

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

2E

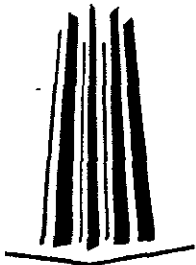
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGON"

"REHABILITACIÓN DE PISTAS, PLATAFORMAS  
Y CALLES DE RODAJE, ASÍ COMO LA  
CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA  
LOGÍSTICA DE LA BASE ÁEREA MILITAR NO.1  
EN SANTA LUCIA, MÉXICO."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :

ISAURO VILLAR REYES



MÉXICO

1999

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

275895



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

*A mi amada madre:*

*Octavia Reyes Jiménez.*

*Con mi eterno agradecimiento, por  
la formación moral, el cariño y el  
apoyo que siempre me ofreció.*

*A mis hermanos:*

*(José Antonio y Octavio)*

*Que me motivaron en todo momento  
e inspiraron confianza en mí.*

*Con cariño y respeto a la UNAM y  
muy especialmente a la ENEP  
Aragón*

*AL C. Ing. Ricardo Rodríguez  
Cordero por la ayuda desinteresada  
que me brindó en la elaboración de  
esta tesis*

*A todos mis compañeros de estudio  
y de trabajo, en especial al Ing.  
Diego Galindo Lara y al Ing. José  
Luis Rodríguez Antonio*

*A mis maestros, por los  
conocimientos que atinadamente me  
impartieron.*

## INDICE

INTRODUCCION . . . . .	1
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES.</b> . . . . .	<b>1</b>
<i>1.1 Descripción de las Instalaciones</i> . . . . .	<i>1</i>
<i>1.2 Descripción de la obra</i> . . . . .	<i>3</i>
<b>CAPITULO II. ESTUDIOS PREVIOS</b> . . . . .	<b>7</b>
<i>II.1 Diseño del pavimento para la plataforma de mantenimiento.</i> . . . . .	<i>10</i>
II.1.1 Características del suelo de apoyo . . . . .	12
II.1.2 Método de diseño. . . . .	12
II.1.3 Espesores del pavimento . . . . .	13
<i>II.2 Trabajos de topografía</i> . . . . .	<i>19</i>
<i>II.3 Materiales a emplearse en la obra</i> . . . . .	<i>22</i>
<b>CAPITULO III. MATERIALES DE CONSTRUCCION</b> . . . . .	<b>29</b>
<i>III.1 Especificaciones</i> . . . . .	<i>29</i>
<i>III.2 Capa de mejoramiento</i> . . . . .	<i>29</i>
<i>III.3 Sub-base</i> . . . . .	<i>32</i>
<i>III.4 Base estabilizada con cal.</i> . . . . .	<i>36</i>
<i>III.5 Base asfáltica.</i> . . . . .	<i>40</i>
<i>III.6 Tratamientos superficiales.</i> . . . . .	<i>45</i>
<i>III.7 Carpeta asfáltica en caliente</i> . . . . .	<i>46</i>
<i>III.8 Carpeta delgada de graduación abierta.</i> . . . . .	<i>55</i>

<b>CAPITULO IV. DISEÑO DE MEZCLAS . . . . .</b>	<b>61</b>
<i>IV.1 Diseño de la carpeta asfáltica . . . . .</i>	<b>62</b>
<i>IV.2 Diseño de la mezcla asfáltica tipo open graded . . . . .</i>	<b>72</b>
<b>CAPITULO V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO . . . . .</b>	<b>77</b>
<i>V.1 Capa de mejoramiento . . . . .</i>	<b>79</b>
<i>V.2 Sub-base . . . . .</i>	<b>80</b>
<i>V.3 Base estabilizada con cal . . . . .</i>	<b>81</b>
<i>V.4 Base asfáltica . . . . .</i>	<b>82</b>
<i>V.5 Riego de Impregnación . . . . .</i>	<b>85</b>
<i>V.6 Riego de liga . . . . .</i>	<b>86</b>
<i>V.7 Riego de taponamiento . . . . .</i>	<b>87</b>
<i>V.8 Carpeta asfáltica . . . . .</i>	<b>88</b>
V.8.1 Antecedentes . . . . .	88
V.8.2 Fabricación . . . . .	90
V.8.3 Puesta en obra . . . . .	93
<i>V.9 Carpeta delgada de graduación abierta. . . . .</i>	<b>100</b>
V.9.1 Antecedentes y Fabricación. . . . .	101
V.9.2 Puesta en obra. . . . .	101
<b>CAPITULO VI. CONTROL DE CALIDAD . . . . .</b>	<b>106</b>
<i>VI.1 Terracerías . . . . .</i>	<b>107</b>
<i>VI.2 Asfaltos . . . . .</i>	<b>111</b>

ANEXO A. RESEÑA FOTOGRAFICA . . . . .	118
ANEXO B. CARPETAS DELGADAS DE GRADUACION ABIERTA . . . . .	126
ANEXO C. PRESUPUESTO. . . . .	133
CONCLUSIONES . . . . .	141
BIBLIOGRAFIA . . . . .	143

## INTRODUCCION

Las pistas y demás instalaciones de un aeropuerto como plataformas y calles de rodaje, necesitan un mantenimiento continuo para conservarse en buenas condiciones de operación ofreciendo seguridad y confort en su uso. Dicho mantenimiento se encuentra *relacionado* con el deterioro que presente el pavimento, que puede ir desde la renovación de la superficie de rodamiento a través de aplicaciones de sello con el objeto de restituir el acabado, hasta la reconstrucción de elementos completos a través del reciclado de carpetas y bases para integrar nuevas estructuras.

Los trabajos de mantenimiento originan gastos de consideración y la *necesidad de interrumpir el funcionamiento del aeropuerto* para reparaciones, con las consiguientes molestias en la operación del aeropuerto.

Por esto, la *oportuna* detección de una falla en un pavimento y su rápida reparación cuando apenas inicia es sin duda un factor *importante* para lograr un estado óptimo de operación de una aeropista.

Al efectuar la inspección de un pavimento, *es de suma importancia* determinar la causa de cada falla, para establecer, en base a dicha inspección, el *procedimiento correctivo* más adecuado.

La Secretaría de la Defensa Nacional, dentro de sus programas de trabajo, contempla la construcción, modificación y mejora de sus instalaciones y *en esta ocasión* corresponde a la Base Aérea Militar Sta. Lucia, localizada en Sta. Lucia, Estado de México.

En el presente escrito se pretende exponer la aplicación de diversas practicas constructivas empleadas para satisfacer las necesidades especificas de esta Base Aérea en lo concerniente a la conservación de pavimentos.

Este trabajo aborda los trabajos de campo y laboratorio que se realizaron para la conservación y mantenimiento de las pistas de aterrizaje, plataformas y calles de rodaje, así como la construcción de una plataforma para dar mantenimiento a las aeronaves de la Base. La solución planteada consistió en diversos procedimientos constructivos que fueron elegidos en cada caso dependiendo del grado de deterioro en el pavimento; de este conjunto de soluciones individuales se desprende la solución final para este caso.

Sin pretender aportar algo nuevo en lo referente a las tecnologías aplicadas en pavimentos, se exponen los trabajos previos a la rehabilitación, para después hacer mención de las especificaciones generales de construcción, y por ultimo, la ejecución y control de los trabajos dentro de la obra.



# **CAPITULO I.**

*GENERALIDADES.*

## **CAPITULO I. GENERALIDADES**

La Secretaria de la Defensa Nacional, a través de la Dirección General de Ingenieros, proyecta la remodelación y construcción de hangares, rehabilitación de pistas, plataformas y calles de rodaje, así como la construcción de la plataforma logística de mantenimiento en la Base Aérea Militar No. 1, Santa Lucía, Estado de México. El programa tiene una duración de 12 meses, del 1 de enero de 1998 al 31 de diciembre de 1998.

Los motivos que impulsaron a la ejecución de la obra se pueden agrupar como sigue:

- a) Dar un mantenimiento preventivo a las pistas de aterrizaje y calles de rodaje,
- b) Dar mantenimiento correctivo a la plataforma de acceso a hangares y al rodaje F, que contaban con un agrietamiento generalizado y un hundimiento severo, y
- c) Construir una nueva plataforma para dar mantenimiento a las aeronaves de la Base.

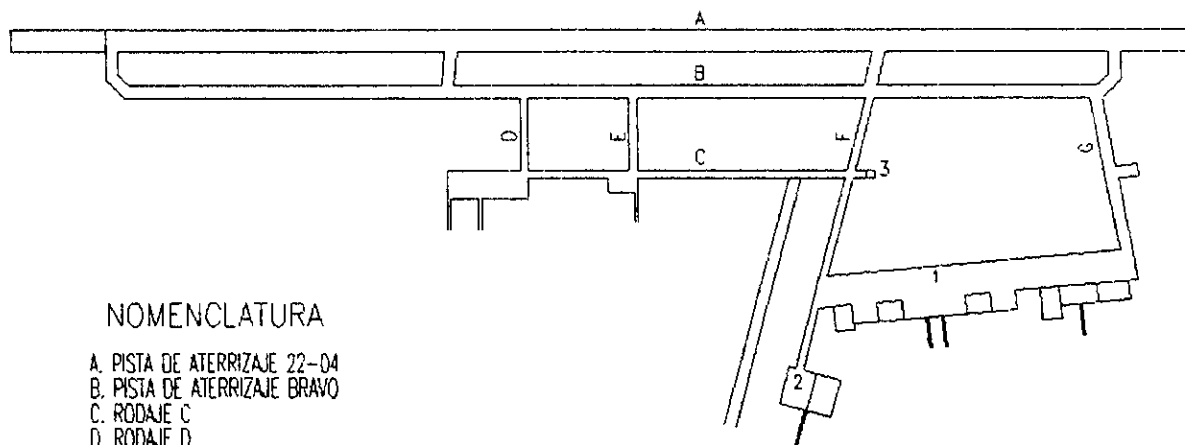
Tomando en cuenta las necesidades de la Base y el resultado de la evaluación visual del pavimento se utilizarán técnicas de reciclado en frío del pavimento, estabilización de suelos, tendido de carpeta en caliente y aplicación de sello premezclado.

### ***1.1 Descripción de las instalaciones***

En la Figura 1.1 se muestra un esquema general de las instalaciones que componen este aeropuerto.

FIGURA 1.1 DISTRIBUCION EN PLANTA

## BASE AEREA MILITAR No.1, SANTA LUCIA, MEX.



## NOMENCLATURA

- A. PISTA DE ATERRIZAJE 22-04
- B. PISTA DE ATERRIZAJE BRAVO
- C. RODAJE C
- D. RODAJE D
- E. RODAJE E
- F. RODAJE F
- G. RODAJE G
- 1. PLATAFORMA DE ACCESO A HANGARES
- 2. PLATAFORMA DE MANTENIMIENTO
- 3. INSTALACIONES DEL CREI

La pista principal 22-04 cuenta con una longitud de 3460 m y un ancho de 72 mts. Cuenta con una carpeta de concreto asfáltico de 12 cm de espesor, y una sobrecarpeta colocada sobre una membrana de geotextil con 12 cm de espesor, todo sobre una base de 30 cm, una sub-base de 40 cm

La pista bravo cuenta una longitud de 3180 m y un ancho de 40 mts. Cuenta con un espesor de carpeta de 12 cm, una base de 30 cm y una sub-base de 40 cm.

Ambas se encuentran conectadas con 4 rodajes, dos de las cuales se prolongan hasta la plataforma de hangares, siendo sus dimensiones variables. El rodaje G tiene un ancho de 32 m y una longitud de 600 m, y une a la pista Bravo con la plataforma de acceso a hangares. El rodaje F tiene un ancho de 26 m y una longitud de 780 m y va de la pista 22-04 hasta la plataforma de mantenimiento atravesando la pista Bravo y la plataforma de acceso a hangares; las dos restantes solo comunican a ambas pistas con un ancho de 32 m.

La plataforma de acceso a hangares, tiene un ancho de 98 m y una longitud de 860 m y se encuentra conectada a ambas pistas a través de los rodajes F y G.

La plataforma de mantenimiento tiene una superficie de 120 x 90 mts. y se encuentra conectada a las pistas y a los hangares por el rodaje F.

### ***1.2 Descripción de la obra***

Los trabajos a realizarse durante la construcción de esta obra, podemos agruparlos dependiendo del lugar donde se ejecutarán de la manera siguiente:

a) Retirar los primeros 2 cm de pavimento, para después aplicar un riego de taponamiento y recubrir con sello premezclado de graduación abierta de igual espesor a las pistas 22-04 y Bravo, y al rodaje G.

b) Aprovechar el pavimento reciclado proveniente las pistas de aterrizaje, plataformas y calles de rodaje para construir una base negra con un espesor de 30 cm y restituir el pavimento de la plataforma de acceso a hangares y del rodaje F con una carpeta de 7.5 cm de espesor y un sello premezclado de 2 cm de espesor.

c) Aprovechar el material disponible cerca de la obra y construir la zona de aproximación de la pista 22-04, la nueva plataforma y su acceso con una base graduada estabilizada con cal.

En la figura 1.2 se muestra en un croquis de la Base Aérea las actividades a realizarse.

Las cantidades de obra a ejecutar para la rehabilitación de todas las instalaciones en el ramo de pavimentos son:

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
Trazo y nivelación para conformar		
base hidráulica o base negra	141,370	M2
Sub-base hidráulica	4,788	M3
Base hidráulica	4,788	M3
Base negra (asfáltica)	125,410	M3
Riego de impregnación	141,370	M2
Riego de liga para carpeta	141,370	M2
Riego de taponamiento	469,250	M2
Carpeta asfáltica	141,370	M2

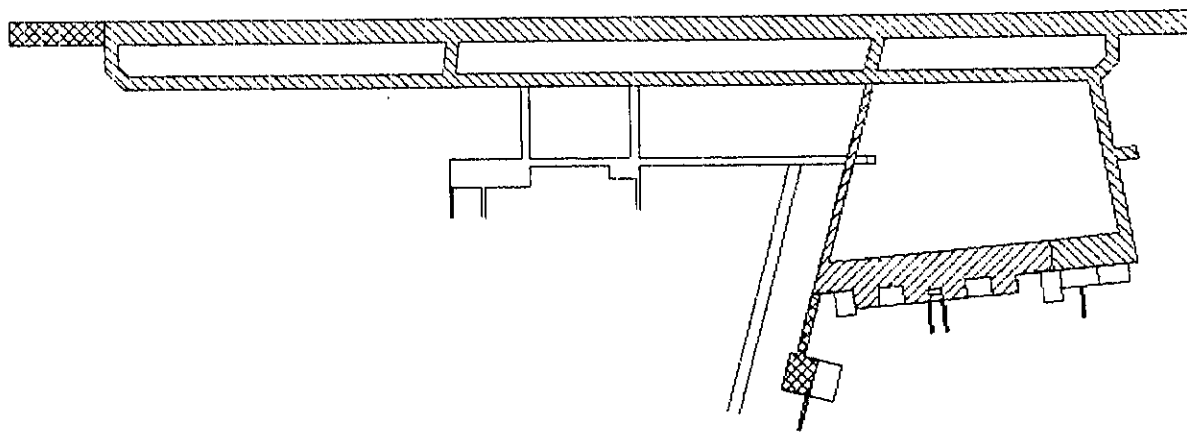
## GENERALIDADES




(Continuación)

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
Recompactación de base	125,410	M2
Perfilado con recuperadora de carpeta asfáltica	469,250	M2
Escarificado de carpeta asfáltica	125,410	M2
Riego de liga para sello	610,620	M2
Sello premezclado.	610,620	M2
Limpieza p/riego de impregnación y/o taponamiento	610,620	M2
Limpieza p/riego de liga	610,620	M2

FIGURA 1.2 ACTIVIDADES A EJECUTAR

## BASE AEREA MILITAR No.1, SANTA LUCIA, MEX.



-  BASE HIDRAULICA Y CARPETA ASFALTICA CON SELLO Premezclado
-  BASE Y CARPETA ASFALTICA CON SELLO Premezclado
-  RIEGO DE TAPONAMIENTO Y SELLO Premezclado

## **CAPITULO II.**

### *ESTUDIOS PREVIOS.*



## CAPITULO II. ESTUDIOS PREVIOS

Una de las actividades críticas previas a la rehabilitación de una pista es la de evaluar el estado del pavimento, ya que es de suma importancia determinar la causa de cada falla, para establecer, en base a dicha inspección, el procedimiento correctivo más adecuado. Es necesario un análisis detallado para seleccionar el método y los materiales adecuados para la reparación o rehabilitación de los pavimentos.

El primer paso para proceder a la rehabilitación es determinar la causa de la falla, para poder atacar el problema desde la raíz, ya que de nada serviría corregir un pavimento con algún tratamiento si no es el mejor para resolver el problema verdadero.

La simple inspección visual de un pavimento deteriorado no siempre es suficiente para determinar la causa de la falla, por lo que en muchas ocasiones el hacer sondeo y efectuar pruebas a los materiales extraídos de las capas del pavimento y subrasante, se puede obtener como resultado información valiosa que puede complementar y apoyar la inspección visual.

Para la evaluación de los pavimentos de la Base, se realizó un recorrido por parte de las autoridades encargadas de las obras de rehabilitación y especialistas en esta materia. Al efectuarse esta revisión se llega al siguiente diagnóstico:

En ambas pistas de aterrizaje se observaron grietas finas en la carpeta asfáltica lo que posiblemente se debe al envejecimiento de la carpeta asfáltica y a cambios extremos de temperatura al que están sujetas todas las mezclas asfálticas y que provoca la oxidación del asfalto; esto ocasiona que el material fino se desmorone y se pierda, provocando el pulimento del agregado grueso al quedar expuesto y por lo tanto disminuyendo el índice de fricción

adecuado para la operación aeronáutica, por lo que era necesario reponer la superficie de rodamiento. Las causas de este proceso de deterioro del pavimento se deben principalmente a la acción oxidante del aire y el agua sobre el asfalto, la acción de las radiaciones solares y el incremento de las operaciones aéreas, a lo largo de la vida de servicio. En general el pavimento se encontró que funcionaba adecuadamente y solo presentaba pequeños hundimientos diferenciales aislados en los extremos.

En la plataforma de acceso a hangares se observaron grietas erráticas o en zigzag que recorrían la carpeta en forma longitudinal, así como agrietamientos y fisuras generalizadas tipo mapa en las otras secciones del mismo pavimento. Esto se veía complementado con un hundimiento pronunciado que requería una nivelación y refuerzo al pavimento. La causa de la falla estructural del pavimento fue la consolidación y la mala calidad del suelo existente en esta zona.

Tomando en cuenta las características anteriores se llega a la decisión de rehabilitar las pistas perfilando la superficie de rodamiento, para después aplicar un riego de taponamiento para que recupere sus propiedades el asfalto oxidado y después colocado un sello premezclado que sirva como superficie de rodamiento con un acabado de alta calidad.

En la plataforma se recurrió al reciclado en frío del pavimento existente que mediante una estabilización con asfalto, conformará una base negra de buena calidad que contribuirá al refuerzo de la sección de pavimento existente y a su vez evitará el movimiento de tierras a gran escala, lo cual representa un ahorro económico importante.

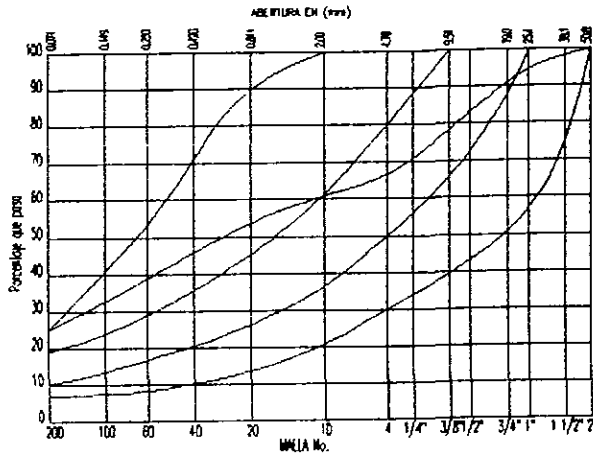
Para proyectar la base negra se realizó un muestreo de los materiales existentes en la zona de plataformas para conocer sus propiedades con el objeto de verificar su calidad, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 2.1.

FIGURA 21 ESTUDIO DE CALIDAD DE MATERIALES

PROYECTO: Plataformas y Hangares  
 LUGAR: B.A.M. No. 1, Sta. Lucia, Edo. de Mex.

PROCEDENCIA: Base existente en zona de plataformas.  
 DESCRIPCION: Arena limo-grillosa con gravas  
 ELEMENTO: Base (existente)  
 CLASIFICACION (S.U.C.S.): SC.

COMPOSICION GRANULOMETRICA	
MALLAS	% QUE PASA
3"	100
2"	100
1 1/2"	98
1"	95
3/4"	91
5/8"	79
No. 4	65
No. 10	61
No. 20	54
No. 40	45
No. 60	39
No. 100	32
No. 200	25



ENSAJE	
Peso Vol. Natural	1200 kg/m <sup>3</sup>
Peso Vol. Vornado	1407 kg/m <sup>3</sup>
Peso Vol. Seco Max.	1637 kg/m <sup>3</sup>
Humedad Optima	23.4 %
Absorcion	5.72 %
Densidad	> 3/8" 2.14
	< No. 4 2.53
Limite Liquido	54.98 %
Limite Plastico	19.39 %
Indice Plastico	35.59 %
Contraccion Lineal	3.0 %
VRS Natural	76.3 %
Expansion	0.04 %
Valor Cementante	5.13 kg/cm <sup>2</sup>
Equivalente de arena	62.01 %

Para la construcción de la nueva plataforma de mantenimiento se aprovecharon los materiales provenientes de los bancos cercanos, mismos que con una estabilización con cal cumplieron con las especificaciones y se permitió su utilización para evitar largos acarreos a la obra.

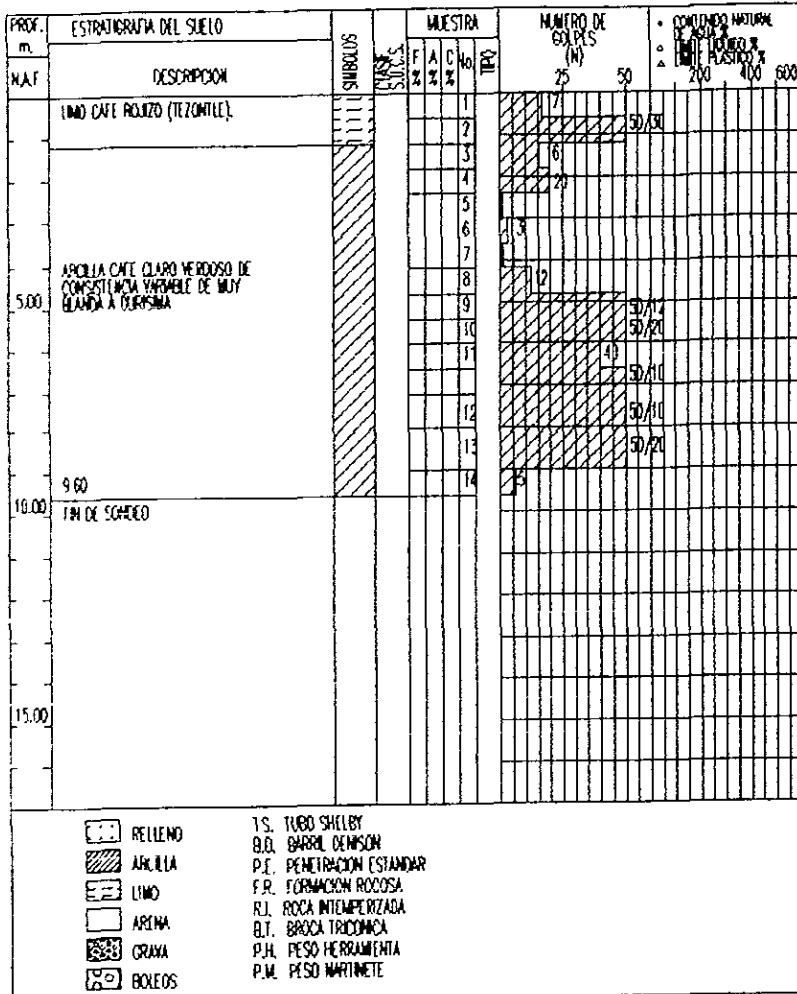
### ***II.1 Diseño del pavimento para la plataforma de mantenimiento***

Para la construcción de la nueva plataforma fue necesario proyectar los espesores del pavimento. Los estudios previos para los pavimentos de las plataformas y hangares fueron realizados por PEP Ingeniería de Suelos, S.A. de C.V., y consistieron en:

- a) Recuperación de muestras del suelo en dos pozos a cielo abierto, ambos con una profundidad de 4.0 m., en donde la recuperación de muestras se llevo a cabo por medio de muestras cúbicas extraídas a una profundidad de 1.5 a 2.0 m que se labraron posteriormente en moldes Porter para ser sometidas a saturación y procesadas para obtener el valor relativo de soporte (V.R.S.) del suelo natural, obteniéndose valores negativos, por lo tanto nuevamente se muestreo por medio de moldes Porter "in situ", logrando con esto, valores para diseño.
  
