciones para ayudar a tomar decisiones, planteado procedimientos constructivos para casos específicos (Los más comunes), se ha hecho énfasis que un factor muy importante es la topografía, que es básico en el proyecto y elaboración de una vía terrestre, se debe tener mucho cuidado de realizar los procedimientos como lo marcan las normas de control de calidad, ya que de eso dependerá el éxito de la etapa constructiva una vez iniciada la operación de la vía terrestre, y garantizará su buen funcionamiento.

En México es clásico el construir obras y no pensar en darles mantenimiento, pero con la entrada de nuestro país al tratado de libre comercio, en el que tenemos que competir con compañías transnacionales, en el que la tendencia de los últimos años es hacia la concesión de obras públicas a los particulares, esto tiene que cambiar, debemos pensar no solo en construir sino en mantener en buenas condiciones las obras que en el país construimos, en el caso de las vías terrestres en un país en el que a ciencia cierta no tenemos un esquema de transporte perfecta-

mente determinado, como es el caso de Europa en el que el comercio es fundamentalmente via tren, en Estados Unidos en el que el principal motor del comercio son las carreteras, en México nos transportamos al ritmo envejecido de nuestro sistema carretero y ferrocarrilero que durante décadas no había sufrido cambios, ni a base de mantenimiento ni con la creación de nuevas rutas para el comercio , por lo que es fundamental ahora que estamos cambiando , ampliando la infraestructura de comunicaciones en nuestro país .

El fomentar el control de calidad durante las etapas de construcción y el mantenimiento de nuestros sistemas de comunicaciones, para obtener los beneficios del buen funcionamiento de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Martin and Wallace.

VIAS DE COMUNICACION.

Carlos Crespo Villalaz.

Limusa.

SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS 1991.

S.C.T. , I.M.T.

INVESTIGACIONES EN DESARROLLO SOBRE EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Santiago Corro C.

Instituto de Ingeniería U.N.A.M.

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Santiago Corro C.

Instituto de Ingeniería U.N.A.M.

MANUAL PARA PROYECTOS Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS PARA CALLES.

S.O.P. (Secretaría de Obras Públicas).

MANUAL DEL INGENIERO CIVIL

Merrit.

Mc-Graw Hill.

IV JORNADA DE INGENIERIA CIVIL 1977.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS.

Tomos I;II.

CURSO DE PAVIMENTACION

Jesus Gonzales Hermosillo.

DEPFI.

MANUAL DE SERVICIOS AEROPORTUARIOS.

PARTE 2,3,9.

OACI.

GEOSINTETICOS.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES.

CARRETERAS Y AEROPISTAS.

TERRACERIAS

S.C.T.

NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES.

CARRETERAS Y AEROPISTAS.

TERRACERIAS.

S.C.T.