- b) De forma alterna se realizo un sondeo de penetración estándar (figura 2.2), para determinar la cimentación del hangar de mantenimiento, sirviendo como apoyo para el diseño de los pisos del hangar, donde se puede apreciar que el suelo en algunas capas es muy deficiente.

FIGURA 2.2 PERFIL ESTRATIGRAFICO

PROYECTO: Hidrotarima y Hongares  
 LOCALIDAD: B.A.M. No. 1, Sta. Lucia, Edo. de Mex.  
 ZONADO: SM-03



### II.1.1 Características del suelo de apoyo.

Los suelos de las capas inferiores a nivel de excavación de 1.5 m y 2.0 m, se compone por una arcilla gris verdosa de alta plasticidad, clasificada según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) como CH y presenta una humedad de 112 % a 122 % en la capa más superficial y de 232 % y de 244 % para la capa más profunda, en cuanto a sus valores de V.R.S., se presentan los valores de 2.0 % a 2.8 %, por lo que califica a la capa de apoyo de muy mala calidad. Los resultados de estos sondeos se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resultados de los sondeos efectuados para conocer el V.R.S. del suelo de apoyo.

Número de Sondeo	Peso Volumétrico (Ton/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	V.R.S. (%)
1	1.163	244.21	2.6
2	1.156	232.54	2.28
3	1.61	122.42	2.8
4	1.59	112.38	2.0

El valor elegido de diseño y su gráfica se puede apreciar en la figura 2.3.

### II.1.2 Método de diseño.

Para el diseño del espesor de los pavimentos, se hizo uso del criterio presentado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Los Estados Unidos, dependencia que diseño el método del V.R.S. con curvas obtenidas para los diferentes tipos de aviones. El problema de las cargas y su forma de actuación es diferente que en carretera; el tráfico es menos intenso, pero la

importancia de las cargas es mayor. La repetición de las cargas no se define por su número, sino por el de "coberturas", que es la repetición de pasadas contiguas para cubrir una vez la totalidad de la zona.

Las principales variables que componen este método son el valor relativo de soporte (V.R.S.) de la capa de apoyo, el peso de la aeronave en el tren principal y el número de aplicaciones.

Los aviones DC-9 y Boeing 727, en sus diferentes modalidades, se han utilizado en México como vehículos de diseño para aeropistas de mediano alcance, en tanto que el DC-8 se ha utilizado en las aeropistas de servicio internacional.

### **II.1.3 Espesores del pavimento.**

La manera de utilizar las gráficas de diseño en un caso concreto será el siguiente. Determinando el V.R.S. de la capa superior de la terracería, la utilización de la gráfica que corresponda dará el espesor necesario de material que ha de cubrir la terracería para lograr un comportamiento satisfactorio. Se abre una interrogante, ya que el método en sí no resuelve con que capas de materiales y de que calidad ha de darse para cubrir el espesor requerido.

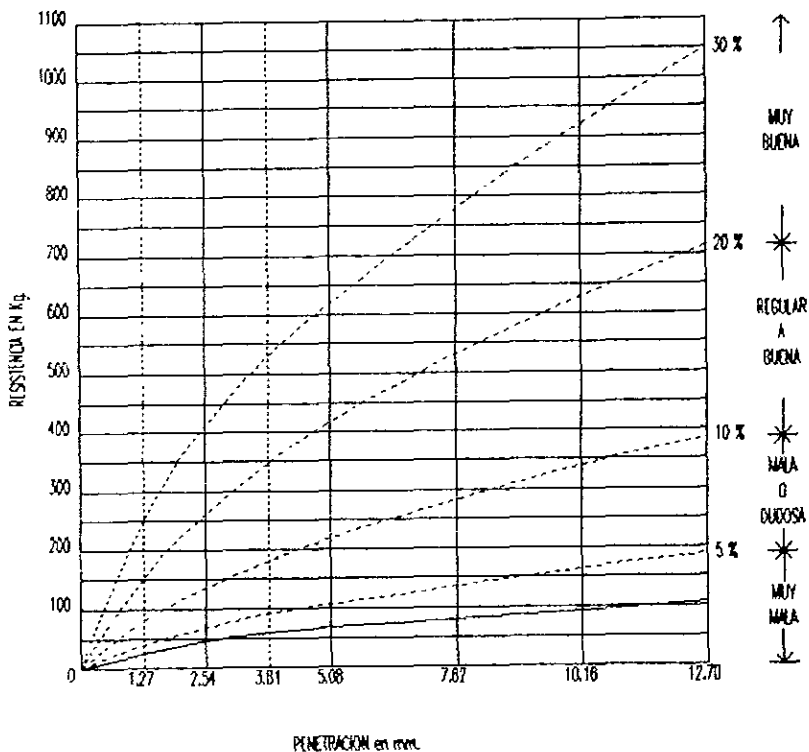
Lo que generalmente se hace es proporcionar una subrasante sobre la terracería, cuyo espesor se decide un tanto al gusto, con la única condición de que este espesor seleccionado más el espesor de lo que se le coloque encima de la subrasante dé el cubrimiento total que la terracería haya requerido.

Es frecuente seleccionar subrasantes del orden de 50 cm de espesor en aeropistas, de manera que el resto deberá darse con capas de sub-base y base.

FIGURA 2.3 PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE EN TERRACERIAS

PROYECTO: Plataforma y Hongares.  
 LUGAR: B. A. M. N.1, Santa Lucía, Edo. Mex.  
 SONDEO: P-1  
 MATERIAL: Arcilla gris verdosa

Peso Volumetrico	1.163 Ton/m <sup>3</sup>
Humedad	244.21 %
V.R.S.	2.6





Después de aplicar el criterio descrito en el punto anterior, los espesores resultantes de los pavimentos se pueden apreciar en los nomogramas de las figuras 2.4 y 2.5. Por tanto, el pavimento flexible de concreto asfáltico para el Boeing 727 es el más crítico y queda como base para el diseño.

Revisando espesores de pavimentos para otros diferentes aviones con el mismo método, por ejemplo el DC-8, se alcanzan espesores de hasta 2.0 m., de tal manera, que si se tienen las características de avión del Boeing 727, las excavaciones a 1.5 m que se realizaron para desplantar el pavimento resultan propias para este tipo de aeronaves. De esto se deriva que los espesores de las capas de carpeta, base y sub-base se respetan, sin embargo, el espesor de la capa subrasante resulta mayor a la sección del pavimento que se propone en la figura 2.4. Los espesores finales se muestran en la tabla 2.2 y se ilustran en la figura 2.6.

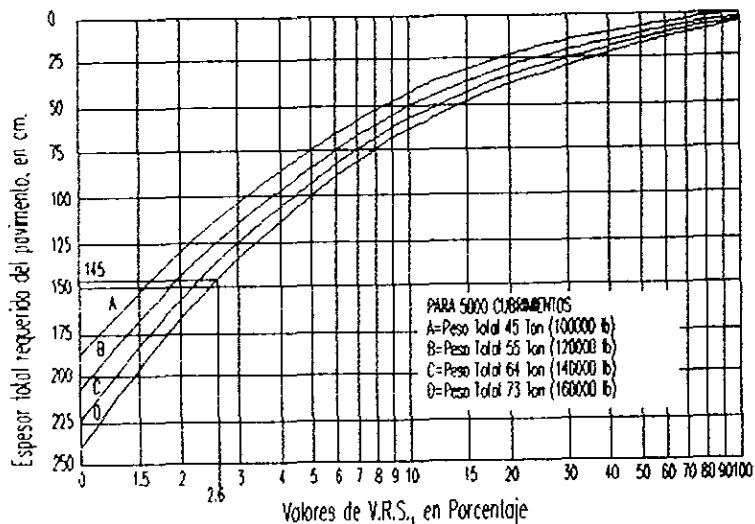
Tabla 2.2 Espesor final para el pavimento de la plataforma de mantenimiento.

<i>Capa del pavimento</i>	<i>Espesor</i>
Carpeta asfáltica	12.0 cm
Capa de Base	30.0 cm
Capa de Sub-base	40.0 cm
Capa de subrasante	80.0 cm
Total	162.0 cm

FIGURA 2.4 CALCULO DE ESPESORES EN GRAFICAS

Metodo del Cuerpo de Ingenieros del  
Ejercito de los E.E.U.U.

Curvas de espesor del pavimento en funcion  
del V.R.S. para el Avion Boeing 727.



ESPESORES

CARPETA	12 cm
BASE	30 cm
SUB-BASE	40 cm
SUB-RASANTE	63 cm
ESPESOR TOTAL	<u>145 cm</u>

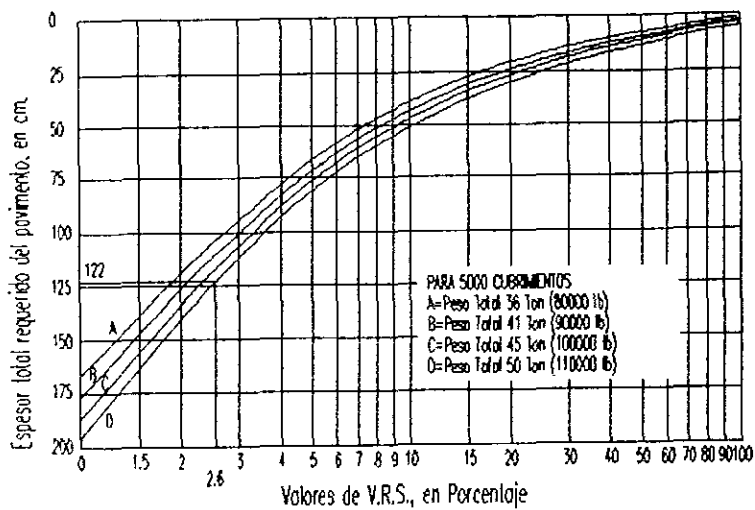
FUENTE: La Ingenieria de Suelos en las Vias Terrestres, tomo II.

Autores: Alfonso Rico R. y Hermilo Del Castillo

FIGURA 2.5 CALCULO DE ESPESORES EN GRAFICAS

Metodo del Cuerpo de Ingenieros del  
Ejercito de los E.E.U.U.

Curvas de espesor del pavimento en funcion  
del V.R.S. para el Avion DC-9.



## ESPESORES

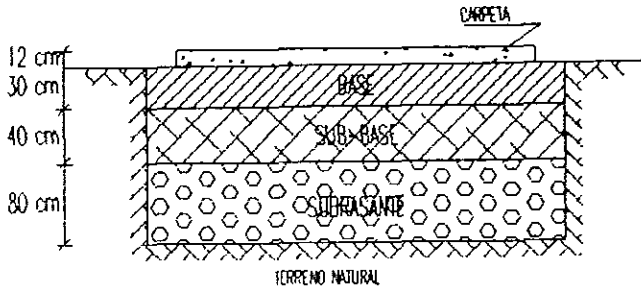
CARPETA	12 cm
BASE	30 cm
SUB-BASE	40 cm
SUB-RASANTE	40 cm
ESPESOR TOTAL	<u>122 cm</u>

FUENTE: La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Tomo II.

Autores: Alfonso Rico R. y Heriberto Del Castillo

FIGURA 2.6 SECCION PROYECTADA

ESPEORES DE PAVIMENTOS  
PLATAFORMA Y HANGARES  
BOEING 727



BASE:  
Calidad S.C.T. al 100 %  
de la prueba Porter.

SUB-BASE:  
Calidad S.C.T. al 95 %  
de la prueba Porter.

SUBRASANTE:  
Vibrado con equipo pesado  
(ESCORIA VOLCANICA)

## **II.2 Trabajos de topografía**

Este comprende el trazo y nivelación de las instalaciones, así como las pendientes y elevaciones de sus elementos.

Para la construcción de la nueva plataforma de mantenimiento fue necesario trazar la continuación del eje del rodaje F, y ubicar la plataforma, para comenzar a abrir caja e iniciar la construcción de las terracerías. La distribución en planta de las instalaciones existentes de la Base Aérea y la nueva plataforma se aprecia en la figura 1.1

Los trabajos efectuados en lo referente a las pendientes y elevaciones lo podemos subdividir en:

### **a) Pendientes de la plataforma de acceso a hangares**

Para obtener el perfil longitudinal de la plataforma y obtener la línea de referencia para las elevaciones, se corrieron 2 nivelaciones en ambos extremos a 0 y 98 m. registrando su cota a cada 20 m. Con esto fue posible conocer la pendiente existente; que sirvió de base para corregir la pendientes y proponer una nueva que requería un mínimo de material para su construcción y que facilitara el drenaje del agua. En base a estas pendientes, se calcularon dos curvas verticales para el primer tramo de avance de los trabajos; estas curvas a su vez, definen a través de la unión de sus cotas en un mismo kilometraje la pendiente transversal de la plataforma (Ver figura 2.7). Para los tramos donde se encuentran los accesos a hangares se tomaron en cuenta sus elevaciones y se trazo directamente con estas cotas formando así la cuadrícula de cotas para los tramos restantes.

### b) Pendientes del rodaje F.

Para obtener la línea de referencia para las elevaciones, se corrió una nivelación al centro de la calle, registrando su cota a cada 20 m, a fin de conservar esta pendiente. El procedimiento consistió en "ligar" las cotas de carpeta terminada en diferentes tramos: del km. 0+ 000 al 0 + 360 con lo que se unen la plataforma de hangares con una losa de concreto ubicada a la entrada del C.R.E.L (Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios); del km. 0+ 360 al 0+ 600 se ligaron las cotas de la losa de concreto con las de la pista Bravo. La sección transversal tipo contó con un bombeo de 1.2 % hacia los extremos, y las transiciones de esta sección hacia la sección de los puntos finales u obligados fueron realizadas suavemente a lo largo de 40 mts.

### c) Pendientes de la plataforma de mantenimiento

En este punto no se contó con una pendiente predeterminada, por lo que se obtuvo la pendiente natural del terreno y se corrió una nivelación alrededor de la zona donde se ubicaría la plataforma para encontrar el punto mas bajo y dar la pendiente de manera natural al agua. La pendiente que se adoptó como final fue de - 0.5 % en un solo sentido, partiendo del acceso al hangar de mantenimiento. El acceso a la plataforma por medio de la continuación del rodaje F tomo como puntos obligados los niveles de carpeta de ambas plataformas, con lo que se fijo la pendiente longitudinal, mientras que la transversal ( o bombeo) fue del 1.5 %, con transiciones de 40 mts de largo.

### d) Nivelación de la pista principal

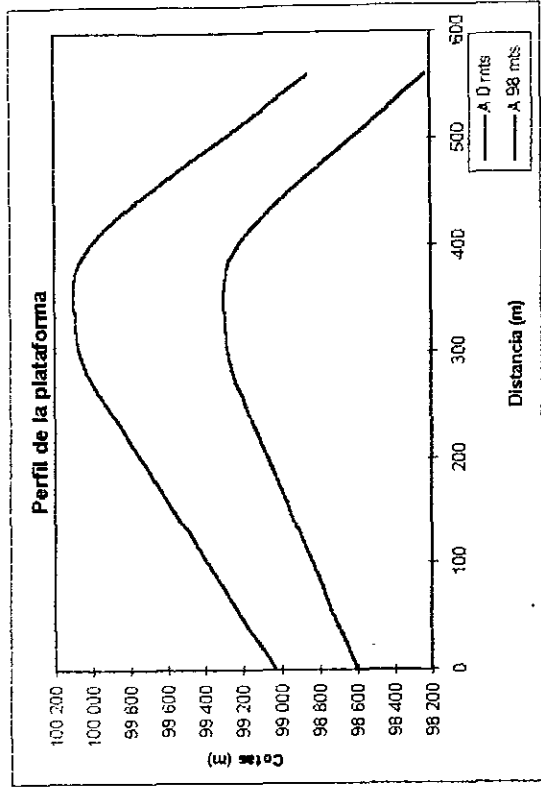
En la pista principal, se decidió levantar secciones transversales a cada 20 metros con un ancho de 10, 20 y 30 mts, para verificar la posible existencia de algunos hundimientos.

FIGURA 2.7 Perfil de las curvas verticales en la plataforma de hangares  
OBRA: REHABILITACION DE PISTAS  
COTAS A NIVEL BASE

Dist.		Elevaciones	
(m)	A 0 mts.	A 98 mts.	A 98 mts.
0	99.030	98.600	98.600
20	99.101	98.647	98.647
40	99.173	98.693	98.693
60	99.244	98.740	98.740
80	99.315	98.786	98.786
100	99.386	98.833	98.833
120	99.458	98.879	98.879
140	99.529	98.926	98.926
160	99.600	98.973	98.973
180	99.672	99.019	99.019
200	99.743	99.066	99.066
220	99.814	99.112	99.112
240	99.885	99.159	99.159
260	99.957	99.205	99.205
280	100.028	99.252	99.252
300	100.068	99.279	99.279
320	100.091	99.294	99.294
340	100.100	99.300	99.300
360	100.100	99.300	99.300
380	100.080	99.283	99.283
400	100.022	99.233	99.233
420	99.924	99.149	99.149
440	99.788	99.032	99.032
460	99.632	98.889	98.889
480	99.476	98.765	98.765
500	99.320	98.631	98.631
520	99.164	98.498	98.498
540	99.008	98.364	98.364
560	98.852	98.230	98.230

CONTINUACION

Dist.		Elevaciones	
(m)	A 0 mts.	A 98 mts.	A 98 mts.
580	98.696	98.097	98.097
600	98.541	97.963	97.963
620	98.385	97.830	97.830
640	98.229	97.696	97.696
660	98.073	97.562	97.562
669.4	98.000	97.500	97.500



### ***II.3 Materiales a emplearse en la obra***

Para construir las diversas capas que conforman un pavimento se utilizan comúnmente materiales de banco con las características adecuadas para cumplir las funciones que tendrán en la estructura vial.

Los agregados utilizados se seleccionan de acuerdo a las especificaciones y en base a sus características que permiten identificarlos. Además deben examinarse las posibilidades locales, ya que es fundamental tener muy en cuenta las características no sólo de calidad, sino, asimismo, las posibilidades de explotación de la cantera, volumen disponible y dificultades de obtención. Es fundamental que un estudio cuidadoso nos asegure el abastecimiento conveniente de los distintos materiales, así como el equilibrio del rendimiento de los elementos de fabricación y transporte; no hacerlo así puede dar lugar a perjuicios económicos importantes.

Los bancos analizados para la construcción de la plataforma de mantenimiento fueron:

- El Chivito
- Xolos Juventino Domínguez
- San Bartolo

y los resultados obtenidos después de efectuar las pruebas correspondientes se pueden observar en la tabla 2.3.

Todos los materiales analizados son preparados en banco y consisten en una mezcla de tezontle-tepetate dosificado en diferentes proporciones de base, subbase y subrasante, notándose que en función de los porcentajes de los materiales varían sus características de plasticidad y de



V.R.S., en algunas ocasiones el V.R.S. es aceptable, más no su plasticidad y así se dan más sucesivamente a sus alternativas.

Con base a los resultados obtenidos se llegó a la conclusión que lo más conveniente es la aplicación de un estabilizante para reducir la plasticidad, por lo que se hicieron pruebas a la muestra de material seleccionado y representativo del banco "El Chivito" (Muestra 2). Esta muestra fue estabilizada con una proporción de 15 kilogramos de cal por m<sup>3</sup> de mezcla obteniéndose óptimos resultados, la cual es apta para ser empleada en capa de base (Ver figura 2.8)

Tabla 2.3. Resultados de los materiales ensayados

Muestra	Banco	Material	Uso	Comentarios
1	El Chivito	Grava Controlada	Base	Cumple
2	El Chivito	Grava Controlada	Base	Cumple *
3	El Chivito	Grava Controlada	Terracerías	No cumple
4	Xolos Juventino Domínguez	Grava Controlada	Subbase	Cumple
5	El Chivito "Frente 1"	Tepetate	Subrasante	No cumple
6	El Chivito "Frente 2"	Tepetate	Subbase	Cumple
7	Xolos Juventino Domínguez	Tepetate	Subbase	No cumple
8	El Chivito "Frente 3"	Tepetate	Subrasante	No cumple
9	San Bartolo	Grava Controlada	Base	Cumple

\* Muestra estabilizada con cal.

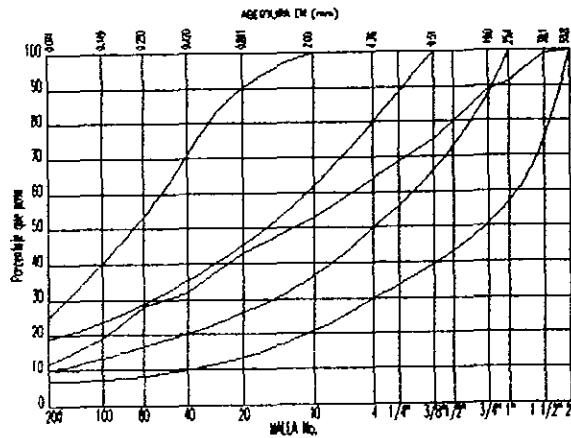
Para la elección de agregados pétreos para elaborar la carpeta asfáltica y el sello premezclado se realizaron pruebas de calidad a los materiales de muestras recuperadas en el banco de materiales del Proyecto Xometla, explotado por ICA (figuras 2.8 a 2.11).

FIGURA 28 ESTUDIO DE CALIDAD DE MATERIALES

PROYECTO: Plataformas y Hangares  
 LUGAR: B.A.M. No. 1, Sta. Lucia, Edo. de Mex.

PROCEDENCIA: Banco El chivito.  
 DESCRIPCION: Arena limosa con gravas color cafe rojizo  
 ELEMENTO: Base para la plataforma de mantenimiento  
 CLASIFICACION (S.U.C.S.): SW.

COMPOSICION GRANULOMETRICA	
MALLAS	% QUE PASA
3"	100
2"	100
1 1/2"	99
1"	91
3/4"	89
5/8"	75
No. 4	64
No. 10	55
No. 20	43
No. 40	32
No. 60	28
No. 100	19
No. 200	12



ENSAYE		ESPECIFICACIONES	
Peso Vol. Suelto	1196	kg/m <sup>3</sup>	
Peso Vol. Vornado	1332	kg/m <sup>3</sup>	
Peso Vol. Seco Max.	1715	kg/m <sup>3</sup>	
Humedad Optima	18.95	%	
Absorcion	15.31	%	
Densidad	1.68		
	2.62		CON CAL
	33.91	%	30.45 30 % Max.
Limite Liquido	21.66	%	21.03
Limite Plastico	12.25	%	9.42
Indice Plastico	3.0	%	2.80 3.5 % Max.
Contraccion Lineal	131.63	%	100 % Min
V.R.S. 100%	0	%	
Expansion	2.35	kg/cm <sup>2</sup>	
Valor Cementante	54	%	50 % Min. (Opt.)
Equivalente de arena			

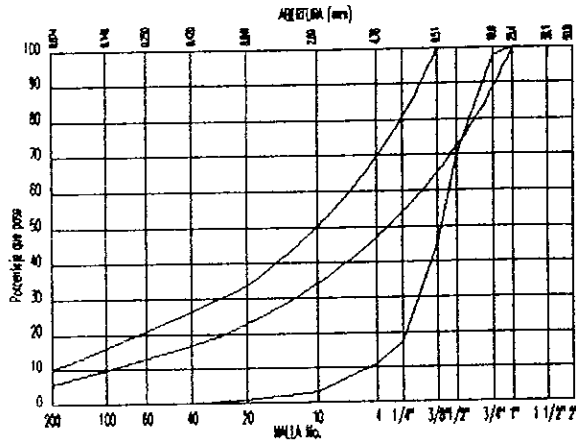
Fig. 2.9

## INFORME DE ENSAYE DE MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: Plataformas y Mangroves.	MUESTRA No.: M-1
LUGAR: B.A.M. No.1, Sta. Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO: 11/Mar/90
<input checked="" type="checkbox"/> BANCO <input type="checkbox"/> PLANTA: Xomello,	FECHA DE ENSAYE:
UBICACION:	
CLASIFICACION: Grava Triturada 3/4".	

EN CALIENTE

MILLAS	% QUE PASA
1"	100
3/4"	98
1/2"	70
3/8"	45
1/4"	17
No. 4	11
No. 10	3
No. 20	1
No. 40	-
No. 60	-
No. 100	-
No. 200	-



CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

		ESPECIFICACIONES
Peso Vol. Suelta kg/m <sup>3</sup>	1958	
Peso Vol. Vainado kg/m <sup>3</sup>	1828	
Absorcion %	1.50	
Densidad	2.89	
Desgaste de los Angeles %	12.26	40 % Max.
Fritamiento Acelerado %	0.07	12 % Max.
% de Trituracion	100	
Part. Alargadas %		35 % Max.
Part. Lajeadas %		35 % Max.
Equiv. de Arena %		55 % Min.
Contraccion Lineal %		2 % Max.

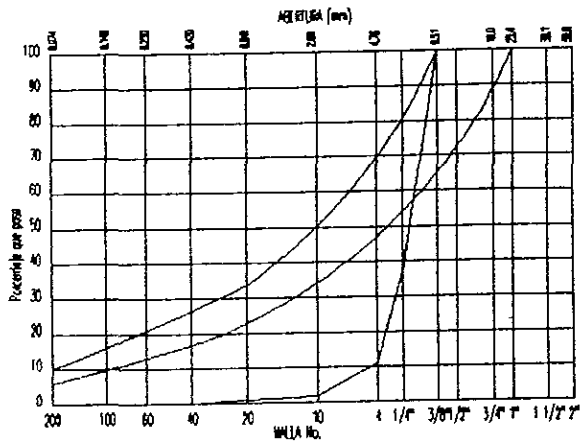
Fig. 2.10

INFORME DE ENSAYE DE MATERIAL PETREO  
PARA MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: Plataformas y Hongos.	MUESTRA No.: M-2
LUGAR: B.A.M. No1, Sta Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO: _____
<input checked="" type="checkbox"/> BANCO <input type="checkbox"/> PLANTA: Xometla	FECHA DE ENSAYE: 11/Mar/98
UBICACION: _____	
CLASIFICACION: Sello.	

EN CALIENTE

MALLAS	% QUE PASA
1"	100
3/4"	100
1/2"	100
3/8"	100
1/4"	97
No. 4	11
No. 10	2
No. 20	1
No. 40	-
No. 60	-
No. 100	-
No. 200	-



CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

		ESPECIFICACIONES
Peso Vol. Suelto kg/m <sup>3</sup>	1446	
Peso Vol. Vornado kg/m <sup>3</sup>	1575	
Absorcion %	1.62	
Densidad	2.75	
Desgaste de los Angeles %	12.20	40 % Max.
Intemperismo Acelerado %	1.21	12 % Max.
% de filtracion	100	
Part. Alargadas %		35 % Max.
Part. Lajeadas %		35 % Max.
Equiv. de Arena %		55 % Min.
Constraccion Lineal %		2 % Max.

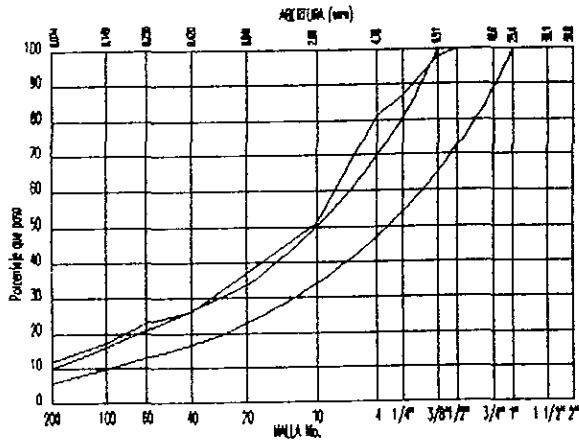
Fig. 2.11

INFORME DE ENSAYE DE MATERIAL PETREO  
PARA MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: Plataformas y Hongares.	MUESTRA No.: M-3
LUGAR: B.A.W. No.1, Sta Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO: _____
<input checked="" type="checkbox"/> BANCO <input type="checkbox"/> PLANTA: Xomello.	FECHA DE ENSAYE: _____
UBICACION: _____	
CLASIFICACION: Arena gruesa producto de trituracion (en greno).	

EN CALIENTE

MALLAS	% QUE PASA
1"	100
3/4"	100
1/2"	100
3/8"	98
1/4"	87
No. 4	81
No. 10	51
No. 20	37
No. 40	26
No. 60	23
No. 100	17
No. 200	12



CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

		ESPECIFICACIONES
Peso Vol. Suelta kg/m <sup>3</sup>	1755	
Peso Vol. Vuelto kg/m <sup>3</sup>	1984	
Absorcion %	1.78	
Densidad	2.74	
Desgaste de los Angeles %		40 % Max.
Intemperismo Acelerado %		12 % Max.
% de Trituracion		
Part. Alisadas %		35 % Max.
Part. Lijeadas %		35 % Max.
Equiv. de Arena %	78.54	55 % Min.
Contraccion Lineal %	3.0	2 % Max.

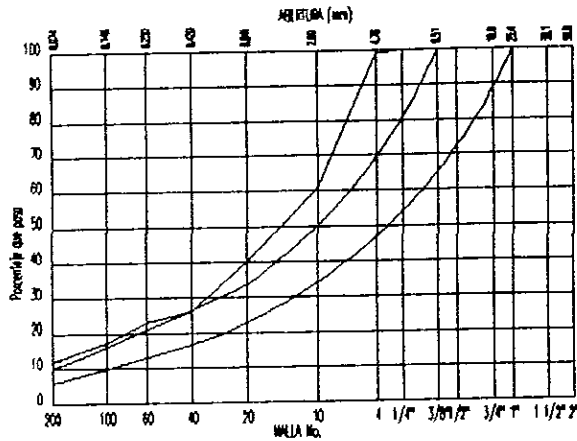
Fig. 2.12

INFORME DE ENSAYE DE MATERIAL PETREO  
PARA MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: Plataformas y Hangares.	MUESTRA No.: M-4
LUGAR: B.A.W. No.1, Sta Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO:
<input checked="" type="checkbox"/> BANCO <input type="checkbox"/> PLANTA: Xomello	FECHA DE ENSAYE: 11/Mar/58
UBICACION:	
CLASIFICACION: Arena fina producto de trituracion.	

EN CALIENTE

MILLAS	% QUE PASA
1"	100
3/4"	100
1/2"	100
3/8"	100
1/4"	100
No. 4	99
No. 10	61
No. 20	40
No. 40	28
No. 60	23
No. 100	17
No. 200	12



CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

		ESPECIFICACIONES
Peso Vol. Suelto kg/m <sup>3</sup>	1753	
Peso Vol. Variado kg/m <sup>3</sup>	1974	
Absorcion %	0.2	
Densidad	2.97	
Desgaste de los Angeles %		40 % Max.
Intemperismo Acelerado %		12 % Max.
% de Trituracion		
Part. Alargadas %		35 % Max.
Part. Lajeadas %		35 % Max.
Equiv. de Arena %	83.1	55 % Min.
Contraccion Lineal %	1.4	2 % Max.

## **CAPITULO III.**

*MATERIALES DE CONSTRUCCION.*

## **CAPITULO III. MATERIALES DE CONSTRUCCION**

### ***III.1 Especificaciones***

En la definición de un programa, es muy importante el conjunto de especificaciones que se manejen, pues fijan de un modo u otro las metas que se persiguen, los procedimientos de construcción, la forma de medición de los volúmenes de obra, las bases de pago y el modo de verificar si se ha alcanzado lo deseado.

Para asegurar que las obras a construirse cumplan con el objetivo para el que fueron proyectadas, se han de utilizar los materiales adecuados y esto está en función de las especificaciones. La SEDENA en conjunto con PEP Ingeniería de Suelos establecen las especificaciones siguientes a fin de asegurar que en la obra se apliquen los procedimientos de construcción adecuados y se empleen materias primas con la calidad necesaria.

### ***III.1 Capa de mejoramiento***

Especificaciones para capas de mejoramiento (S.C.T. Libro IV Cap. 009-C.01).

Los materiales que se empleen como revestimiento de carreteras, deberán llenar los requisitos siguientes:

#### **A) De Granulometría**

- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, como se indica en la figura anexa.



2) La curva granulométrica deberá tener una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla No. 40 deberá ser mayor de 0.65. Podrá aceptarse hasta un 5% en volumen de partículas de tamaño menor de 76 mm (3") en el material transportado a la carretera, en donde deberán eliminarse.

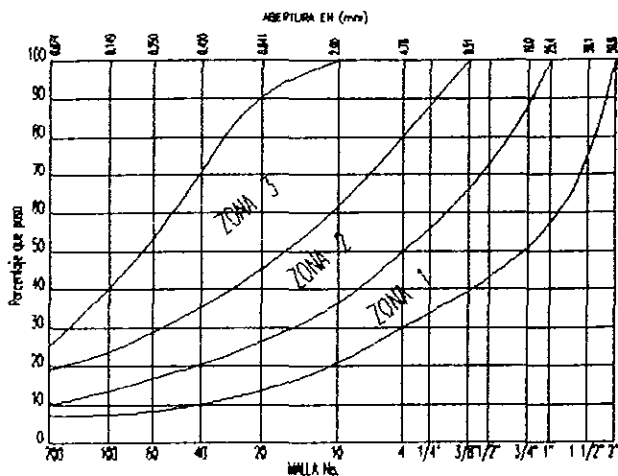
B) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte: los valores fijados en el cuadro de la tabla:

Características	Zona en que se clasifica el material de acuerdo a su granulometría		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.	6.0 Max	4.5 Max	3.0 Max
Valor cementante para materiales angulosos, en $kg/cm^2$	5.5 Min	4.5 Min	3.5 Min
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en $kg/cm^2$	8.0 Min	6.5 Min	5.0 Min
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porciento.	30 Min	30 Min	30 Min

Cuando la curva granulométrica se aloje en dos o más zonas, la parte correspondiente a la fracción comprendida entre las mallas No. 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual queda alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla No. 200 sea menor de 15 %, en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

Fig. 3.1

ESPECIFICACIONES PARA CAPAS DE MEJORAMIENTO (S.C.T. 009 - C.01)



CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.....	6.0 Max.	4.5 Max.	3.0 Max.
Valor cementante, para materiales angulosos, en kg/cm <sup>2</sup> .....	5.5 Min.	4.5 Min.	3.5 Min.
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos, en kg/cm <sup>2</sup> .....	8.0 Min.	6.5 Min.	5.0 Min.
Valor relativo de soporte estándar adjuvado, en por ciento.....	30.0 Min.		
Grado de compactación en por ciento.....	Segun proyecto		

C) De grado de compactación.

El material deberá compactarse según las normas de la S.C.T., a un grado de noventa y cinco por ciento (95 %) mínimo.

### RECOMENDACIONES DE PROCESO CONSTRUCTIVO

Para un mejor funcionamiento del pavimento proyectado, se deberán seguir las siguientes recomendaciones:

La capa subrasante se construirá con escoria volcánica (Tezontle) no degradable, en capas de 20 cm hasta alcanzar los niveles de proyecto de las capas superiores y será vibrada con equipo pesado hasta lograr su óptimo acomodo, cuidando que no se degrade.

El material podrá tener un tamaño máximo de 5" a finos, explotado en "greña" directamente de banco y vibrado con rodillos vibratorios del tipo VAP-70 "Muller" o equivalente que proporcione un impacto en el suelo de 21 toneladas mínimo.

### **III.3 Sub-base**

Especificaciones para Sub-Base de Pavimentos Flexibles (S.C.T. Libro IV Cap. 009-C.02).

Los materiales que se empleen para sub-bases de pavimentos flexibles, deberán llenar los requisitos siguientes:

A) De Granulometría

1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, como se indica en la figura de especificaciones anexa y deberá tener una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar

cambios bruscos de pendiente. La relación del porcentaje en peso que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40, no deberá ser mayor de 0.65.

2) El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de 51 mm (2").

B) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y equivalente de arena:

Características	Zona en que se clasifica el material de acuerdo a su granulometría		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.	6.0 Max	4.5 Max	3.0 Max
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm <sup>2</sup>	3.5 Min	3.0 Min	2.5 Min
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm <sup>2</sup>	5.5 Min	4.5 Min	3.5 Min
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porciento.	50 Min	50 Min	50 Min
Equivalente de arena, en por ciento.	20 Min	20 Min	20 Min

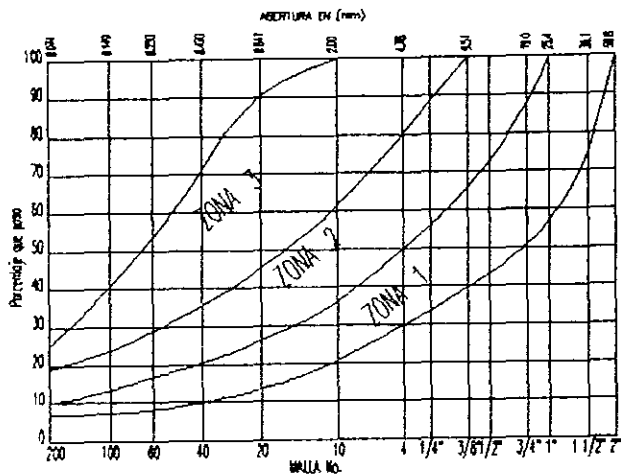
Cuando la curva granulométrica se aloje en dos (2) zonas, en la parte correspondiente a la fracción comprendida entre las mallas No. 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual queda alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla No. 200 sea menor de 15 %, en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

C) De grado de compactación.

El material deberá compactarse según las normas de la S.C.T., a un grado de noventa y cinco por ciento (95 %) mínimo.

Fig. 3.2

ESPECIFICACIONES PARA SUB-BASE  
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES  
(S.C.T. 009 - C.02)



CARACTERÍSTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRÍA		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.....	6.0 Máx.	4.5 Máx.	3.0 Máx.
Valor cementante, para materiales angulosos, en kg/cm <sup>2</sup> .....	3.5 Mín.	3.0 Mín.	2.5 Mín.
Valor cementante, para materiales redondeados y finos, en kg/cm <sup>2</sup> .....	5.5 Mín.	4.5 Mín.	3.5 Mín.
Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento.....	50.0 Mín.		
Equivalente de arena, en por ciento.....	20 Mín. (Tentativo)		
Grado de compactación en por ciento.....	95 Mín. o proyecto		

### RECOMENDACIONES DE PROCESO CONSTRUCTIVO

Para un mejor funcionamiento del pavimento proyectado, de deberán seguir las siguientes recomendaciones:

Las capas de base y sub-base hidráulica, se construirán con materiales procedentes de un banco cercano a la obra, para lo cual se podrá emplear el material denominado "grava controlada" preparada en el banco con grava producto de escoria volcánica (Tezontle) denso no degradable, mezclado con un limo arenoso (Tepetate), que en proporciones adecuadas, se hará que cumpla con sus respectivas calidades como lo marca las especificaciones de la S.C.T.

Se informa que se han estudiado los bancos cercanos a la obra, y la parte fina compuesta por el tepetate presenta plasticidad, por lo que se deberá mejorar agregándole cal hidratada en proporción de 15 kg. de cal por metro cúbico de mezcla, hasta hacerla cumplir su respectiva calidad. La calidad de la mezcla solo se podrá verificar una vez realizada esta, por lo que se verificará hasta la etapa de construcción del pavimento. Cabe aclarar que la calidad requerida si se puede lograr con estas mezclas.

Deberá verificarse la calidad del material para el banco de préstamo, debido a la posibilidad de variación de los frentes de ataque.

Las capas de sub-base y base, se construirán en dos capas que ya compactas tengan un espesor de 20 y 15 cm respectivamente, hasta alcanzar el espesor de proyecto.

Se procederá extendiendo parcialmente el material y se le incorporara agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar homogeneidad en granulometría y humedad. A continuación se extenderá el material para su compactación.

El material extendido se compactara hasta alcanzar un grado mínimo de compactación de 100% para la capa de la base y de 95% para la capa de sub-base, con respecto a su peso volumétrico seco máximo (P.V.S.M. Porter) con el espesor y sección de proyecto.

Se darán riegos superficiales durante el tiempo que dure la compactación, únicamente para compensar la humedad perdida por evaporación.

La compactación inicial podrá lograrse con rodillos vibratorios del tipo VAP-70 "Muller" o equivalente, que proporcione un impacto sobre el suelo de 21 toneladas mínimo.

Deberá cuidarse la compactación con los equipos de vibración, ya que si se excede demasiado ésta, el grado de compactación se reducirá, en lugar de aumentar, debido a que se rompe la estructura de las capas inferiores.

### **III.4 Base estabilizada con cal**

Base de Pavimentos Flexibles o Sub-base de Pavimentos Rígidos (S.C.T. Libro IV Cap. 009-C.09).

Los materiales que se empleen para sub-bases de pavimentos rígidos o bases de pavimentos flexibles, deberán tener los requisitos siguientes:

#### **A) De Granulometría**

- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, como se indica en la figura de especificaciones anexa y deberá tener una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar

cambios bruscos de pendiente. La relación del porcentaje en peso que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40, no deberá ser mayor de sesenta y cinco centésimos (0.65).

2) El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de cincuenta milímetros (2.0").

B) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y equivalente de arena.

Características	Zona en que se clasifica el material de acuerdo a su granulometría		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.	4.5 Max	3.5 Max	2.0 Max
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm <sup>2</sup>	3.5 Min	3.0 Min	2.5 Min
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm <sup>2</sup>	5.5 Min	4.5 Min	3.5 Min
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porciento.			
Aeronaves de hasta 20 toneladas.	80 Min	80 Min	80 Min
Aeronaves de más de 20 toneladas.	100 Min	100 Min	100 Min
Equivalente de arena, en por ciento.			
Aeronaves de hasta 20 toneladas.	35 Min	35 Min	35 Min
Aeronaves de más de 20 toneladas.	50 Min	50 Min	50 Min

Cuando la curva granulométrica se aloje en dos (2) zonas, en la parte correspondiente a la fracción comprendida entre las mallas No. 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual queda alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto



cuando la fracción que pase la malla No. 200 sea menor de 15 por ciento (15 %), en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

C) De grado de compactación.

El material deberá compactarse según las normas de la S.C.T., a un grado de cien por ciento (100 %) mínimo.

### RECOMENDACIONES DE PROCESO CONSTRUCTIVO

Para un mejor funcionamiento del pavimento proyectado, se deberán seguir las siguientes recomendaciones, que complementan las expuestas en el inciso anterior:

#### Procedimiento de Estabilización con cal Hidratada (NOM C-3)

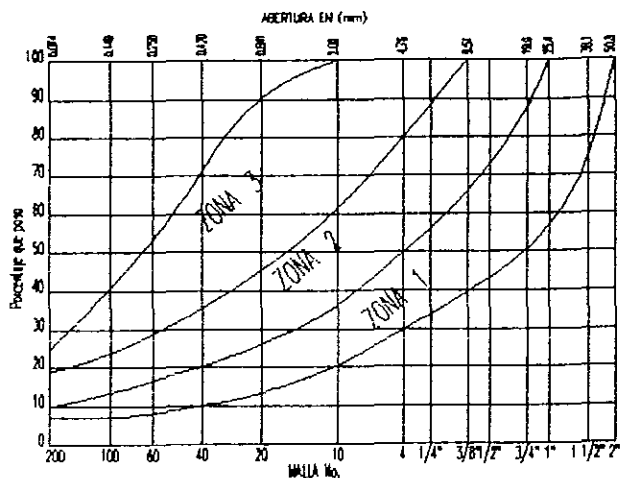
Para el proceso de estabilización se procederá de la siguiente manera: Todos los materiales de mezclas para las capas de base y sub-base, se estabilizará con cal hidratada (NOM C-3), en capas de 15 y 20 cm de espesor con una proporción de 25 kg. de cal por metro cúbico de suelo.

Se adicionará la cal en la cantidad estipulada según sea el caso. Se puede colocar en bolsas sobre el terreno, o bien con ayuda de camiones de volteo debidamente equipados. La utilización de rociador sería lo más adecuado para lograr una distribución uniforme, se deberá agregar un poco de agua para evitar que el aire la remueva. Si la cal se coloca en bolsas deberá distribuirse la cal depositada, con rastras antes de iniciar el mezclado. Nunca deberá utilizarse motoconformadora para distribuir la cal.

Una vez colocada la cal, se procederá a homogeneizar con la mezcla por medio de un arado de disco y motoconformadora y procederá a acamellonarse.

Fig. 3.3

ESPECIFICACIONES PARA BASE  
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES  
(S.C.T. 009 - C.06)



CARACTERÍSTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRÍA		
	1	2	3
Límite líquido, en por ciento	30 Max.	30 Max.	35 Max.
Contracción lineal, en por ciento	4.5 Max.	3.5 Max.	2.0 Max.
Valor cementante, para materiales angulosos, en kg/cm <sup>2</sup>	3.5 Min.	3.0 Min.	2.5 Min.
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos, en kg/cm <sup>2</sup>	5.5 Min.	4.5 Min.	3.5 Min.
Grado de compactación en por ciento	95 min o proyecto		

PESO TOTAL DE AEROSOLANTES SENSIBLES	VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR	EQUILIBRIO DE ARENA (terciario)	ÍNDICE DE DUREZ (terciario)
Más de 20 toneladas	80 Min.	35 Min.	35 Min.
Más de 20 toneladas	100 Min.	50 Min.	45 Min.

Al suelo resultante de la estabilización se procederá a aplicarle una ligera compactación, dejándolo reposar 72 horas como mínimo, regándola periódicamente con agua. Una vez transcurrido el tiempo, se procederá a escarificar para el inicio de su proceso de compactación.

Estos procesos se realizarán en franjas de 10.0 m en formas alternadas, realizando el proceso de estabilización. Cuando cada una de las capas se encuentren ya procesada en mezclado y tiempo de reposo, se procederá a su compactación, verificando que su humedad se encuentre en un 2% por arriba de la óptima.

### **III.5 Base asfáltica**

Capas de base, en pavimentos flexibles con mezclas en el lugar o en frío (S.C.T. Libro IV Cap. 009-C.10).

#### **MATERIALES PÉTREOS**

Los materiales que se empleen para la construcción de bases asfálticas y/o capas de renivelación, ambas llamadas bases negras, deberán reunir los requisitos siguientes:

##### **A) De Granulometría**

- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona 2 (de preferencia dentro de la zona 1) de la figura de especificaciones anexa. La zona 1 corresponde a materiales pétreos de granulometría gruesa y la zona 2 a los materiales pétreos de granulometría fina. La curva deberá tener una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas por lo menos en 2/3 partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

2) El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de 38 mm (1 ½”), ni de dos tercios (2/3) del espesor compactado de la base o nivelación.

B) Contracción lineal:

Materiales pétreos para mezclas en el lugar, 3 % máximo

C) Desgaste los Ángeles: 45 % máximo

D) De forma de las partículas, partículas alargadas y/o en forma de laja: 35 % máximo

E) Equivalente de arena: 55 % mínimo

F) De grado de compactación.

El material deberá compactarse según las normas de la S.C.T., a un grado de noventa y cinco por ciento (95 %) mínimo.

### PRODUCTO ASFÁLTICO

Las emulsiones que se escojan, deberán cumplir con las especificaciones respectivas. La emulsión que se utiliza en estabilizaciones es una emulsión de rompimiento lento, en este caso de tipo catiónico (RL-2K) cuyas características se ven en la tabla 3.1.

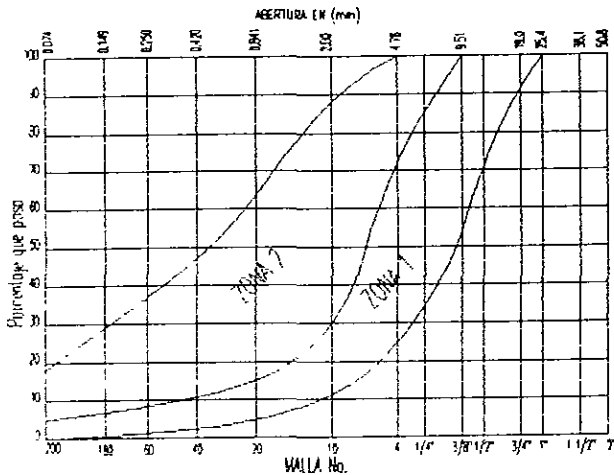
### RECOMENDACIONES DE PROCESO CONSTRUCTIVO

Para lograr una buena estabilización de un suelo con su ligante asfáltico es necesario que se cumplan una serie de condiciones que se mencionan a continuación:

Para el proceso de estabilización se procederá de la siguiente manera: Todos los materiales para la capa de base negra, se estabilizará con asfalto, “in situ” en capas de 15 cm de espesor con una proporción de 70 lbs de asfalto por metro cúbico de suelo.

Fig. 3.4

ESPECIFICACIONES PARA BASES NEGRAS  
DE MEZCLA EN EL LUCHAR  
(S.C.T. 009 - C.10)



Petres: (S.C.T. 009-C10)

- Contracción lineal: 3 % Máximo
- Desgaste de los Angeles: 45 % máximo.
- Equivalente de arena: 55 % mínimo.
- Forma de las partículas alargadas y/o en forma de laja: 35 % max.
- Compactación: 95 % mínimo.

Características	Grado					
	Rompimiento Rápido		Rompimiento Medio		Rompimiento Lento	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
<b>Pruebas al material asfáltico</b>						
Viscosidad Saybolt- Furol, 25°C, segundos					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt- Furol, 50°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla No.20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo)						
Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo			60	60		
Miscibilidad en cemento portland, por ciento, máximo					2	2
Carga de la partícula	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
ph, máximo					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máximo	3	3	20	12		
<b>Pruebas al residuo de la destilación</b>						
Penetración, 25°C, 100g, 5 segundos, grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono por ciento, mínimo	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	40	40	40	40	40	40

El suelo deberá estar suelto y disgregado para facilitar el reparto uniforme del ligante.

La maquinaria ha de ser capaz de conseguir una mezcla homogénea del ligante con el suelo y se deberá aportar el agua necesaria para conseguir con la maquinaria disponible un buen reparto de la emulsión; el suelo deberá tener un contenido no mayor de 6 % de agua y superior a un mínimo de 3 %.

Es preferible que la humedad del suelo exista previamente a la extensión de la emulsión, y que la distribución sea uniforme, por lo que el agua debe añadirse al suelo antes de proceder al reparto del ligante y a la fabricación de la mezcla.

La emulsión asfáltica se aplicará en varias pasadas de la petrolizadora simultáneamente a la operación de mezclado hasta completar la dotación prevista. Una vez adicionado el asfalto, se procederá a homogeneizar la mezcla con ayuda de un mezclador de suelos que sea capaz de conseguir una mezcla adecuada del suelo y el ligante.

El tendido de la mezcla se hace con motoconformadora y procederá a acamellonarse. Se procederá extendiendo parcialmente el material y se le incorporará agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar homogeneidad en granulometría y humedad. A continuación se extenderá el material para su compactación.

El material extendido se compactará hasta alcanzar un grado mínimo de compactación de 100 % para la capa de la base. La compactación inicial podrá lograrse con rodillos vibratorios del tipo VAP-70 "Muller" o equivalente, que proporcione un impacto sobre el suelo de 21 toneladas mínimo. Deberá cuidarse la compactación con los equipos de vibración, ya que si se excede demasiado esta, el grado de compactación se reducirá, en lugar de aumentar, debido a que se rompe la estructura de las capas inferiores.

Se darán riegos superficiales durante el tiempo que dure la compactación, únicamente para compensar la humedad perdida por evaporación.

### **III.6 Tratamientos superficiales**

#### RECOMENDACIONES DE PROCESO CONSTRUCTIVO

Para un mejor funcionamiento del pavimento proyectado, de deberán seguir las siguientes recomendaciones:

##### a) Riego de impregnación

Se debe humedecer con agua la superficie de la base, horas antes de la extensión del ligante asfáltico, para que los capilares queden lo más libre posible y favorezca la impregnación. Se barrerá la superficie de la base con cepillo de raíz y escoba para abrir un poco la textura y eliminar el polvo antes de aplicar el riego de impregnación, que consistirá en una emulsión asfáltica de rotura lenta, en proporción de 1.0 lt/m<sup>2</sup>. Este riego se dejará reposar un mínimo de 48 horas para que penetre en la base en más de 3 mm.

Se deberá tener cuidado con la aplicación del riego de impregnación, debido a la estabilización de las bases con cal y asfalto, ya que puede dificultarse la penetración, por lo que se recomienda que primero se haga un tramo de prueba para que en caso necesario se cambie la especificación del riego.

##### b) Riego de liga.

Antes de aplicar el riego de liga sobre la base impregnada, está deberá ser barrida para dejarla exenta de materias extrañas y polvo; además no deberá haber material asfáltico encharcado.



Este riego consistirá en una emulsión asfáltica de rompimiento rápido, en proporción de 1.0 lt/m<sup>2</sup>.

c) Riego de taponamiento.

Se barrerá la superficie de la base con cepillo de raíz y escoba para abrir un poco la textura y eliminar el polvo antes de aplicar el riego de taponamiento, que consistirá en una emulsión asfáltica de rompimiento lento, en proporción de 1.0 lt/m<sup>2</sup>. Este riego se dejará reposar un mínimo de 48 horas para que penetre en la carpeta asfáltica.

Se deberá tener cuidado con la aplicación del riego de taponamiento, debido a que la superficie de la carpeta dificultara su penetración, por lo que se recomienda que primero se haga un tramo de prueba para que en caso necesario se cambie la especificación del riego.

### **III.7 Carpeta asfáltica en caliente**

Especificaciones para carpeta asfáltica en caliente elaborada en planta (S.C.T. Libro IV Cap. 010-C.01).

#### **MATERIALES PÉTREOS**

Los materiales pétreos para carpeta asfáltica, elaborados por los sistemas de mezcla en el lugar y en planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas:

A) Granulometría:

\* La curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos, en términos generales deberá quedar comprendida en la zona limitada por las dos curvas de la figura de la hoja de

especificaciones anexa. En cada caso el proyecto señalará la granulometría correspondiente, de acuerdo con los requisitos fijados en el diseño de la mezcla.

B) Contracción lineal:

▪ Materiales pétreos para concretos asfálticos: 2% máximo

C) Desgaste los Ángeles: 40% máximo

D) De forma de las partículas, partículas alargadas  
y/o en forma de laja: 35% máximo

E) De afinidad con el asfalto; deberá cumplir con por lo menos en dos de las siguientes pruebas:

Para base de pavimento flexible no estabilizado o estabilizado con materiales no asfálticos:

- Desprendimiento por fricción 25% máximo

- Cubrimiento con asfalto (método inglés) 90% mínimo

- Desprendimiento de película 25% máximo

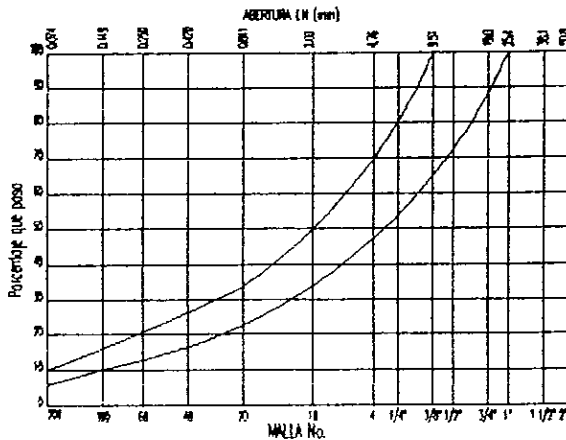
F) Equivalente de arena: 55% mínimo

### PRODUCTO ASFÁLTICO

Las especificaciones que en México rigen a los asfaltos son las de PEMEX. Recientemente, debido a la disponibilidad de residuos de tipo asfáltico en el país, PEMEX se ha dado a la tarea de producir cementos asfálticos tanto para consumo nacional como para exportación. Ahora bien, la demanda que se tiene de este producto proviene de Estados Unidos, país que exige el cumplimiento de las normas ASTM 1992 grado viscosidad, las cuales parecen explicar mejor el manejo y comportamiento del asfalto en obra, respecto a las normas vigentes de la S.C.T. grado penetración. Debido a lo antes expuesto, PEMEX ha visto la necesidad de unificar la producción de cementos asfálticos para satisfacer ambas demandas. En la tabla 3.2 se presentan dichas especificaciones, base viscosidad.

Fig. 3.5

ESPECIFICACIONES PARA MEZCLAS  
ASFALTICAS EN CALIENTE ELABORADAS  
EN PLANTA



Pedregos (S.C.T. 010-C01)

- Contracción lineal: 2 % máximo.
- Desgaste de los Angeles: 40 % máximo.
- Equivalente de arena: 55 % mínimo.
- Forma de las partículas alargadas y/o en forma de laja: 35 % máx.

Carpeta Asfáltica: (S.C.T. 011-D.04)

- Permeabilidad: 10 % máximo.
- Compacción: 95 % mínimo

(S.C.T. 011-D.03)

Mezcla Asfáltica	Hasta 2000 vehículos pesados	Más de 2000 vehículos pesados
Estabilidad Marshall, kg.	450 mín.	700 mín.
Flujo, mm	2 a 4.5	2 a 4
% de vacíos	3 a 5.0	3 a 5.0
Número de Golpes por Cara (2 caras)	50	75

La S.C.T hace las siguientes recomendaciones generales sobre el uso y manejo de los nuevos asfaltos, base viscosidad:

Asfalto	Región que se recomienda para su uso tentativo
AC-5	Para la elaboración de emulsiones asfálticas en general y para concretos asfálticos que se utilicen en algunas partes de la Sierra Madre Occidental comprendidas en los estados de Durango y Chihuahua.
AC-10 (CA-6)	Para la región central y altiplanicie de la República
AC-20	Para el sureste de la República y las regiones costeras del Golfo y del Pacífico, hasta el estado de Sinaloa, incluyendo también Baja California Sur.
AC-30	Para la región Norte y Noroeste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

La distribución anterior se basa principalmente en condiciones climáticas, y no incluye otras variables muy importantes como lo son los tipos de agregados pétreos, intensidad de tránsito, etc.

En la elaboración del concreto asfáltico que conformarán los pavimentos de la Base Aérea se empleará cemento asfáltico AC-20 grado viscosidad, que es de mayor calidad que el AC-10 (CA-6), debido a su mayor viscosidad resiste mejor los cambios climáticos y altas intensidades de tránsito y cargas por eje.

Tabla 3.2 Clasificación y Especificaciones de los Cementos Asfálticos

CARACTERÍSTICAS	CEMENTO ASFÁLTICO					
	AC - 2.5 (No. 2)	AC - 5 (No. 4)	AC - 10 (No. 6)	AC - 20 (No. 7)	AC - 30 (No. 7.5)	AC - 40 (No. 8)
Viscosidad Absoluta, 60°C, poises	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosidad Cinemática, 135°C, centistokes, mínimo	125	175	250	300	350	400
Viscosidad Saybolt Furol, 135°C, seg., mínimo	45	70	90	100	130	180
Viscosidad Brookfield, 135°C, poises, mínimo	30	30	30	30	30	30
Penetración, 25°C., 100 gr., 5 seg.	200 - 250	120 - 150	80 - 100	60 - 70	50 - 60	40 - 50
Punto de inflamación, copa abierta de Cleveland, °C, mínimo	205	220	232	232	232	238
Solubilidad en tricloroetileno, %, mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Punto de reblandecimiento, Anillo y Bola, °C	32 - 38	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58	52 - 60

Tabla 3.2 Clasificación y Especificaciones de los Cementos Asfálticos

(continuación)

CARACTERÍSTICAS	CEMENTO ASFÁLTICO					
	AC - 2.5 (No. 2)	AC - 5 (No. 4)	AC - 10 (No. 6)	AC - 20 (No. 7)	AC - 30 (No. 7.5)	AC - 40 (No. 8)
PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA, (3.2 MM), 163°C, 5 hr. 50 gr.						
Pérdida por calentamiento, %, máximo	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.5
Viscosidad Absoluta, 60°C, poises, máximo	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25°C, 5 cm por minuto, cm, mínimo	100	100	75	50	40	25
Penetración retenida, %	40	40	50	54	58	62
PRUEBAS SHRP (TENTATIVO) TEMPERATURA DE ENSAYE, °C						
Asfalto original						
G*/Sen d, Kpa, 1.0 mínimo	46	52	58	64	64	70
Después de TFOT ó RTFOT						
G*/Sen d, Kpa, 2.2 mínimo	46	52	58	64	64	70
Después del PAV						
G*/Sen d, Kpa, 5000 máximo	16	19	25	25	28	31

Elaboración de especímenes para diseño de carpetas asfálticas en caliente por el procedimiento Marshall (S.C.T. Libro IV Cap. 011-D-03).

**MEZCLA ASFÁLTICA**

El producto de la mezcla asfáltica y control durante su elaboración se hará mediante el procedimiento Marshall, y deberá sujetarse a las siguientes normas:

A) Las mezclas que se elaboren con cemento asfáltico, deberán cumplir con los requisitos señalados a continuación:

1) \* Para el procedimiento Marshall, lo indicado en la tabla siguiente:

CARACTERÍSTICAS (Elaborado con cemento asfáltico)	USO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	Para Aeropistas	
Número de golpes por capa		75	
Estabilidad mínima, kg.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	700	
Flujo en mm	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	2.0-4.0	
Porcentaje de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen	Para carpeta y mezclas de renivelación	3-5	
	Para bases asfálticas	3-8	
Porcentaje en el vacío de los agregados minerales (V.A.M.), respecto al volumen del espécimen de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo	4.76 mm (No.4)	18
		6.75 mm (1/4")	17
		9.51 mm (3/8")	16
		17.7 mm (1/2")	15
		19.0 mm (3/4")	14
		25.4 mm (1")	13

B) La mezcla asfáltica deberá ser compactada al 100 % mínimo, de su peso volumétrico máximo.

C) Las mezclas asfálticas usadas para carpeta deberán tener un valor de permeabilidad menor de 10 %; cuando se usen para la construcción de base y sub-base, el proyecto indicará éste valor. En estos casos el valor se determinará efectuando la prueba inmediatamente después de que la carpeta se haya terminado de construir.

Para aceptar la carpeta se considerarán las siguientes tolerancias:

PARÁMETRO	TOLERANCIA
Niveles	+/- 0.5 cm
Espesores	+/- 0.5 cm
Profundidad de las depresiones	max. 0.5 cm

La profundidad de las depresiones se determinará colocando una regla de 5 m de longitud, paralela y normal al eje longitudinal.

### RECOMENDACIONES DE PROCESO CONSTRUCTIVO

Para un mejor funcionamiento del pavimento proyectado, se deberán seguir las siguientes recomendaciones:

El material pétreo deberá ser calentado y secado para que la humedad que contenga sea inferior al 1 % antes de introducirlo a la mezcladora. La temperatura del material pétreo deberá estar comprendida entre 120 y 150°C, al salir de la planta de elaboración.



El concreto asfáltico deberá transportarse en vehículos con caja metálica, cubierto con lona que lo preserve de polvo, materias extrañas y de la pérdida de calor durante el trayecto. La superficie interior de la caja deberá estar siempre libre de residuos de concreto asfáltico, para evitar que la mezcla se adhiera.

El concreto asfáltico deberá tenderse con máquina especial para trabajo de propulsión propia con dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la mezcla tendida y dotada de un sistema que permita la repartición uniforme de la mezcla sin que presente segregación por tamaños en la misma. Deberá estar dotada de un calefactor en la zona de acabado superficial.

El concreto asfáltico, deberá tenderse a una temperatura mínima de 110°C.

Después de tendido el concreto asfáltico, deberá inmediatamente plancharse uniforme y cuidadosamente por medio de una aplanadora tipo Tandem adecuada para dar el acomodo inicial a la mezcla; este planchado deberá efectuarse longitudinalmente a media rueda. A continuación se compactará el concreto asfáltico utilizando un compactador de llantas neumáticas adecuadas para alcanzar un mínimo de 95% del peso volumétrico máximo; inmediatamente después se empleará una plancha de rodillo liso adecuado para borrar las huellas que dejan los compactadores de llantas neumáticas.

La temperatura del concreto asfáltico, al iniciarse el acomodo, deberá ser de 100 a 110° c en general, la compactación de la carpeta deberá terminarse a una temperatura mínima de 70°C.

No deberá tenderse concreto asfáltico sobre la base húmeda, encharcada o cuando este lloviendo.

Sobre la carpeta terminada se dará un riego de sello con cemento portland en proporción de un saco de cemento por cada 20 m<sup>2</sup> de carpeta, cuando este resulte con mayor permeabilidad del 10% permitido. La proporción podrá ser mayor o menor de acuerdo con los resultados obtenidos.

### **III. 8 Carpetas delgadas de graduación abierta**

Las Especificaciones para Carpetas Asfálticas Delgadas de Graduación Abierta en Caliente Elaborada en Planta fueron propuestas por PEP Ingeniería de Suelos, ya que no se cuenta con una norma establecida al respecto; como comparación se pueden consultar las normas aplicadas por Caminos y Puentes Federales, al final en el anexo B.

#### **MATERIALES PÉTREOS**

Los materiales pétreos que se empleen en carpetas delgadas de graduación abierta, deberán cumplir los requisitos impuestos para materiales pétreos para elaborar carpetas asfálticas (S.C.T. 010-C.01) respecto a las características siguientes:

Contracción lineal de materiales pétreos para concretos asfálticos:	2% máximo
Desgaste los Ángeles:	40% máximo
De forma de las partículas, partículas alargadas y/o en forma de laja:	35% máximo
De afinidad con el asfalto; deberá cumplir con por lo menos en dos de las siguientes pruebas:	
- Desprendimiento por fricción	25% máximo
- Cubrimiento con asfalto (método inglés)	90% mínimo
- Desprendimiento de película	25% máximo
Equivalente de arena:	55% mínimo

GRANULOMETRÍA

La granulometría de diseño deberá quedar comprendida en la zona granulométrica que corresponde a la gráfica que se presenta en la hoja de especificaciones anexa, la cual corresponde a agregado de tamaño de 3/8" (9.51 mm).

PRODUCTO ASFÁLTICO

El producto asfáltico empleado para la mezcla asfáltica de graduación abierta elaborada en planta estacionaria será el denominado AC-20 grado viscosidad y deberá satisfacer las normas de la tabla 3.2

MEZCLA ASFÁLTICA

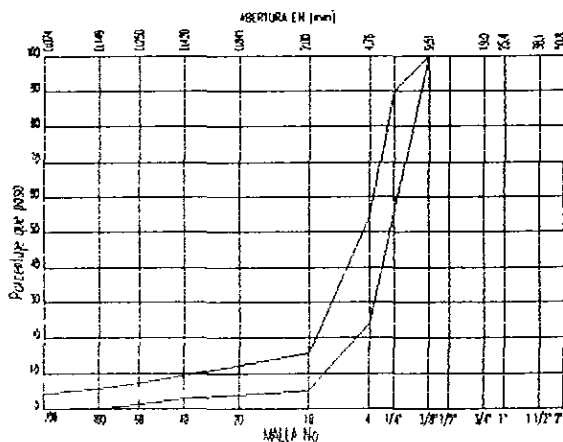
Las carpetas de graduación abierta se caracterizan por su alto contenido de vacíos (14 a 20 %), que le imparten propiedades drenantes, y valores mínimos de esfuerzo y deformación reducida (Estabilidad y Flujo).

El producto de la mezcla asfáltica y control durante su elaboración se hará mediante el procedimiento Marshall, y deberá sujetarse a las siguientes normas:

CARACTERÍSTICAS (Elaborado con cemento asfáltico)	
Número de golpes por capa	75
Estabilidad mínima, kg.	500
Flujo en mm	2.5-4.0
Porcentaje de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen	6-15
Porcentaje en el vacío de los agregados minerales (V.A.M.), respecto al volumen del espécimen de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo	20

Fig. 3.6

ESPECIFICACIONES PARA CARPETAS ASFALTICAS  
DELGADAS DE GRADUACION ABIERTA  
ELABORADAS EN PLANTA



Pelotas (SCT 010-011)  
 Contracción lineal: 2 % máximo  
 Desgaste de los Angeles: 40 % máximo  
 Equivalente de arena: 55 % mínimo  
 Forma de las partículas alargadas  
 r/o lápidas: 35 % máx

Carpeta de graduación abierta  
 Compactación: 100 % mínimo

(PIP Ingeniería)

Mezcla Asfáltica	Valores
Estabilidad Marshall, kg.	500 mín.
Flujo, mm	2.5 a 4
% de vacíos	6 a 15
Módulo de Ruptura por Carga (2 caras)	75

La mezcla asfáltica deberá ser compactada al 100 % mínimo, de su peso volumétrico máximo.

Para aceptar la superficie de la carpeta delgada de graduación abierta se considerarán las siguientes tolerancias:

PARÁMETRO	TOLERANCIA
Niveles	+/- 0.5 cm
Espesores	+/- 0.5 cm
Profundidad de las depresiones	max. 0.5 cm

La profundidad de las depresiones se determinará colocando una regla de 5 m de longitud, paralela y normal al eje longitudinal.

### RECOMENDACIONES DE PROCESO CONSTRUCTIVO

Para un mejor funcionamiento del pavimento proyectado, se deberán seguir las siguientes recomendaciones:

Las carpetas delgadas de graduación abierta se construirán en las mejores condiciones climáticas posibles, y de seguridad; no deberá iniciarse la construcción cuando la temperatura ambiente sea menor de 10°C, ni bajo peligro inminente de lluvia; al iniciarse los trabajos de un turno será necesario colocar el señalamiento de seguridad y protección para los usuarios, trabajadores y maquinaria y equipo.

La planta de asfalto deberá contar con los dispositivos para que la dosificación de los agregados se haga en forma controlada para obtener la granulometría fijada en el diseño de la mezcla, dentro de las tolerancias estipuladas.

Para el tendido y compactación de la mezcla asfáltica se empleará una maquina extendedora de capacidad adecuada a los programas de trabajo diario provista con sensores electrónicos para el control de los espesores.

Para la compactación se empleará un rodillo liso tipo Tandem de 6 a 10 toneladas de peso estático, en combinación con un rodillo neumático de nueve ruedas con peso bruto de 12 toneladas.

La carpeta asfáltica se hará en caliente, en planta estacionaria de alimentación continua o discontinua, a temperaturas de 150 a 180 °C, con la productividad adecuada para cumplir los programas diarios de trabajo, equipada con los sistemas de almacenamiento, *secado*, *control de dosificación* en peso, tolvas y silos de almacenamiento cuando sea necesario, capaz de garantizar la homogeneidad de la mezcla y un trabajo continuo.

La superficie de rodamiento sobre la que se construirá la carpeta delgada de *graduación abierta* deberá estar limpia, exenta de polvo y humedad; para ello el barrido de la superficie se hará con chiflón de aire.

El acarreo de la mezcla asfáltica se hará en camiones provistos con protección para cubrir la mezcla a fin de evitar que se contamine con polvo, materias extrañas o humedad.

La mezcla asfáltica deberá tener una temperatura mínima de 130 °C, con el equipo de las características descritas anteriormente, y se hará por bandas abarcando uno o más carriles de circulación, evitando que la junta quede sobre una rodadera, o a medio carril. Las bandas se construirán de la parte baja hacia la parte alta de la sección transversal.

La compactación de la mezcla de la carpeta asfáltica para la carpeta delgada de graduación abierta se iniciará con una temperatura mínima de 120 °C. Esta se hará con tres pasadas de rodillo liso vibratorio tipo Tandem, con carga estática de 8 a 10 toneladas. Se hará un rodillado final con el compactador neumático de 12 toneladas.

Se procederá iniciando la compactación de la parte más baja de la sección transversal, y continuando hacia la parte más alta.

Las operaciones de tendido y compactación no deberán desfasarse para evitar la pérdida de calor y la manejabilidad de la mezcla asfáltica.

Las carpetas delgadas de graduación abierta se abrirán al tránsito de vehículos cuando hayan perdido el calor suficiente para que su temperatura sea igual o menor que la temperatura de trabajo esperada en el sitio de la obra.

Cuando sea necesario dar paso en forma inmediata, se aplicarán riegos de agua para abatir la temperatura de la capa.

## **CAPITULO IV.**

### *DISEÑO DE MEZCLAS.*



## IV. DISEÑO DE MEZCLAS

No solo es importante ensayar el asfalto y los materiales pétreos separadamente, sino que deben realizarse ensayos sobre combinaciones de estos materiales hasta establecer las proporciones y características adecuadas para estas mezclas. Para esto existen ensayos y procedimientos normalmente empleados para las mezclas asfálticas.

Entre estos se hallan:

- a) MÉTODO MARSHALL
- b) MÉTODO DE HVEEN
- c) MÉTODO HUBBARD'FIELD
- d) MÉTODO TRIAXIAL

de los cuales, en México la prueba Marshall es la más generalizada y asimismo es la aplicada para nuestro caso.

Se presentan a continuación el procedimiento y los resultados de laboratorio de las pruebas hechas para el diseño de la mezcla asfáltica con la que se construirán la carpeta asfáltica y la carpeta delgada de graduación abierta (Open Graded) con la que integrarán los pavimentos en las zonas de pistas, plataformas y calles de rodaje.

El ensayo Marshall para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen cemento asfáltico y materiales pétreos cuyo tamaño máximo no exceda de 1".

### **IV.1 Diseño de la carpeta asfáltica**

Debido a la naturaleza empírica de la prueba de estabilidad de Marshall, el significado de los resultados relativos a la estimación del funcionamiento en campo se pierde si es hecha cualquier modificación al procedimiento estándar. Un ejemplo de tales modificaciones es preparar especímenes con materiales recalentados o remodelados.

#### GRANULOMETRÍA DE PROYECTO

Este es el primer paso preliminar antes de la preparación de los especímenes de prueba. Para el diseño de las mezclas, se estudiaron los materiales en forma separada y todos en general cumplieron con las normas especificadas por la S.C.T. (ver figuras 2.9 a 2.12); tomando en cuenta las características granulométricas de estos, y conociendo los requerimientos de las especificaciones de proyecto para todos los materiales propuestos (Ver capítulo 3.7), se hacen las combinaciones de agregados.

El diseño granulométrico teórico para la mezcla se hace con un 80 % de arena gruesa triturada (Muestra M-3) y un 20 % de grava de 3/4" triturada (Muestra M-1). Esta se aprecia en la figura 4.1.

#### DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÍNIMO DE ASFALTO

El porcentaje mínimo de asfalto se obtiene en forma objetiva, de manera analítica o por medio de pruebas. Objetivamente, el porcentaje mínimo de asfalto es aquel capaz de cubrir perfectamente todas las partículas de una muestra de material pétreo.

Para encontrar el porcentaje mínimo de cubrimiento total por medio de la fórmula, es necesario conocer la granulometría de los materiales pétreos, de acuerdo con lo cual se encontrará la superficie que se habrá de cubrir con el asfalto.

El procedimiento se aplica a materiales graduados con finos; en este caso, se usan constantes de área expresadas en metros cuadrados de superficie por kilogramo de material pétreo; así, el porcentaje de material que se retiene en las diferentes mallas se multiplica por la constante de área. A su vez, este producto se multiplica por el índice asfáltico correspondiente a las características del material, que es un contenido parcial de cemento asfáltico. Las constantes de área e índice asfáltico aparecen en las tablas correspondientes.

## Constantes de área

Material que se retiene		Constante de área m <sup>2</sup> /kg
Pasa malla	En malla	
38.1 mm (1 1/2")	19.05 mm (3/4")	0.27
19.05 mm (3/4")	Núm. 4	0.41
Número 4	Núm. 40	2.05
Número 40	Núm. 200	15.38
Número 200		53.33

## Índice asfáltico

Material	Índice asfáltico
Gravas a arenas de río o materiales redondeados, de baja absorción	0.0055
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción	0.0060
Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de absorción media	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción	0.0080

Como paso siguiente, de acuerdo al cap. 5.4 PROCEDIMIENTO EMPÍRICO DE LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÍNIMO DE ASFALTO” del libro de la S.C.T. elaboramos la tabla mostrada en la figura 4.1.

En esta tabla colocamos los valores correspondientes a cada columna; para la columna cuatro multiplicamos el porcentaje en peso retenido por la constante de área ( $2 \times 3$ ) y obtenemos la superficie parcial; para la columna seis multiplicamos la superficie parcial por el índice asfáltico ( $4 \times 5$ ) y obtenemos el contenido parcial de cemento asfáltico.

El porcentaje mínimo obtenido es de 4.8 % (Ver figura 4.1).

### DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO MARSHALL

En México está muy generalizado usar la prueba Marshall para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto; para ello se preparan los especímenes con los siguientes contenidos de asfalto: uno con 0.5% menos que el contenido mínimo de cubrimiento total, otro con este contenido y cuatro con contenidos mayores que 0.5% cada uno, a partir del porcentaje mínimo de asfalto.

Las pastillas Marshall se elaboraron con las siguientes características: 4.8% de Cemento Asfáltico Tipo AC-20 en estado sólido, haciendo variar el porcentaje de como se muestra en la columna (3) de la tabla 4.1.

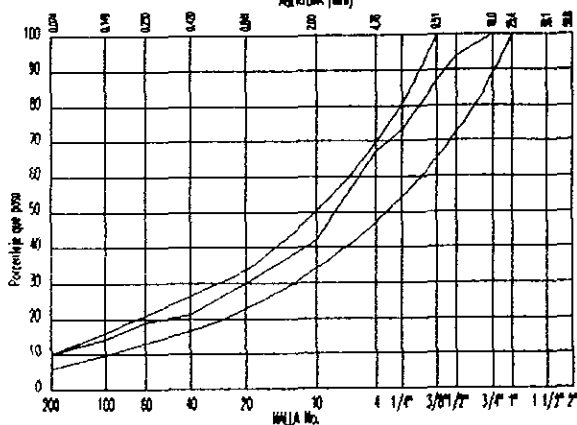
A estos porcentajes se les agrego el 25% mas por tratarse de un cemento sólido (tal como lo marca la norma), como puede apreciarse en la tabla 4.1.

Fig. 4.1

5.4 PROCEDIMIENTO EMPÍRICO DE LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE MÍNIMO DE ASFALTO

PROYECTO: Plataformas y Hongares.	MUESTRA No.: ---
LUGAR: B.A.M. No.1, Sta Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO: _____
<input type="checkbox"/> BANCO <input type="checkbox"/> PLANTA: ---	FECHA DE ENSAYE: _____
UBICACION: _____	
CLASIFICACION: Mezcla 80-20 de M-3 M-1 (Arena gruesa-Grava 3/4")	

GRANULOMETRIA TEORICA DE LA MEZCLA  
AGREGA (mm)



MALLAS	% QUE PASA
1"	100
3/4"	100
1/2"	94
3/8"	87
1/4"	73
No. 4	67
No. 10	42
No. 20	30
No. 40	21
No. 60	19
No. 100	14
No. 200	10

TAMANO DEL AGREGADO (1)	% EN PESO (2)	CONSTANTE DE AREA M <sup>2</sup> /kg (3)	SUPERFICIE PARCIAL m <sup>2</sup> /kg (4)	INCR. ASFALTICO kg/m <sup>2</sup> (5)	CONTENIDO PARCIAL DE ASFALTO kg asfalto/kg material (6)
3/4" a No. 4	33	0.41	0.1353	0.006	0.0008
No. 4 a No. 40	46	2.05	0.9430	0.006	0.0057
No. 40 a No. 200	11	15.38	1.6918	0.006	0.0102
Peso a 200.	10	53.30	5.3300	0.006	0.032
SUMATORIA					0.0488

PORCENTAJE MÍNIMO = 4.8 %

Tabla 4.1 Porcentaje de asfalto para la elaboración de las pastillas Marshall

Número de ensayo	Variación	% de Asfalto Sólido	% de Asfalto líquido
(1)	(2)	(3)	(4)
1.-	-1.0%	3.8 %	4.75 %
2.-	Calculado	4.8 %	6.0 %
3.-	+ 0.5 %	5.3 %	6.62 %
4.-	+ 1.0 %	5.8 %	7.75 %
5.-	+ 1.5 %	6.3 %	7.87 %
6.-	+ 2.0 %	6.8 %	8.50 %

Cada material empleado en las pastillas Marshall tiene el siguiente peso volumétrico. Las propiedades de la mezcla de los materiales pétreos se encuentran en la figura 4.2.

Peso específico de la arena en gréfa	1558 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de la grava 3/4"	1753 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del cemento	1030 kg/m <sup>3</sup>

Por cada contenido de asfalto se elaboraron 3 especímenes de la siguiente manera:

Los especímenes se elaboran en un molde metálico de 10 cm de diámetro y con una cantidad de material que, una vez compacto, tenga una altura de 6.4 cm  $\pm$  0.32 cm. El material se compacta a una temperatura de 100° C por medio de una placa que cubre toda la superficie del material y que recibe los impactos de un martillo de 4.5 kg. (10 lb), el cual se deja caer desde una altura de 46 cm. El molde se golpea 75 veces por la parte superior y luego se voltea para darle otros 75 golpes por el otro lado; de cada espécimen se calcula el peso volumétrico, relación de vacíos, y del agregado mineral (V.A.M.).

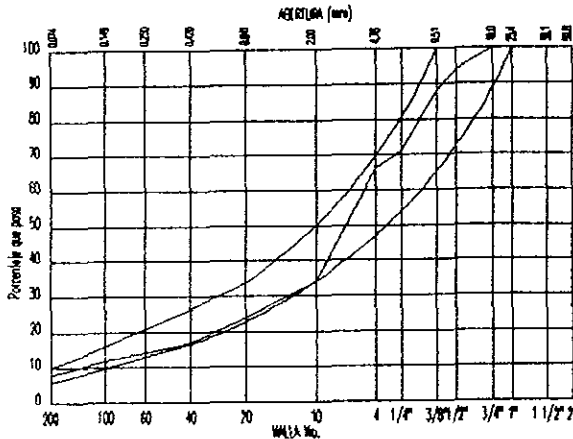
Fig. 4.2

INFORME DE ENSAYE DE MATERIAL PETREO  
PARA MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: <u>Platamaras y Hangares.</u>	MUESTRA No.: <u>M-5</u>
LUGAR: <u>B.A.M. No.1, Sta Lucia, Ldo. Mex.</u>	FECHA DE MUESTREO: _____
<input checked="" type="checkbox"/> BANCO <input type="checkbox"/> PLANTA: <u>Xometla.</u>	FECHA DE ENSAYE: _____
UBICACION: _____	
CLASIFICACION: <u>80-20 de M-3 M-1, Arena gruesa-Grava 3/4"</u>	

EN CALIENTE

MALLAS	% QUE PASA
1"	100
3/4"	100
1/2"	94
3/8"	88
1/4"	71
No. 4	66
No. 10	54
No. 20	24
No. 40	17
No. 60	14
No. 100	12
No. 200	8



CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

		ESPECIFICACIONES
Peso Vol. Suelta kg/m <sup>3</sup>	1747	
Peso Vol. Ventilado kg/m <sup>3</sup>	1889	
Absorcion %	1.46	
Densidad (<1/4"), (>1/4")	2.97 2.65	
Desgaste de los Angeles %	12.20	40 % Max.
Intemperismo Acelerado %	1.21	12 % Max.
% de Intusacion	100	
Part. Alargadas %	24.39	35 % Max.
Part. Lajeadas %	8.52	35 % Max.
Equiv. de Arena %	84.80	55 % Min.
Contraccion Lineal %	1.7	2 % Max.

Después los especímenes se llevan a la ruptura a una temperatura de 60° C por medio de la compresión lateral confinada en forma parcial. Para ello, se coloca el espécimen entre dos mordazas que lo cubren lateralmente pero se deja un espacio y se le da carga hasta la ruptura.

De cada espécimen se reporta la carga máxima denominada estabilidad y la deformación al momento de la ruptura; o sea el flujo, el cual se mide por medio de un extensómetro que se coloca sobre las mordazas.

Con los datos obtenidos se dibujan cinco gráficas; el porcentaje de asfalto se coloca en las abscisas y el peso volumétrico, la relación de vacíos, el V.A.M., la carga de ruptura o estabilidad y el flujo en mm, en las ordenadas.

Con las gráficas se encuentra el contenido óptimo de asfalto (cemento asfáltico) de la manera siguiente:

- Se define el contenido para el peso volumétrico máximo.
- Se calcula el contenido para la estabilidad máxima.
- Se analiza el contenido para el flujo de 4.5 mm.
- Se busca el contenido para la relación de vacíos de 5.5 %.

El porcentaje óptimo de asfalto es el promedio de los cuatro contenidos anteriores y por ello se localizan en las gráficas el peso volumétrico denominado de proyecto, la estabilidad, la relación de vacíos y el flujo correspondiente. Estos valores deben satisfacer los valores de las normas mostradas en el capítulo 3.7, donde se dan las especificaciones para la elaboración de pastillas Marshall. En la figura 4.3 se muestran las gráficas obtenidas para esta prueba.



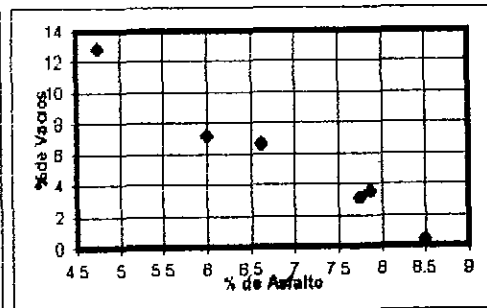
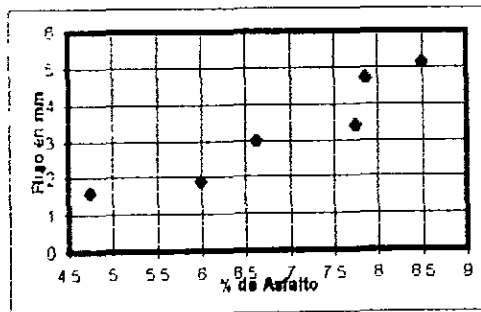
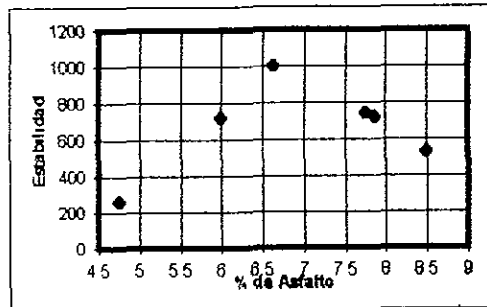
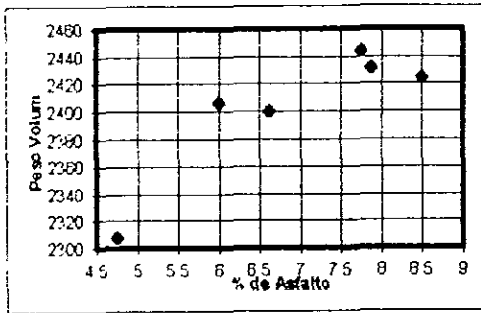
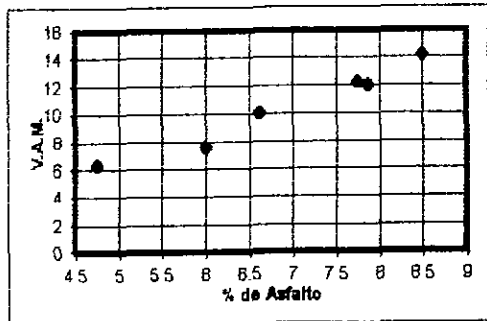
**FIGURA 4.3 ANALISIS MARSHALL DE ESTUDIO DE MEZCLA ASFALTICA**

PROYECTO: Plataformas y Hangares

LUGAR: B A M No 1, Sta Lucia, Edo de Mexico

TABLA DE RESULTADOS

		ESPECIFIC
Peso Volumetrico (kg/m <sup>3</sup> )	2430	
Porcentaje de Vacios (%)	4.8	3 a 5
V.A.M. (%)	10.8	14 min
Estabilidad (kg)	1000	700 min
Flujo (mm)	3.8	2 a 4
% Optimo de Asfalto.	7.3	



RESULTADOS

A partir de este análisis se encuentra el valor de 7.3 % de asfalto como el óptimo para la mezcla de diseño. Estos resultados se confirmaron aplicándolos a un ensaye mostrado en la figura 4.4 en donde resumen las características de este último.

Los resultados generales obtenidos de la Prueba Marshall expresados como porcentaje en peso de los materiales pétreos los transformamos en porcentaje en peso como se ve en la tabla siguiente:

Material	Por ciento en peso	Por ciento en peso de la mezcla
Arena gruesa en greña	80%	74.14%
Grava triturada 3/4"	20%	18.54%
Cemento asfáltico AC-20	7.32%	7.32%
		100%

A partir de lo anterior, se reportan los proporcionamientos para elaborar una tonelada de mezcla asfáltica en peso y en volumen, los cuales se muestran a continuación.

Proporcionamiento de materiales en peso:

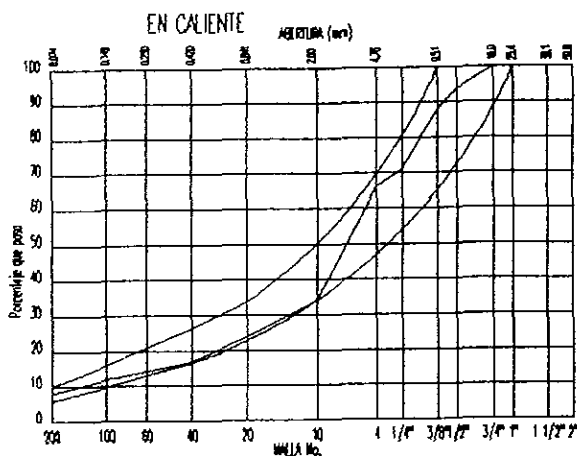
Arena gruesa en greña	741.4 kg.
Grava 3/4"	185.4 kg.
Cemento asfáltico	73.2 kg.
Total	1000 kg.

Fig. 4.4

INFORME DE ENSAYE A MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: Plataformas y Hangares.	MUESTRA No.:
LUGAR: B.A.M. No.1, Sta Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO:
en BANCO <input type="checkbox"/> PLANTA: Xometla	FECHA DE ENSAYE:
UBICACION:	
CLASIFICACION: Mezcla 80-20 de M-3 W-1 (Arena gruesa-Grava 3/4")	

MALLAS	% QUE PASA
1"	100
3/4"	100
1 7/8"	94
3/8"	88
1/4"	71
No. 4	66
No. 10	34
No. 20	24
No. 40	17
No. 60	14
No. 100	12
No. 200	8



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

		ESPECIFICACIONES
Contenido de Asfalto.	7.32	
Tipo de Asfalto.	AC 20	AC 20

Peso Volum. kg/m <sup>3</sup>	2430	2430
Estabilidad.	1000	700 min.
Flujo.	3.6	2 o 4
Porcentaje de Vocios.	4.8	3 o 5
Porcentaje de V.A.M.	10.8	14 min

Proporcionamiento de materiales en volumen:

Arena gruesa en gréfa	475.8 lts	0.4758 m <sup>3</sup>
Grava 3/4"	105.76 lts	0.10576 m <sup>3</sup>
Cemento asfáltico	71.06 lts	0.07106 m <sup>3</sup>
Total	652.62 lts	0.65262 m <sup>3</sup>

#### ***IV.2 Diseño de la mezcla asfáltica tipo open graded***

Para el diseño de las mezclas, se estudiaron los materiales en forma separada y todos en general cumplieron con las normas especificadas por la S.C.T. (ver figuras 2.9 a 2.12); tomando en cuenta las características granulométricas de estos, se hace el diseño de la mezcla con un 85 % de grava de sello triturada (Muestra M-2) y un 15 % Arena fina producto de trituración (Muestra M-4).

El diseño de las carpetas de graduación abierta se lleva a cabo mediante un proceso de aproximaciones sucesivas, en el que se realizan pruebas de laboratorio en forma estructurada, haciendo variantes de composiciones granulométricas y contenidos de cemento asfáltico, hasta lograr que la mezcla cumpla con los requisitos de Estabilidad, flujo y vacíos.

El proceso tiene como finalidad determinar la granulometría de los agregados y el contenido óptimo de cemento asfáltico con los que se optimizan las propiedades de la mezcla asfáltica.

El contenido óptimo tentativo de cemento asfáltico se obtiene por el procedimiento de absorción de queroseno (EKC), para cada una de las variantes de composición granulométricas elegidas.

Cada material empleado en las pastillas Marshall tiene el siguiente peso volumétrico.

Peso específico de la arena	1753 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de la grava	1446 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del cemento	1030 kg/m <sup>3</sup>

En la figura 4.5 se muestran las gráficas obtenidas en la prueba Marshall para la mezcla asfáltica de graduación abierta.

## RESULTADOS

A partir de este análisis se encuentra el valor de 4 % de asfalto como el óptimo para la mezcla de diseño. Estos resultados se confirmaron aplicándolos a un ensaye mostrado en la figura 4.6 en donde resumen las características de este último.

Los resultados generales obtenidos de la Prueba Marshall expresados como porcentaje en peso de los materiales pétreos los transformamos en porcentaje en peso como se ve en la tabla siguiente:

Material	Por ciento en peso	Por ciento en peso de la mezcla
Arena	85%	81.70%
Grava de sello	15%	14.30%
Cemento asfáltico AC-20	4.00%	4.00%
		100%

**FIGURA 4.5 DISEÑO MARSHALL DE MEZCLA ASFALTICA DE GRADUACION ABIERTA (OPEN GRADED)**

PROYECTO: Plataformas y Hangares

LUGAR: B A M No 1, Sta Lucia, Edo de Mexico

**TABLA DE RESULTADOS**

		ESPECIFIC
Peso Volumetrico (kg/m <sup>3</sup> )	2700	
Porcentaje de Vacios (%)	10.5	6 a 15
V.A.M. (%)	21	20 min.
Estabilidad (kg)	587	500 min.
Flujo (mm)	2.6	2.5 a 4.0
% Optimo de Asfalto	4.0	

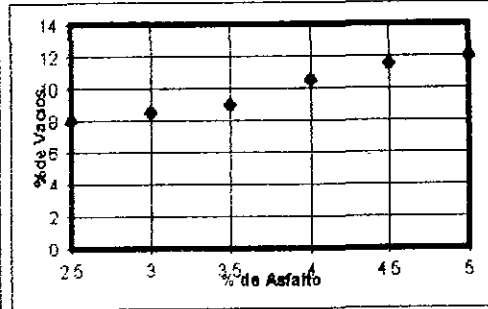
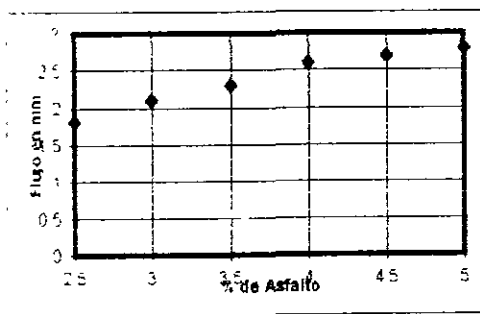
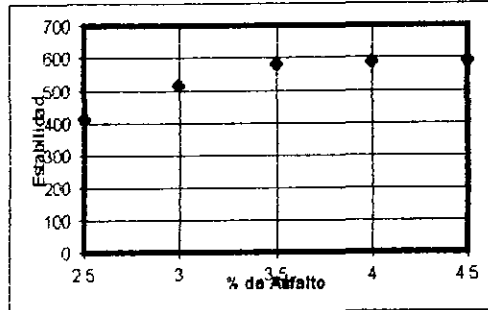
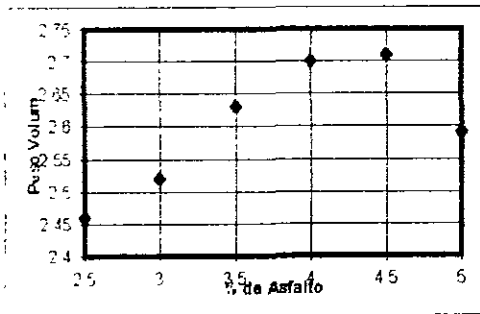
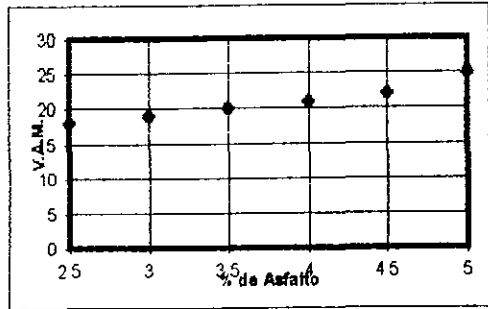
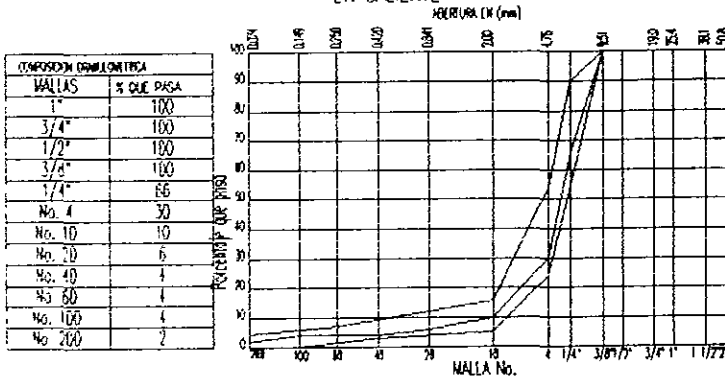


Fig. 4.6

INFORME DE ENSAYE A MEZCLA ASFALTICA  
TIPO OPEN GRADED

PROYECTO: Plataformas y Hangares.	MUESTRA No.:
LUGAR: B.A.M. No.1, Sta Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO:
ESTRANCO: PLATEA Tarmello	FECHA DE ENSAYE:
UBICACION:	
CLASIFICACION: Mezcla 85-15 de W-4 W-2 (Arenas fino-Seda)	

EN CALIENTE



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

		ESPECIFICACIONES
Contenido de Astillo	4.0	
Peso Volum. kg/m <sup>3</sup>	2700	
Estabilidad	587	500 min.
Flujo	2.6	2.5 a 4.0
Porcentaje de Vacios	10.5	6 a 15
Porcentaje de V.A.M.	21.0	20 min.

CARACTERISTICAS DEL ASFALTO

TIPO	AC 20
PENETRACION 25 C (0.1 mm)	61
VISCOSIDAD S FLUJO 135 C (seg)	225
TEMPERATURA DE INFLAMACION (C)	310
TEMPERATURA DE COMPACTACION (C)	110 A 120

A partir de lo anterior, se reportan los proporcionamientos para elaborar una tonelada de mezcla asfáltica tipo Open Graded en peso y en volumen, los cuales se muestran a continuación.

Proporcionamiento de materiales en peso.

Arena	817 kg.
Grava de sello	143 kg.
Cemento asfáltico	40 kg.
Total	1000 kg.

Proporcionamiento de materiales en volumen.

Arena	466 lts	0.466 m <sup>3</sup>
Grava de sello	98.8 lts	0.0988 m <sup>3</sup>
Cemento asfáltico	38.8 lts	0.0388 m <sup>3</sup>
Total	603.6 lts	0.6036 m <sup>3</sup>



## **CAPITULO V.**

*PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.*

## CAPITULO V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Como se mencionó anteriormente, las obras a realizarse en pistas, plataformas y calles de rodaje las podemos agrupar en tres grupos (Ver figura 1.2):

- a) Base hidráulica con carpeta y sello premezclado
- b) Base y carpeta asfáltica con sello premezclado
- c) Riego de taponamiento y sello premezclado

Cada una de estos grupos se compone de varias etapas como sigue:

a) Abrir caja para la construcción de las capas Subrasante, Sub-base, y Base hidráulica, riego de impregnación, riego de liga, carpeta asfáltica, riego de liga y sello premezclado. Esto lo podemos apreciar en la figura 5.1 (a).

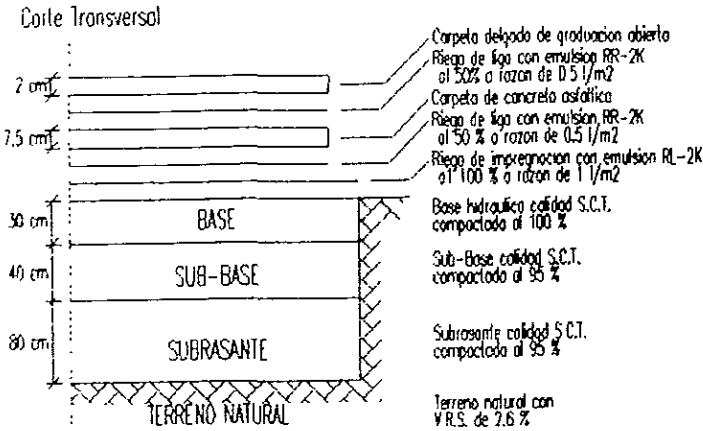
b) Reciclado en frío de carpeta y base existente y construcción de la base negra, riego de impregnación, riego de liga, carpeta asfáltica, riego de liga y sello premezclado. Esto lo podemos apreciar en la figura 5.1 (b).

c) Perfilado en frío de la carpeta asfáltica y aplicación de riego de taponamiento, riego de liga y sello premezclado. Esto lo podemos apreciar en la figura 5.1 (c).

Como podemos apreciar algunas actividades se repiten en todos los procedimientos, por lo que decidí tratar cada actividad por separado, con lo que al final se abarca lo referente a los tres grupos.

FIGURA 5.1 SECCION DE PAVIMENTOS EMPLEADOS

a) SECCION EMPLEADA EN PLATAFORMA DE MANTENIMIENTO



b) SECCION EMPLEADA EN PLATAFORMA DE HANGARES

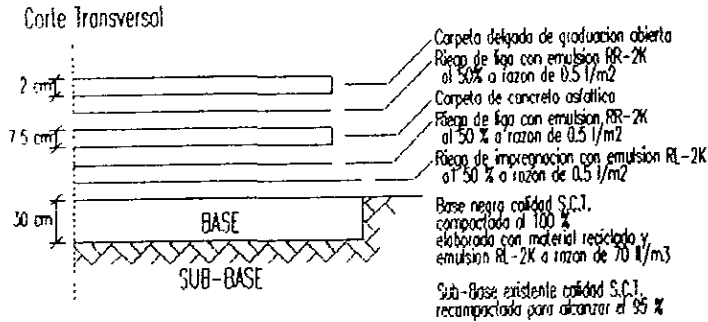
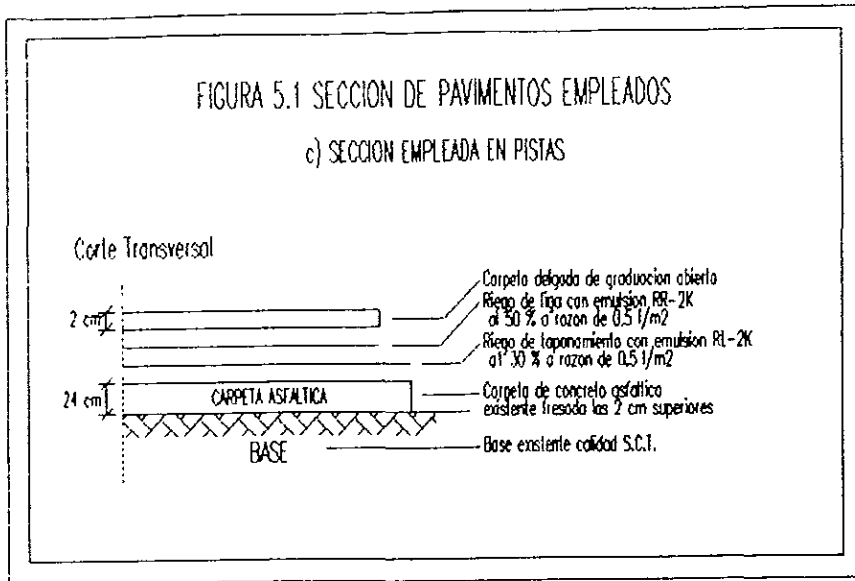


FIGURA 5.1 SECCION DE PAVIMENTOS EMPLEADOS

c) SECCION EMPLEADA EN PISTAS



### V.1 Capa de mejoramiento.

Se comenzó abriendo caja para alojar el espesor del pavimento, considerando la capa de subrasante, y aunque en proyecto se tenía un espesor total de 1.35 m llevo hasta la profundidad de 1.50 m.

La capa de subrasante con un espesor de 80 cm, se construyo con escoria volcánica (Tezontle), en capas de 20 cm hasta alcanzar los niveles de proyecto de las capas superiores. En las franjas de avance de 20 a 30 m con 90 m de largo, se colocaba el material a volteo en marcas de cal separadas de manera que se colocara el material necesario para lograr el espesor requerido. Los niveles de proyecto se colocaban en el perímetro del tramo, a cada 20 metros.

El material fue explotado en "greña" y trasladado así directamente de banco siendo seleccionado en obra retirándose los fragmentos de roca de mayor tamaño a lo especificado en proyecto con ayuda de una cuadrilla que cargaba la cuchara de un traxcavo que recorría el material que era extendido por la motoconformadora. Posteriormente se agrega agua con pasadas continuas de la pipa y se compacta con 4 pasadas consecutivas con rodillos vibratorios hasta lograr su óptimo acomodo, cuidando que no se degrade el material.

### **V.2 Sub-base**

Las capa de sub-base, se construyó con materiales procedentes del banco "El Chivito", con material denominado "grava controlada" que se preparó en campo con escoria volcánica (Tezontle fino), mezclado con limo arenoso (Tepetate) en proporción de 50%-50%, cumpliendo con la calidad que marca la especificación de la S.C.T. Su explotación y transporte se realizó en greña directamente de banco y se colocaron los viajes de acuerdo a marcas de cal espaciadas en toda el área dependiendo del espesor de la capa que se requiera, cuidando de que en cada franja se encuentre equitativamente distribuidos los materiales, es decir, que no se encuentren de un solo lado todo el tepetate y del otro todo el tezontle, sino uno y uno.

Las capa de sub-base se construyo en dos capas de 20 cm para alcanzar el espesor de proyecto. Se extiende el material y se procede a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos de un lado a otro para alcanzar homogeneidad en granulometría y humedad. A continuación se extiende el material y se compacta con una o dos pasadas de rodillo vibratorio para que se coloquen los niveles de proyecto, después se afina y compacta hasta alcanzar el 95 % de la prueba Porter. Se darán riegos superficiales durante el tiempo que dure la compactación, únicamente para compensar la humedad perdida por evaporación. La compactación se logro con rodillos vibratorios que proporcionan un impacto de 21 Ton.

### **V.3 Base estabilizada con cal**

Las capa de base, se construyo con materiales procedentes del banco "El Chivito", con material denominado "grava controlada" que se preparó en campo con escoria volcánica (Tezontle fino), mezclado con limo arenoso (Tepetate) que en proporción de 60-40 cumple con la calidad que marca la especificación de la SCT.

Se estudio el banco y la parte fina compuesta por el tepetate presenta plasticidad, razón por la cual se agrego a la mezcla cal hidratada en proporción de 15 kg. de cal por metro cúbico de mezcla, o sea 1.5% de cal para que cumpla su calidad respectiva. Durante la construcción se la base, se decidió que solo la ultima capa de se estabilizara con cal.

Para el proceso de estabilización se procedió de la siguiente manera: se coloca la cantidad de cal estipulada en este caso distribuyendo costales de cal uniformemente sobre el tramo; con ayuda peones y un camión de volteo, teniendo cuidado de no romperlos. Se rompen los costales y se distribuye utilizando una motoconformadora para homogeneizar la mezcla mediante mezclados sucesivos.

Al suelo resultante de la estabilización se le aplica una ligera compactación, se dejo reposar 48 horas para que pierda plasticidad y favoreciendo así la uniformidad de la mezcla; una vez transcurrido el tiempo, se colocan los niveles y se afina el tramo para el inicio de su proceso de compactación.

Este proceso se realizo en franjas de 10.0 m, compactándose hasta alcanzar el 100 % de compactación con respecto a su peso volumétrico seco máximo (PVSM Porter) con el espesor y sección de proyecto

#### **V.4 Base asfáltica**

*Recuperación del asfalto.* La utilización de máquinas perfiladoras en frío fue básica para esta operación; en años recientes, los fabricantes de equipos han manufacturado máquinas rebajadoras de pavimentos que tienen capacidad de pulverizar y rebajar los pavimentos a espesores previamente determinados. Tales máquinas están equipadas con tambores rotatorios que tienen dientes cortadores especiales que pulverizan el material, lo mezclan, y lo dejan extendido a su paso. Con esta máquina se levanta la carpeta y la base hasta una profundidad promedio de 25 cm.

*Tramo de avance.* Para esto se colocan de manera preliminar niveles y así definimos el tramo de avance, en longitud, ancho y espesor. El primer paso es colocar un eje de referencia para definir el límite de la zona de trabajo; en la plataforma se colocaron estacas con el kilometraje a cada 20 m y fichas a 1 m como referencias. Para comenzar la estabilización de los materiales, en el caso de la calle de rodaje, se localizó su centro y se colocaron referencias a 25 m, una mas a unos 200 m en un punto seguro para conocer el ángulo de deflexión y trazar el eje y tomarlo como punto de partida. La nivelación preliminar en ambos casos requirió la colocación de niveles en franjas de 10 m de ancho a cada 20 m, con 3 cm arriba del nivel de proyecto para compensar el abundamiento del material reciclado y los desperdicios en el momento de la revoltura. Como paso siguiente se enrasa con motoconformadora y se deja listo para la adición de la emulsión asfáltica.

*Estabilización.* El porcentaje de asfalto, así como el tipo de emulsión a utilizar se definió con anterioridad en laboratorio; se mezcla con el material en el tramo, realizando para esto un pequeño calculo. La emulsión utilizada fue una emulsión catiónica de rompimiento lento LR-2K, en proporción de 70 lts/m<sup>3</sup>. La cantidad de emulsión que se le agregará depende del volumen de material por la cantidad de emulsión por metro cuadrado.

Antes de comenzar la estabilización, debemos preparar la emulsión, que consiste en calentarla de manera que su temperatura se encuentre entre 40 y 60°C de manera que baje su viscosidad y evitar que se tapen las espreas de la petrolizadora.

Además es necesario mojar el material reciclado, de manera que el agua proporcione una mejor distribución y mezcla de la emulsión y nos de una manejabilidad adecuada.

La incorporación de la emulsión se realiza con ayuda de las petrolizadoras donde es expulsada por medio de las espreas sobre toda la superficie tratando de que sea uniforme la cantidad de emulsión aplicada. Como paso siguiente, se utiliza la mezcladora que revuelve la emulsión con el material. Como precauciones debe vigilarse que no se acumule la emulsión en una sola parte por acción de la pendiente y evitar que esta se derrame fuera del tramo de avance; además debe observarse el color del material que sale detrás de la mezcladora y observar si requiere más adición de agua de ser necesario.

*Mezclado y armado del tramo.* En esta parte se reúne el material ya estabilizado en un camellón lateral de manera que se descubre en una franja de aproximadamente 5 m (o sea la mitad del tramo) la sub-base o material no estabilizado, se enrasa con la motoconformadora de manera que quede una superficie lisa, se agrega agua al material (1 riego casi siempre) para recomprimirlo con un rodillo liso vibratorio de manera que el rodillo al terminar una franja y comenzar la siguiente pase de nuevo sobre la mitad de la anterior huella que dejó la compactación. Después se desplaza el material al extremo ya recomprimado descubriéndose el faltante y repitiendo la operación. Durante este proceso y mientras permanece acordonado el material se humedece de manera que se encuentre cerca de la humedad óptima recomendada.

A continuación se realiza el "armado" de la sección que puede ser en una o varias capas dependiendo espesor; si es mayor de 15 cm se divide en varias secciones de aproximadamente



esta medida. En nuestro caso como se trata de una sección de 30 cm se tiende en 2 capas de 15 cm aproximadamente. Se tiende la primera capa como se hizo anteriormente primero una mitad y luego la otra, se compacta con 2 pasadas del rodillo y después se tiende la última capa con el material sobrante y se vuelve a compactar con 1 pasada del rodillo. El material se deja listo para colocar los niveles definitivos de la base terminada.

La nivelación del tramo se realiza colocando una cuadrícula, cuya separación puede variar, de manera que no queden muy separados a lo ancho más de  $1 \frac{1}{2}$  veces el ancho de la cuchilla de la motoconformadora; en el sentido de avance pueden colocarse más separados dependiendo de los cambios de pendiente en este sentido. Cabe decir que entre más cerca se encuentren mayor es la exactitud del acabado. En el caso de la plataforma donde el ancho de avance es de 10 m se colocaron trompos dispuestos en franjas de 5 m de ancho por 10 m de largo. En la calle de rodaje donde el avance era de 13.70 m se colocaron en franjas de 4.56 m de ancho y 10 m de largo. Con ayuda de un nivel se les da la altura que le corresponde de acuerdo al proyecto, agregando 2 cm arriba para compensar la compactación que sufre el material.

*Afinado y poreado.* El proceso de afine depende del nivel al que quedaron los trompos, es decir, si quedaron altos (por encima del nivel de piso) es necesario escarificar la zona y acarrear material para compensar y si quedan bajos (por debajo del nivel del piso) simplemente se recorta. De aquí que es preferible que se encuentren bajos ya que se corren menos riesgos de ser movidos o arrancados con la motoconformadora. La motoconformadora acomoda el material con el nivel señalado con los trompos y después tapa los baches más pequeños con material más fino, dejándolo listo para la compactación final.

*Compactación.* Para alcanzar el grado de compactación de proyecto, se necesitaron en promedio 6 pasadas completas, esto es, avanzando medio rodillo sobre la pasada anterior con rodillo liso vibratorio. Aquí en esta parte es muy importante la experiencia del ingeniero de

campo ya que puede decidir acerca de cuando se encarpeta el material, cuando se corre y cuando ya tiene suficiente compactación un material.

Como paso ya posterior, se le da periódicamente un riego al tramo terminado para compensar la humedad que pierde el suelo por el calor y que puede provocar agrietamientos en su superficie.

### ***V.5 Riego de impregnación.***

Los riegos de impregnación se efectúan sobre bases o capas granulares no tratadas previamente. Se intenta conseguir una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, sin polvo ni partículas sueltas, para extender las capas asfálticas superiores. Se utilizan asfaltos de poca viscosidad y que, además, esta característica se mantenga durante cierto tiempo, para que pueda penetrar ligeramente por capilaridad.

Para comenzar se debe limpiar el área a impregnar. Debido a la disponibilidad de equipo y personal, en ocasiones se barría la superficie de la base con cuadrillas equipadas con cepillos de raiz y escobas, mientras que en otras ocasiones se emplearon barredoras mecánicas remolcadas por Jeep o tractor. El propósito del barrido es abrir un poco la textura y eliminar el polvo antes de aplicar el riego de impregnación. En ocasiones se procedió a humedecer la superficie a impregnar con un riego ligero de agua para darle una pasada con rodillo liso y así eliminar el material suelto. Si se encontraban materias extrañas en la superficie se retiraban a mano. Después del barrido del tramo, se procede entonces al riego de impregnación, utilizando cisternas regadoras colocadas sobre un camión, también llamadas petrolizadoras.

El riego de impregnación en la base asfáltica consistió en una capa uniforme de emulsión catiónica de rompimiento lento LR-2K rebajada al 50% con agua a razón de 0.5 lts/m<sup>2</sup> aplicada

a una temperatura entre 40 y 60°C. En el caso de la base de materiales graduados se aplicó la misma emulsión sin diluir a razón de 1 a 1.2 lt/m<sup>2</sup>. Como puede observarse, es mayor la absorción en la base de materiales graduados que en la base asfáltica. Este riego se deja reposar un mínimo de 48 horas para que penetre en la base en más de 3 mm.

Las zonas impregnadas se protegen del tránsito local para evitar que se desprenda la película de emulsión. La dosificación del riego de impregnación en la base negra varió debido a la estabilización que conformo una textura muy cerrada y dificultaban la penetración, por lo que en los primeros tramos se empezó de 0.8 lt / m<sup>2</sup> y ya que se noto que el material se encharcaba y no penetraba fácilmente se disminuyó la dosificación hasta llegar a la definitiva de 0.5 lts/m<sup>2</sup>.

El riego de impregnación adquiere gran importancia en tiempo de lluvias, ya que protege la base terminada y evita la formación de "baches".

## **V.6 Riego de liga**

El riego de liga consiste en la aplicación de una película lo más fina posible de ligante asfáltico sobre una superficie asfáltica o impermeable, para conseguir una buena unión con la capa asfáltica que se va a poner inmediatamente, sobre la citada superficie.

Al igual que para el riego de impregnación, se procede a la limpieza antes de aplicar el riego de liga. Este proceso no varió tanto como en la impregnación, porque como se realiza antes de la colocación de la carpeta y se vuelve más sistemático, además de que se cuenta con el personal necesario para barrer la superficie con cepillos de raíz y/o barredoras mecánicas remolcadas por Jeep o tractor. El propósito de el barrido es el de eliminar el polvo y demás materias extrañas que se encuentren en la superficie a tratar ya impregnada.

Para la aplicación del riego de liga se utiliza el mismo tipo de maquinaria para el riego de impregnación. Se procede entonces al riego de liga, que consiste en la aplicación de una capa de emulsión catiónica de rompimiento rápido RR-2K a razón de 0.5 lts/m<sup>2</sup> rebajada al 50 % con agua y se aplica a una temperatura entre 40 y 60°C. El riego de impregnación se realiza en tramos cortos, cubriendo lo que se espera encarpetar en ese día, ya que no puede durar de un día a otro.

### ***V.7 Riego de taponamiento***

Cuando la carpeta asfáltica está por finalizar su vida útil (aproximadamente 4 años) o en algunos casos antes, empieza a presentar un tipo de falla que es ocasionado por el intemperismo al que están sujetas todas las mezclas asfálticas y esta falla es la oxidación del asfalto, que ocasiona entre otras cosas que el material fino superficial se desmorone y se pierda. Cuando un pavimento empieza a tener problemas por oxidación del asfalto, es conveniente aplicar un riego de taponamiento que consiste en agregar asfalto a la superficie, para que recupere sus propiedades el asfalto oxidado conjuntamente con el de la nueva aplicación. Con este riego se consigue devolver, en cierto grado, las propiedades aglutinantes del asfalto y así evitar un mayor degradamiento de las partículas superficiales del agregado. La aplicación de estos riegos se realiza con máquinas petrolizadoras utilizando los mismos procesos descritos para los riegos de liga e impregnación.

En este caso, la limpieza de la superficie fue totalmente mecánica. En primer lugar, la superficie se encuentra llena de grandes cantidades de polvo provenientes del perfilado de la carpeta, por lo que se comenzaba barriendo la superficie empleando la barredora mecánica remolcada con Jeep o tractor, en forma de elipses concéntricas, juntando un camellón de material el cual se orilla o se recoge manualmente. Se vuelve a barrer con el equipo mecánico y

se retira el material más fino con la ayuda de la barredora de chiflón de aire. El barrido elimina el polvo antes de aplicar el riego de taponamiento.

Se procede entonces al riego de taponamiento, que consistió en aplicar una capa de emulsión catiónica de rompimiento lento LR-2K rebajada con 70 % de agua y aplicada razón de 0.5 lta/m<sup>2</sup> a una temperatura de 40 - 60°C. El riego se deja reposar un mínimo de 48 horas para que penetre en la carpeta, selle las pequeñas fisuras e impermeabilice la superficie de la carpeta ya existente.

### **V.8 Carpeta asfáltica**

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

El tipo de carpeta aplicado en este caso es de concreto asfáltico elaborado en planta. Como la base cuenta con su propia planta de asfalto dentro de sus instalaciones, facilita en mucho la elaboración y puesta en obra de la carpeta y sello premezclado. La Planta a que nos referimos es de tipo Semiportatil modelo DM-50 marca Barber Green.

#### **V.8.1 Antecedentes**

Antes de comenzar la producción de mezclas asfálticas tenemos que contar con reservas suficientes de material, las cuales se consideran a continuación.

*Producto asfáltico.* En el ligante no suele haber problema, pues todo es cuestión de disponer del número de tanques adecuado a la capacidad de la planta. En general la capacidad debe estar comprendida entre el consumo de dos jornadas de trabajo y una semana. Esto también depende de la proximidad al centro aprovisionador y el consumo, pues el pequeño consumidor tiene que temer más a las irregularidades del suministro que el grande pues siempre es más fácil atender con regularidad un consumo de 40 o 100 toneladas diarias que un consumidor de 8 a 10 que no tiene un ciclo regular.

En esta ocasión el ligante se almacena en 3 tanques conectados en serie y que alimentan a la planta, cada uno con una capacidad de 38,000 lts. En caso de ser necesario es posible improvisar un tanque enterrado con una capacidad de 52,000 lts. El consumo diario es del orden de 45000 lts, por lo que se considera adecuado a la capacidad de la planta.

*Materiales pétreos.* Un volumen de acopio razonable está entre el consumo de una semana y un mes. El límite inferior recomendable es de una semana, pues en ella se puede preparar una nueva fórmula de trabajo en el caso de que un cambio en el aprovisionamiento de por resultado el que con nuevos pétreos no se pueda cumplir con la fórmula de trabajo antigua, cosa bastante más frecuente de lo que pudiera parecer. Volúmenes menores de acopio solamente son admisibles si la cantera es muy regular en cuanto a la calidad y a la granulometría del árido producido o está muy próxima. En este caso, se tiene suficiente espacio y se tiene bastante material de reserva, aproximadamente para 15 días

*Diesel.* El volumen de acopio razonable está entre el consumo de un mes y de una semana, aunque se cree que cuando la reserva desciende por debajo del consumo de quince días hay que empezar a preocuparse, pues permite absorber las posibles irregularidades en el ritmo del suministro. En este caso se cuenta con un tanque cisterna con capacidad de 28,000 lts.

## V.8.2 Fabricación

La fabricación comprende tres fases perfectamente definidas que son: dosificación en frío, secado hasta alcanzar la temperatura conveniente, y mezclado.

*Maquinaria.* Planta continua y planta discontinua. La diferencia esencial entre ambas es que en la primera los materiales pétreos y el ligante son suministrados continuamente al mezclador, del cual sale también continuamente hacia la tolva de carga. En la planta discontinua los pétreos y el ligante se entregan en una masa determinada, no suministrándose a la mezcladora nuevo material hasta que no está vacío. En este caso la planta es de tipo continuo y por lo cual nos enfocaremos a este tipo de planta.

### *Fabricación en planta continua.*

En la figura 5.2 tenemos el esquema de una planta continua. Vemos que la dosificación en frío se hace por medio de unas tolvas que contienen diferentes tipos de materiales pétreos, uno grava de sello de 1/4", otra con grava de 3/4", otra con grava arena o arena gruesa y otro con arena fina. Estas se llenan constantemente con una pala cargadora desde el acopio (John Deer 544G con un cucharón de 2m<sup>3</sup> de capacidad). Estas tolvas están equipadas con bandas alimentadoras de precisión que controlan la cantidad de cada agregado. Con base a un análisis granulométrico del agregado en cada tolva, el operador puede calibrar el sistema de alimentación para determinar la velocidad de la banda y las aberturas de compuerta apropiadas que produzcan la mezcla deseada de agregado.

Estas planas tienen un sistema continuo para pesar en las bandas sin fin de alimentación en frío. Como el agregado que se alimenta a la mezcladora no está seco, es necesario medir con precisión el contenido de humedad y determinar el peso del agregado seco para asegurar la cantidad de asfalto enviada a la mezcladora sea apropiada para la cantidad de agregado seco.

Figura 5.2. Planta asfáltica de mezclado continuo.

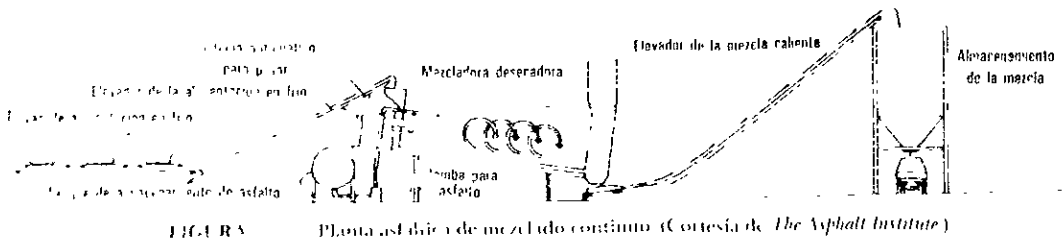


FIGURA 5.2. Planta asfáltica de mezclado continuo (Cortesía de The Asphalt Institute)

La banda sin fin de alimentación en frío alimenta de agregado al secador-mezclador, donde se seca y calienta. Este es un cilindro de acero con el eje ligeramente inclinado en el sentido de avance de los pétreos y que tiene una zona con aletas interiores las cuales sirven para remover y hacer caer los pétreos. Sus dimensiones normalmente son de 1.5 hasta 4.0 metros de diámetro y longitudes de 5 a 9 metros, y su inclinación de 10 a 5 grados en sentido contrario al de los pétreos, habiendo modelos en los que la inclinación puede variar. Por el extremo de la entrada, es decir el más alto, se aplica una llama que es la destinada a producir la elevación de la temperatura. Esta llama normalmente es producida por un quemador de diesel, aunque en las plantas fijas puede ser un quemador de gas.

Escalones especialmente diseñados fijos en el interior de la mezcladora recogen los agregados y los lanzan en un vuelo uniforme a través de la flama del quemador. Se agrega asfalto líquido en la parte inferior de la mezcladora, el cual se mezcla completamente con los agregados.

Con el calentamiento de los agregados pétreos el polvo que entra mezclado con estos y que ensucia la cara de los gruesos es conducido a los decantadores de polvo. Por medio de una turbina se separan por una parte, los gases producto de la combustión y el polvo fino de los agregados y por otra el concreto asfáltico ya listo es elevado con un elevador de cangilones hasta el silo donde es almacenado.



El aire que sale de los ciclones todavía puede contener polvo y cuando la planta está situada en zonas urbanas donde no se puede lanzar el polvo a la atmósfera hay filtros de carbón húmedo o sistemas de barboteo en agua que permiten lanzar aire limpio. La planta de nuestro caso, cuenta con aspersores que retienen el polvo, de donde son conducidos a un decantador de finos que permite reciclar y reutilizar constantemente la misma agua

La planta continua produce un flujo continuo de mezcla de asfalto, que se almacena temporalmente en un depósito dosificador de donde pasa a los camiones. Los instrumentos de la camioneta de control monitorean y controlan la operación de las plantas de mezcla continua.

*Temperatura de fabricación.* El asfalto debe estar ligeramente más caliente que el árido unos 5° a 10°, pues no es beneficioso para el asfalto el calentamiento producido bruscamente al entrar en contacto repentino con un cuerpo más caliente.

Respecto a las temperaturas dependen del tipo de mezcla pero los pétreos no deben pasar de 150° y el asfalto de 165°. Las temperaturas citadas son adecuadas para climas templados pero no hay inconveniente en subir los materiales pétreos a 160 y el asfalto a 170 si las circunstancias lo requieren, pero entonces hay que tener mucho cuidado, pues se pueden buscar otras soluciones a los problemas de enfriamiento durante el transporte. En nuestro caso el asfalto se calienta a una temperatura de 160° C con un calentador de aceite.

*Consumo.* En una planta de 100 toneladas por hora es de unos 7 litros de diesel por tonelada de mezcla. En invierno o con materiales mojados puede llegar a unos 13 litros por tonelada. En verano y con plantas mayores se llega a 6 litros de consumo por tonelada fabricada.

### V.8.3 Puesta en obra.

Ya con la mezcla asfáltica fabricada con una temperatura de 130 a 150°C se procede a su puesta en obra. La puesta en obra comprende tres operaciones perfectamente diferenciadas: transporte, extensión y compactación.

#### *Transporte.*

El transporte se hace en camiones de volteo. Lo más conveniente es el empleo de camiones de mayor capacidad que reducen las maniobras de carga y descarga y se logra un mayor avance por viaje. En la obra, los más empleados fueron de 16m<sup>3</sup> de capacidad. Como la planta de asfalto se encuentra dentro de las instalaciones de la misma base, no se tuvo problemas con el tiempo de viaje y por consiguiente con la reducción de la temperatura.

Siempre es preferible que los camiones esperen a la extendedora que a la inversa, y lo mismo ocurre con la planta. Claro que la espera es antieconómica y hay que reducirla al mínimo.

#### *Extendido.*

La operación del extendido consiste en dejar sobre la superficie una capa de mezcla asfáltica de un determinado espesor y cuya superficie además de suficientemente lisa, tenga un determinado nivel respecto de otra capa. La maquinaria empleada es una finisher.

La finisher cuenta con cuatro elementos fundamentales que son el elemento tractor, el elemento perfilador y el elemento alimentador. Hay un cuarto elemento que es el compactador pero corrientemente va íntimamente ligado al perfilador.

El elemento tractor normalmente es un tractor de orugas, aunque a veces de ruedas de neumaticos en una conocida marca y en los modelos ligeros de otra. El elemento perfilador está

constituido por una pieza llamada maestra que tiene un ancho de alrededor de 2 hasta 5 m y que es igual al ancho de la capa extendida. Esta pieza suele estar articulada en su parte central para poder adaptarse a la forma transversal de la calzada. El elemento compactador suele ser una regla vibrante colocada delante de la maestra a veces unida a su mismo armazón, aunque hay modelos que la misma maestra es vibrante. Las maestras pueden ser calentadas por medio de mecheros de gas, electrónicamente o con butano. El elemento alimentador es una tolva en la que descarga el camión de volteo. En el fondo de esta tolva hay dos cadenas alimentadoras, cada una de las cuales cubre la mitad de la anchura de la máquina y que pueden ser manejadas independientemente. Estas cadenas empujan la mezcla hacia atrás y la vierten sobre el suelo delante de un tornillo sin fin que la reparte hacia los lados a fin de llenar el ancho de extendido delante del elemento vibrador y corrige la segregación de la masa con el efecto remezclador que tiene. Todo el conjunto es movido por un motor.

Detrás de la máquina se encuentran hombres con palas y rastrillos que van corrigiendo las desigualdades que forzosamente se producen. La labor del rastrillado sigue teniendo gran importancia, ya que compensan las irregularidades de las capas inferiores que la máquina no alcanza a cubrir, cortan y señalan la junta con franjas contiguas, eliminan los materiales gruesos en la superficie y porean la carpeta cuando tiene muchas oquedades

*Adherencia.* Si la superficie es una sub-base hay que suponer que debe tener una terminación aceptable y se le habrá aplicado el correspondiente riego de impregnación y de liga. En el caso de la continuación de la carpeta de un día para otro, se debe mojar la orilla del pavimento anterior para que haya una adherencia aceptable con el nuevo.

*Deformaciones.* Este es otro factor a tener en cuenta es el estado de deformación de la superficie de aplicación. No es aconsejable que la capa extendida tenga diferencias de espesor de más del 30 % por lo que si hay depresiones de este orden es preferible prepararla

previamente con un bacheo o reperfilado que se puede hacer bien extendido a mano o con motoconformadora.

*Temperatura.* En cuanto a la humedad el sano criterio es que esta sea lo suficientemente baja para que el calor de la mezcla se evapore, sin que para ello tenga que sufrir un acusado descenso en su temperatura. Por ello puede ser admisible extender con niebla o llovizna o terminar con la mezcla que se encuentre fabricada cuando empieza a llover con la condición de que al transportarla se proteja adecuadamente. Hay que tener en cuenta que el agua que arrojan los surtidores encargados de mantener húmeda la superficie de los rodillos compactadores también cae sobre la carpeta. El concreto asfáltico, se tiende a una temperatura mínima de 110°C.

*Nivelación.* Para determinar la superficie que ha de quedar detrás de la extendedora, es decir, de la mezcla extendida, hay que tener en cuenta que la máquina efectúa solamente una parte de la compactación. Esta diferencia está producida por dos factores, uno el espesor de la capa pues la energía de compactación es independiente del espesor y la otra la facilidad de compactación, pues son más fácilmente compactables las mezclas con un mayor porcentaje de finos. Por ellos las capas recién extendidas deben tener un 20 a 10 % más de su espesor definitivo. El espesor de la carpeta fue de 9 cm para que baje a 7.5 cm.

Respecto de la fijación de las referencias para la máquina, lo normal es un hilo metálico tensado entre unos piquetes también metálicos y nivelados con algún nivel. Cuando se trata de hacer una segunda banda al lado de otra extendida, entonces se puede emplear bien la nivelación normal o bien palpador con patín copiador, que se limita a reproducir la superficie de la banda tomada como maestra, naturalmente en ambos casos hay que tener en cuenta el sobre espesor que se ha de dar para que al compactar se obtenga el mismo nivel de la banda contigua. En este caso fue suficiente trazar una línea de cal con la que el operador se guía.

*Compactación.*

Una vez extendida la capa y con un 80 o 90% de compactación dada por la máquina extendedora viene la verdadera operación de acabado que es la compactación. Esta operación es más delicada que las anteriores y disponiendo de una planta aceptable y de una extendedora corriente manejadas discretamente, se puede fabricar y extender suficientemente bien la mezcla. Este proceso tiene la finalidad de terminar la compactación y dar el acabado final de la superficie, es en la operación en que más influye el factor humano, es decir, el operador del compactador.

*Maquinaria.* Hay tres tipos de compactadores: los de llanta rígida, los de neumáticos y los vibratorios. Estos últimos no son adecuados para mezclas asfálticas en caliente, ya que las ventajas que pueda tener la vibración en la compactación quedan desfavorablemente compensadas por las irregularidades superficiales que puede dar el mismo efecto vibratorio. Para puntos especiales donde quedan bordos salientes se pueden emplear estos compactadores.

Los compactadores de llanta rígida pueden ser los típicos triciclos y los Tandem de dos o tres ejes. El efecto compactador de una máquina de llanta rígida tiene lugar en una franja estrecha a lo largo de las generatrices de contacto, con lo cual el bulbo de presiones es pequeño y el efecto compactador de poca profundidad. En los compactadores Tandem las presiones van de 25 a 40 kg. para el rodillo delantero o director y de 25 a 50 kg para el trasero o motor, habiendo modelos que tienen la misma presión para los dos rodillos.

Los compactadores de neumáticos están formados por dos grupos de ruedas que como mínimo son tres y como máximo ocho y que un grupo tiene una rueda más que el y su disposición es tal que las huellas se solapan. En los compactadores de neumáticos usados normalmente, la carga por rueda es igual para todos los de uno de los grupos, lo que se consigue con poleas, palancas o por sistemas hidráulicos. Los compactadores de neumáticos se caracterizan por su peso total

y por la presión de sus neumáticos que van de 2 a 35 toneladas y presiones de 2 a 7 kg/cm<sup>2</sup>, habiendo modelos en que se puede variar esta sobre la marcha.

Todos los compactadores tienen el problema de la adherencia de la mezcla a la llanta, lo cual se resuelve humedeciendo con agua u otros productos, aunque modernamente se ha observado que en los compactadores de neumáticos la adherencia cesa cuando estos han alcanzado cierta temperatura (aproximadamente unos 60°C) por lo cual caben dos soluciones: o calentarlo o despreñar el tramo averiado por su poca longitud arreglándolo como se pueda. La compactación de la mezcla debe comenzarse lo antes posible, es decir, tan pronto como la temperatura permita la entrada de la máquina compactadora sin sufrir desplazamientos irremediables, pues si se espera a que no haya desplazamientos, la compactación se retrasa mucho y se hace difícil.

*Ejecución.* Después de tendido el concreto asfáltico, deberá inmediatamente plancharse uniforme y cuidadosamente por medio de una aplanadora ligera Tipo Tandem adecuada para dar el acomodo inicial a la mezcla. La compactación debe iniciarse desde los bordes hacia el centro para evitar el excesivo desplazamiento lateral y la rueda motriz debe ir siempre hacia delante en el sentido de avance de la extendedora; este planchado deberá efectuarse longitudinalmente a media rueda.

Deben cuidarse muy especialmente los cambios de sentido de la marcha para que se haga cada parada en distinta zona y procurar que los pequeños cambios de dirección necesarios para ir cambiando la banda apisonada se haga siempre en distinto lugar, lo que significa que el viaje de ida y vuelta se debe hacer sobre la misma banda. Se piensa que es preferible la máquina Tandem a no ser que sea un triciclo en que las ruedas traseras sean muy anchas y de poca presión.

Tan pronto como la compactación inicial haya dado la densidad tal que combinada con la temperatura permita la entrada del compactador principal debe empezar. Esta debe ser con neumáticos de alta presión, es decir, 5 a 7 kg. por centímetro cuadrado. Las ventajas del compactador de neumáticos en esta fase de la compactación -que es la fundamental- son claras. En primer lugar, el compactador de neumáticos distribuye la presión de manera mucho más uniforme que el de llantas lisas. En segundo lugar la acción del es mucho más profunda que la del compactador liso y finalmente la acción del neumático es la misma a la que va a estar sometido la carpeta durante su servicio, lo que tiene la ventaja de que la mezcla en caliente se acomoda mejor a la situación real y queda mejor preparada para resistirla.

Finalmente llega la fase de terminación, la cual se hace habitualmente con cilindro liso de mayor peso. Esta última fase es la más delicada y debe hacerse concienzudamente con el objeto de dejar una superficie perfectamente llana y borrar las huellas que dejan los compactadores de llantas neumaticas por lo que es útil la llanta lisa. Hay veces que después de esta compactación prevén el paso de compactador de neumáticos pues parece que ayuda a cerrar la superficie y dar una garantía de impermeabilidad superficial muy conveniente en mezclas hechas en invierno y que van a sufrir tráfico invernal inmediatamente. La compactación previa debe ser con maquinas de 6 a 8 toneladas, el principal de 12 a 15 y el terminado también de 12 a 15.

*Temperatura de compactación.* La principal dificultad de compactación para mezclas asfálticas es que se trata de un material cuyas características visco-mecánicas varían en un corto espacio de tiempo -alrededor de las tres horas- por lo que hay que aprovecharlas al máximo. La temperatura de una mezcla asfáltica extendida desciende según una función exponencial del tiempo y también dependiente de la temperatura ambiente conservándose mejor en la parte media de la capa, pues en la inferior se enfría por contacto con el suelo y en la superior por la exposición al aire. También, y por razones parecidas, se enfrían antes los bordes que la parte central de la banda.

No se puede dar una norma fija respecto al límite máximo de la temperatura a la que se puede comenzar la compactación, pues depende del equipo y de las circunstancias, pero debe tenderse a comenzar la compactación lo más seguido posible del extendido para aprovechar al máximo la época en que el asfalto es más fácilmente compactable. Para los rodillos lisos los límites de eficiencia suelen estar entre los 110 y 30 °C.

Respecto del rodillo de neumáticos el problema es la adherencia de la mezcla a los neumáticos, que cesa cuando estos han alcanzado los 60° C por lo que el problema es alcanzarlos y mantenerlos. La zona eficaz suele estar entre los 95° y 60° C.

La temperatura del concreto asfáltico, al iniciarse el acomodo, por lo general deberá encontrarse entre 100 y 110° C en general pues por encima de ella la mezcla es inestable y se produce descompactación; por otra parte, la compactación de la carpeta deberá terminarse a una temperatura mínima de 70°C.

*Numero de pasadas y velocidad.* Para los rodillos lisos el numero de pasadas (entendido como tal el paso del rodillo por un punto en la misma dirección dos veces consecutivas) oscila alrededor de seis. Para los de neumáticos hay más amplitud y es conveniente estudiarlo en cada caso pues puede oscila de cuatro a diez.

En cuanto a las pasadas, un punto muy interesante es su distribución transversal que suele ser muy irregular variando de 2 pasadas en los bordes a 10 o 12 en el centro. Es un problema al que hay que prestar atención, pues se corre el peligro de dejar poco compactadas las zonas de borde o sus proximidades (que es por donde circulan las ruedas pesadas) y sobrecompactar los centros de las bandas, que tienen menos uso.



La velocidad de los cilindros lisos no debe pasar de 6 km por hora y la de neumáticos puede ser del doble, creciendo siempre a medida que se encuentre fría la mezcla.

*Juntas.* Un problema del extendido y compactación es el de las juntas. La práctica normal es el solapar la segunda banda unos 5 a 15 cm sobre la primera, comenzando la compactación sobre la banda vieja con la llanta unos 10 a 20 cm sobre la capa nueva progresando lentamente y retirando el material sobrante a mano. Lo fundamental es que la junta esté bien cortada y respecto de si es preciso dar riego de ligadura o no depende del tiempo que la superficie frontal haya estado expuesta a la intemperie, y si ha habido tráfico o no, siendo aconsejable en el primer caso. Respecto a las juntas transversales deben hacerse con las mismas precauciones y como es natural cortando perfectamente. Respecto de la separación de las juntas en las distintas capas hay normas que la limitan de 15 a 40 cm. Esto para las juntas transversales es frecuentemente fácil, pero para las longitudinales puede dar inconvenientes al tener que extender por lo menos una banda de ancho diferente de las otras.

### ***V.9 Carpeta delgada de graduación abierta***

Son tratamientos superficiales, de 1.5 a 3.0 cm de espesor, que se aplica a los pavimentos para proporcionar una superficie de rodamiento con propiedades drenantes que reduzcan la posibilidad de formación de espejos de agua, mejores características antiderrapantes para elevar los niveles de seguridad en condiciones adversas de lluvia, y mejorar la comodidad de los usuarios al reducir el ruido de rodamiento de los vehículos.

Se construyen mediante el tendido y compactación de mezclas asfálticas elaboradas en caliente, en planta estacionaria utilizando agregados de graduación abierta, y cementos asfálticos solos, o modificados con hule molido de neumáticos usados, polímeros u otras substancias.

### V.9.1 Antecedentes y Fabricación

Respecto a los antecedentes y fabricación de la carpeta asfáltica de graduación abierta, podemos mencionar que los pasos son prácticamente los mismos, ya que no se agregaron agentes modificadores al cemento asfáltico, por lo que las mismas instalaciones fueron adecuadas para su producción.

### V.9.2 Puesta en obra.

Ya con la mezcla asfáltica fabricada con una temperatura de 130 a 150°C se procede a su puesta en obra. La puesta en obra comprende tres operaciones perfectamente diferenciadas: transporte, extensión y compactación.

#### *Transporte.*

El transporte se hace en camiones de volteo, de la misma manera que para la carpeta asfáltica.

#### *Extendido.*

La operación del extendido consiste en dejar sobre la superficie una capa de mezcla asfáltica con un determinado espesor y cuya superficie además de suficientemente lisa, tenga un determinado nivel respecto de otra capa. El procedimiento empleado es el mismo que para la carpeta asfáltica. La maquinaria empleada es una finisher, y la cuadrilla de rastrilleros es la misma que aplicó la carpeta asfáltica.

Las bandas de extendido se acomodan de tal manera que la separación entre la carpeta asfáltica y la carpeta delgada de graduación abierta queden separadas por 15 cm como mínimo. Las bandas se construirán de la parte baja hacia la parte alta de la sección transversal.

*Adherencia.* La superficie puede ser una carpeta asfáltica en buenas condiciones o una fresada y recubierta con emulsión como en pistas. Sea cual fuere debe tener una terminación aceptable y se le habrá aplicado el correspondiente riego de liga.

*Deformaciones* No deben tenerse diferencias de espesor de más del 30 % por lo que si hay depresiones de este orden es preferible prepararla previamente con un bacheo o reperfilado que se puede hacer bien extendido a mano o con motoconformadora.

*Temperatura.* La temperatura mínima de extendido debe ser de 130° C, que es mayor a la de la carpeta, ya que las carpetas delgadas tienden a enfriarse rápidamente y su temperatura de compactación es mayor que las de la carpeta asfáltica. Debido esto, no debe ser admisible extender con niebla o llovizna o terminar con la mezcla que se encuentre fabricada cuando empiece a llover.

*Nivelación.* La diferencia entre la superficie que ha de quedar detrás de la extendedora y la mezcla ya compactada esta influenciada por dos factores, uno el espesor de la capa pues la energía de compactación es independiente del espesor y la otra la facilidad de compactación, pues son mas fácilmente compactables las mezclas con un mayor porcentaje de finos. Por ellos las capas recién extendidas deben tener un 20 a 15 % o del 10 al 12 % más de su espesor definitivo. El espesor de la carpeta delgada fue de 2 a 2.5 cm para que baje unos cuantos milímetros de 3 a 5, aproximadamente, lo cual es casi imperceptible.

La fijación de las referencias para la máquina se fija a los extremos y al centro de las pistas. Cuando se trata de hacer una segunda banda al lado de otra extendida, entonces se puede emplear bien la nivelación normal o bien palpador con patín copiador, que se limita a reproducir la superficie de la banda tomada como maestra, naturalmente en ambos casos hay que tener en cuenta el sobre espesor que se ha de dar para que al compactar se obtenga el

mismo nivel de la banda contigua. En este caso las referencias son clavos colocados por una brigada de topografía en los que se colocan lazos y se traza una línea de cal con la que el operador se guía.

### *Compactación.*

Una vez extendida la capa y con la compactación dada por la máquina extendedora viene la verdadera operación de acabado que es la compactación. Esta operación tiene la finalidad de terminar la compactación y dar el acabado final de la superficie, es en la operación en que más influye el factor humano, es decir, el operador del compactador.

*Maquinaria.* Como se menciono anteriormente, hay tres tipos de compactadores: los de llanta rígida, los de neumáticos y los vibratorios.

*Ejecución.* La secuencia de operaciones y la maquinaria empleada para la compactación, es la misma para las carpetas delgadas de graduación abierta, no así con el procedimiento. Después del tendido, se plancha uniforme y cuidadosamente por medio de una aplanadora ligera Tipo Tandem para dar el acomodo inicial a la mezcla. La compactación se inicia desde los bordes hacia el centro y la rueda motriz debe ir siempre hacia delante en el sentido de avance de la extendedora; este planchado debe efectuarse longitudinalmente a media rueda.

Tan pronto como la compactación inicial haya dado la densidad tal que combinada con la temperatura permita la entrada del compactador de neumáticos. El compactador de neumáticos en esta fase de la compactación se aplica en las juntas longitudinales únicamente con la función de borrar las imperfecciones de la junta mediante la mejor distribución de la mezcla en este sitio. El compactador de neumáticos distribuye la presión de manera mucho más uniforme que el de llantas lisas y su acción es mucho más profunda que la del compactador liso, pero al ser la

carpeta delgada de 2 o 3 cm, no es necesario aplicar demasiada fuerza de compactación para lograr su peso máximo volumétrico.

La fase de terminación se hace con cilindro liso de mayor peso. Esta última fase es la más delicada y debe hacerse concienzudamente con el objeto de dejar una superficie perfectamente llana. La compactación previa debe ser con maquinas de 6 a 8 toneladas, el principal de 12 a 15 y el terminado también de 12 a 15.

*Temperatura de compactación.* La temperatura de una mezcla asfáltica extendida desciende según una función exponencial del tiempo y también dependiente de la temperatura ambiente conservándose mejor en la parte media de la capa, pues en la inferior se enfría por contacto con el suelo y en la superior por la exposición al aire. También, y por razones parecidas, se enfrían antes los bordes que la parte central de la banda.

Al respecto, las carpetas delgadas de graduación abierta debido su textura porosa y a su escaso espesor, se enfrían más rápidamente que las carpetas normales. Además al ser delgadas, no pierden estabilidad al comenzar la compactación a una temperatura mayor y así comenzar la compactación lo más seguido posible del extendido para aprovechar al máximo la época en que el asfalto es más fácilmente compactable.

La temperatura del concreto asfáltico, al iniciarse el acomodo, por lo debe encontrarse a 120 °C en general pues se enfría rápidamente y debido a su escaso espesor no se comporta de manera inestable.

*Numero de pasadas y velocidad.* Para los rodillos lisos el numero de pasadas (entendido como tal el paso del rodillo por un punto en la misma dirección dos veces consecutivas) oscila alrededor de tres.

Para el neumáticos que recorre la junta longitudinal oscila en cuatro a seis.

La velocidad de los cilindros lisos no debe pasar de 6 km por hora y la de neumáticos puede ser del doble, creciendo siempre a medida que se encuentre fría la mezcla.

*Juntas.* El trato que se le da a las juntas de las carpetas delgadas de graduación abierta es el mismo que a las de concreto asfáltico.

## **CAPITULO VI.**

### *CONTROL DE CALIDAD.*

## CAPITULO VI. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad tiene como finalidad asegurar la calidad de la obra, mediante la vigilancia de procesos, pruebas y ensayos de laboratorio, por los que se obtienen indicadores de calidad que tienen como marco de referencia las Normas Generales y los valores fijados en las Especificaciones Técnicas Particulares, de proyecto y las complementarias de la obra.

El tipo y frecuencia de la determinación de los indicadores de la calidad, ya sean mediciones, observaciones, pruebas, o ensayos de laboratorio, deben ser planeados, para precisar los alcances que se pretenden con el control de calidad.

Es una actividad permanente en la ejecución de la obra, en la que interpretando la tendencia de los indicadores de calidad, se generan los elementos de apoyo para tomar decisiones en relación a las medidas preventivas y correctivas que oportunamente deben tomarse.

No menos importante es la comunicación y la ubicación de esta función en la línea de autoridad en la obra, para contribuir eficazmente en el proceso de realimentación en la dirección de la obra.

Los resultados del control de calidad exigen de comunicación permanente y oportuna, y del soporte documental estructurado con carácter histórico que refleje la forma en que se ejecuta la obra. Este se constituye con: reporte de pruebas y ensayos de laboratorio, cartas de control estadístico, archivo de ordenes y antecedentes de comunicación, informes documentales y fotográficos.



PEP Ingeniería de Suelos, realizó el control de calidad de la obra estableciendo un laboratorio de campo, generando y enviando los resultados al laboratorio central donde se resume el trabajo realizado en informes mensuales divididos en dos partes: terracerías y asfaltos.

### **VI.1 Terracerías**

Dentro de los trabajos referentes a capas granulares que comprenden los reportes de terracerías tenemos:

- a) Capa de mejoramiento,
- b) Capa de subbase, y
- c) Capas de base negra e hidráulica

*Capas de materiales graduados.* En el caso de bases de materiales graduados, se tienen problemas, sobre todo debido a la segregación, que se presenta en el proceso de puesta de obra y compactación, para en definitiva conseguir una homogeneidad tanto en superficie como en profundidad de la capa de base granular.

En general las etapas de control de los materiales granulares son las siguientes: control de los materiales, control de la superficie de asiento, control de la extensión y compactación; y control geométrico de la superficie terminada.

A las etapas anteriores hay que añadir el problema, en general delicado, de la protección de la superficie terminada que normalmente se hace con riegos de impregnación.

Actualmente la tendencia es a mejorar los sistemas de fabricación, clasificación, recomposición, humectación, transporte y puesta en obra del material. Anteriormente se descuidaban todas estas etapas que han demostrado lo peligroso que es en la práctica.

Un proceso correcto en la obtención del material lleva implícito el control de la cantera, de la limpieza de los materiales que entran en trituración, del proceso de trituración que determinará granulometría y forma de los tamaños, según las características del material a recomponer. Tal como se ha indicado inicialmente, es importante que al rehacer la granulometría a partir de tamaños ya clasificados se asegure mediante una cierta humectación y un proceso de mezclado que se va a obtener un material uniforme y homogéneo.

El transporte y puesta en obra, la forma correcta de realizarlo, el equipo empleado, etc... tiene una enorme importancia en la calidad final de la capa. De esta manera, puede decirse que dentro de los materiales granulares, materiales de gran calidad pueden ser muy malas capas granulares, si los procesos de puesta en obra y empleo no son los correctos.

El control de los materiales de las bases granulares está relativamente bien tipificado en todas las especificaciones. A las exigencias normalmente admitidas hay que superponerles un análisis estadístico sobre la toma de muestras y la representatividad de las mismas así como las tolerancias para poder admitir o rechazar materiales.

El control de la extensión y compactación de las capas granulares se hace a base del producto terminado en donde se establece las características de los materiales una vez colocados en obra.

Las tolerancias geométricas se suelen referir a unas irregularidades medidas en una regla, por ejemplo, de tres metros. Como las correcciones son difíciles, el ingeniero responsable, debe

plantearse siempre la disyuntiva de la corrección de la capa extendida que es difícil y problemática, o el escarificado y recompactación de la misma.

Respecto al control de superficie terminada o de producto terminado, existen especificaciones acerca de la capacidad portante de las capas granulares. A continuación se hace una semblanza del control tradicional del grado de compactación.

En la tabla 6.1 se presenta un esquema de las principales pruebas que se utilizan al respecto para medir el peso volumétrico del material compactado en obra.

Tabla 6.1 Pruebas de campo para la determinación del peso volumétrico seco de los suelos compactados

Tipo I	Tipo II	Tipo III
Destructivas		No destructivas
Muestra alterada	Muestra inalterada	
1. Reemplazo con arena	1. Muestra cúbica	1. Aparato nuclear
2. Reemplazo con agua	2. Hinca de muestreador	2. Prueba sísmica
3. Reemplazo con aceite		3. Métodos ultrasónicos

En términos generales las pruebas de tipo I consisten en practicar un hueco en el material compactado, cuidando no perder nada del material extraído, del que se determina su peso húmedo y el contenido de agua. Para poder llegar al peso volumétrico seco se requiere únicamente conocer el volumen del agujero practicado, lo que se logra llenado este de arena, con agua o con aceite, de algún modo que permita saber que peso de una cantidad inicial total entro en el agujero, para, dividiendo ese valor entre el peso específico de la substancia, previamente determinado, obtener el volumen deseado. En obra se empleó el llenado con arena.

Número de muestras. Las especificaciones existentes en la mayoría de los grandes organismos que construyen vías terrestres en todo el mundo suelen fijar un número mínimo de pruebas de compactación que deben hacerse en cierto tramo, para ejercer un control conveniente; sin embargo, es usual que el criterio para fijar tal número mínimo sea un tanto arbitrario y esté gobernado por consideraciones de tiempo y dinero. En el caso de las plataformas y calles de rodajes se muestreo la base y sub-base practicando 3 sondeos en cada 100 m de terracería terminada en franjas con un ancho de 10 metros.

El hecho de que exista una variabilidad derivada al procedimiento de prueba así como otras variables provenientes de la calidad del material o de los propios procesos de muestreo no parece ser suficiente reconocido por los métodos tradicionales. Todos estos factores son variables aleatorias y, por lo tanto, los valores que deriven de cualquier conjunto de pruebas lo que todo proceso de muestreo conviene ser tratado, en sentido estricto, como un proceso estadístico. Pruebas realizadas a partir de lo que un inspector considere muestras buenas o malas o indicativas de la situación promedio, no pueden ser consideradas muestras al azar; solo muestras obtenidas siguiendo las reglas estrictas de la estadística pueden dar una verdadera indicación de la calidad de los materiales o de los trabajos que se estén estudiando.

Generalmente, cuando no se usan métodos de control estadístico esto hace que se establezca un requerimiento de carácter absolutista, exigiendo que todos los valores encontrados satisfagan los límites especificados.

El control de calidad ejercido por el laboratorio tomo la función de orientar al constructor respecto a los trabajos que realizaban, fomentando la cooperación entre ambos y con lo cual fue posible tomar medidas preventivas y correctivas oportunamente, pasando a segundo termino la revision estricta de cada uno de los elementos de obra.

Por esto, las calas que no alcanzaron el grado de compactación fueron reportadas en su momento y se propusieron recomendaciones que ayudarán a alcanzar el grado requerido para las zonas representativas de tales calas.

En la tabla 6.3 se presenta un ejemplo del desglose de las calas realizadas para verificar el grado de compactación en diferentes áreas de trabajo.

### **VI.2 Asfaltos**

Dentro de los trabajos referentes a capas granulares que comprenden los reportes de asfaltos tenemos:

- a) carpetas asfálticas,
- b) carpetas asfálticas de graduación abierta

En esta sección se va a desarrollar de manera general la filosofía básica para el control de calidad de algunas unidades representativas en obras carreteras.

Hay que decir que los sistemas de control de fabricación y puesta en obra de mezclas asfálticas están bastante bien tipificados, ya que se considera un proceso mucho más industrial que el de otras unidades de obras que se usan en carreteras y aeropuertos. Esto hay que repetirlo, no quiere decir que el problema esté resuelto ni mucho menos, ya que la principal incógnita que aquí se plantea no es el control de los procesos, sino en los criterios básicos de control de las mezclas, por ejemplo el Marshall no tiene fundamento ni representatividad muy científica.

CLIENTE	SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL	PROYECTO	Plataformas y Hangares
DIRECCION	Base Aérea Militar No. 1, Santa Lucia	UBICACION	Base Aérea Militar No. 1 Santa Lucia, Estado de México
ATN	GENERAL BRIGADIER I C RENE CAMARENA CARRILLO	FECHA DE INICIO	12 Febrero 98

**TABLA DE RESULTADOS**

Cala No	Fecha Calas	Localizacion	Capa	Tipo de Material	PVIH kg/m <sup>3</sup>	Hum Nat %	PVS kg/m <sup>3</sup>	PVSM kg/m <sup>3</sup>	H O %	Comp. %	Espesor cm	Especificacion de compactación
290	11-may-98	Area de caja abierta (Plataforma)	Subcapa	Mezcla (50-50) tipo patateo zonah	1785	19.6	1476	1550	23.8	95.7	20.0	
291	11-may-98		3er capa		1733	17.8	1471	1550	23.8	94.9	18.0	
292	11-may-98				1794	20.4	1490	1550	23.8	96.1	19.0	
293	11-may-98				1763	19.2	1479	1550	23.8	95.4	21.0	
294	11-may-98				1789	21.6	1471	1550	23.8	94.9	17.0	
295	11-may-98				1781	20.9	1473	1550	23.8	95.0	19.0	
296	12-may-98	Pista Fox 0-100 Cent	Base	Material reciclado de carpeta mezclada con emulsionas	2165	9.6	1975	2007	10.8	98.4	26.0	
297	12-may-98	cuerpo izquierdo 0-140 Izq			2163	10.4	1959	2007	10.8	97.6	26.0	
298	12-may-98	0-180 Cent		folia (R1)	2132	8.3	1969	2007	10.8	98.1	27.0	
299	12-may-98	0-210 D.e			2140	9.0	1963	2007	10.8	97.8	25.0	
300	12-may-98	0-240 Cent			2125	8.7	1955	2007	10.8	97.4	28.0	
301	12-may-98	0-270 Izq			2140	8.8	1967	2007	10.8	98.0	27.0	
302	13-may-98	Area Anexos a los Hangares	Base	Material reciclado de carpeta mezclada con emulsionas	2235	14.6	1950	1986	15.2	98.2	16.0	
303	13-may-98			folia (R1)	2172	13.8	1909	1986	15.2	96.1	14.0	
304	13-may-98				2202	14.2	1928	1986	15.2	97.1	15.0	
305	13-may-98				2193	14.0	1924	1986	15.2	96.9	15.0	
306	14-may-98	Pista Fox 0-300 Cent	Base	Material reciclado de carpeta mezclada con emulsionas	2151	10.0	1955	2007	10.8	97.4	26.0	
307	14-may-98	cuerpo izquierdo 0-130 D.e			2174	10.1	1975	2007	10.8	98.4	24.0	
308	14-may-98	0-360 Cent		folia (R1)	2144	8.9	1969	2007	10.8	98.1	21.0	
309	14-may-98	0-360 Izq			2154	9.6	1965	2007	10.8	97.9	22.0	
310	16-may-98	Area de caja abierta (Plataforma)	1ra capa de	Mezcla (50-50) tipo patateo zonah	1873	23.4	1518	1543	25.2	98.4	19.0	
311	16-may-98		Base hidraulica		1897	24.1	1529	1543	25.2	99.1	17.0	
312	16-may-98				1843	22.0	1511	1543	25.2	97.9	17.0	
313	19-may-98	Area de caja abierta (Plataforma)	1ra capa de	Mezcla (50-50) tipo patateo zonah	1797	21.2	1483	1515	24.8	97.9	19.0	
314	19-may-98		Base hidraulica		1798	20.8	1488	1515	24.8	98.2	19.0	
315	19-may-98				1849	23.9	1492	1515	24.8	98.5	18.0	

**ESPECIFICACIONES S C T**

**OBSERVACIONES.**

NOMBRE	Ing Guillermo Flores Trochl	Ing Paulo Ortiz Cruz	Ing Daniel J. Torres Cruz	
FIRMA				Vo Bo
	CHEFE DE LABORATORIO	SIGNATARIO AUXILIARIO	DIRECTOR TECNICO	

Como esquema básico, baste decir de una manera general que el proceso de control de una mezcla asfáltica, reviste tres fases : fase previa, fase de producción y fase final. En la tabla 6.2 se indican las etapas que constituyen cada una de las fases.

Tabla 6 2 Control de mezclas asfálticas.

<p>Fase previa</p>	<p>Aceptación de materiales Estudio de formula de mezcla Formación de acopios de áridos Reglaje de la planta Formula de trabajo Planchas de ensayo</p>
<p>Fase de producción</p>	<p>Control de suministros Control de fabricación Control de transporte Descarga y extensión Compactación</p>
<p>Fase final</p>	<p>Espesores Densidad Composicion Uniformidad Textura Acabado superficial</p>

Estos trabajos se verifican en campo, mediante la inspección del laboratorista, además de la toma de muestras y ensayo de especímenes. A continuación se expone una semblanza de los trabajos realizado.

a) Informe de temperaturas y tendido de mezcla asfáltica.

Los informes deben contar con una referencia para los avances y representatividad de las muestras elaboradas. La siguiente tabla se utiliza para la presentación de temperaturas de tendido de mezcla.

Placa	Temperatura	Cadenamiento	Franja	Color	No.
570702	90	0+000-0+400	1	Azul	1
HE17243	100	Poreado		Azul	2
569AU2	100	0+000-0+400	1	Amarillo	3

En campo se recolecta la información necesaria para elaborar un informe que debe abarcar los siguientes puntos

- a) Número de muestra
- b) Fecha
- c) Localización
- d) Temperatura al salir de la planta, al llegar al tramo y de compactación
- e) Ancho de la calzada
- f) Ancho de la franja
- g) Espesor antes de compactar
- h) Observaciones

La conformación del informe con los elementos antes mencionados se muestran en la página siguiente donde se expone un registro para informe de temperaturas y tendido de carpetas asfálticas





PEP Ingenieria de Suelos, S.A. de C.V.

## INFORME DE TEMPERATURAS Y TENDIDO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Avda. Duques Datan No 47 CP 08140 México DF Tel. 734142 732786 Fax 733527

CLIENTE: SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL

CAPA: Carpeta Asfáltica

PROYECTO: Plataformas y Hangares

PLANTA: SEDENA.

LUGAR: B.A.M. No. 1, Sta. Lucía, Edo de Méx.

ESPESOR DE PROJ.: 7,5 cm

ESPESOR ANTES DE COMPACT: 9.0 cm

MUESTRA No	FECHA	LOCALIZACION	TEMP DE MEZCLA AL			CALZ M	ANCHO M	ESPESOR ANTES DE COMPACT	OBSERVACIONES
			SALIR	LLEGAR	COMPACT				
1	1-abr-98	Franja No 2 (0+400-0+380)	120.0	110.0	80.0	97.0	3.3	9.0	Mezcla asfáltica
2	1-abr-98	Franja No 3 (0+300-0+280)	130.0	110.0	90.0	97.0	3.3	9.0	(60-40) (Arena gruesa-grava triturada 3/4)
3	3-abr-98	Detalles de accesos a los hangares y torre de control	120.0	12.0	90.0	10.0	3.3	7.5	(55-35-10) (Arena en grñta-grava trit. 3/4-arena fina)
4	4-abr-98	Franja No 1 (0+330-0+300)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.3	9.0	Mezcla asfáltica
5	4-abr-98	Franja No 5 (0+260-0+240)	120.0	110.0	80.0	97.0	3.3	9.0	(55-10-35)
6	6-abr-98	Franja No 7 (0+420-0+410)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.3	9.0	(Arena en grñta-arena fina-grava triturada de 3/4")
7	6-abr-98	Franja No 8 (0+260-0+24)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.3	9.0	Mezcla asfáltica
8	7-abr-98	Franja No 10 (0+ 370-0+350)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.3	9.0	(55-10-35)
9	7-abr-98	Franja No 13 (0+440-0+415)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.3	9.0	(Arena en grñta-arena fina-grava triturada de 3/4")
10	8-abr-98	Franja No 15(0+420-0+400)	120.0	110.0	80.0	97.0	3.3	9.0	Mezcla asfáltica
11	8-abr-98	Franja No 17 (0+305-0+270)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.3	9.0	(55-35-10)
12	13-abr-98	Franja No 19 (0+275-0+250)	120.0	110.0	80.0	97.0	3.2	9.0	( Arena en grñta-grava triturada 3/4-arena fina)
13	13-abr-98	Franja No 5 (0+200-0+170)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.2	9.0	Mezcla asfáltica
14	14-abr-98	Franja No 8 (0+140-0+110)	120.0	100.0	80.0	97.0	3.2	9.0	(55-15-30) (Arena gruesa-grava trit. 3/4-arena fina)
15	16-abr-98	Franja No 13 (0+210-0+150)	120.0	115.0	90.0	97.0	3.2	9.0	Mezcla asfáltica
16	22-abr-98	Franja No 20 (0+400-0+380)	120.0	110.0	80.0	97.0	3.5	9.0	(55-15-30) (Arena gruesa-grava trit. 3/4-arena fina)
17	22-abr-98	Franja No 21 (0+320-0+295)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.5	9.0	Mezcla asfáltica
18	22-abr-98	Franja No 22 (0+350-0+330)	120.0	100.0	95.0	97.0	3.5	9.0	(55-30-15)
19	24-abr-98	Franja No.23 (0+340-0+320)	120.0	100.0	90.0	97.0	3.8	9.0	(Arena gruesa-grava triturada 3/4- arena fina)
20	24-abr-98	Franja No.24 (0+320-0+300)	120.0	115.0	80.0	97.0	3.8	9.0	Mezcla asfáltica
21	25-abr-98	Franja No 25 (0+420-0+400)	120.0	110.0	90.0	97.0	3.2	9.0	(55-30-15)
22	25-abr-98	Franja No 26 (0+240-0+220)	120.0	110.0	80.0	97.0	3.2	9.5	(Arena gruesa-grava triturada 3/4- arena fina)
23	27-abr-98	Franja No 27 (0+360-0+320)	120.0	100.0	90.0	13.5	3.2	9.5	Mezcla asfáltica
24	27-abr-98	Franja No 28 (0+160-0+140)	120.0	110.0	90.0	13.5	3.2	9.5	(55-30-15)

NOMBRE

Ing. Guillermo Rosas T.

Ing. Pedro Cruz Cruz

Ing. Juan Pablo Cruz

FIRMA

JEFE DE  
LABORATORIOSIGNATARIO  
AUTORIZADODIRECTOR  
TECNICO

Vo Bo.

b) Elaboración de pastillas Marshall

El informe de tendido y temperatura de mezcla asfáltica se complementa con la elaboración de las pastillas Marshall de las cuales se obtiene:

- a) Granulometría
- b) Contenido de asfalto
- c) Peso volumétrico
- d) Estabilidad y flujo
- e) Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica y en el agregado mineral.

El numero de pruebas a la mezcla asfáltica sin compactar que se recomienda y se realiza por día es de 2, aunque al principio de la producción puede ser necesario aumentar el número de ensayos.

La conformación del informe de prueba de la mezcla sin compactar con los elementos antes mencionados se muestran en la página siguiente donde se expone un registro para informe de temperaturas y tendido de carpetas asfálticas.

c) Extracción de corazones

Con el objeto de verificar la mezcla compactada se extraen corazones en la carpeta terminada con el objeto de verificar espesores y densidad o peso volumétrico.

El numero de muestras es variado, y en este caso se deja a consideración del laboratorista el tamaño del lote de muestras así como el área representativa de cada una de estas.

Un informe de muestras extraídas en carpetas se muestra en las páginas siguientes.

# PEP INGENIERIA DE SUELOS, S.A. DE C.V.

C. Adolfo Duclos Sahas No. 47

Col. Ampliación Sta. Martha Acatitla.

México, 09140, D.F.

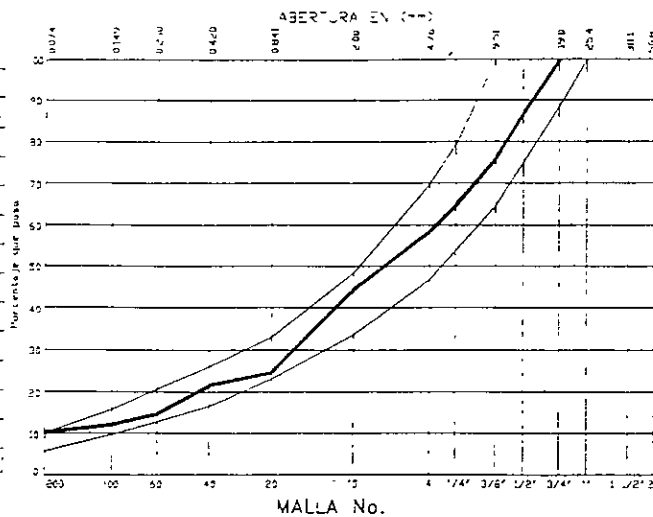
Tels: 733-27-66, 738-41-62. Fax: 733-55-21

## INFORME DE ENSAYE A MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: Plataformas y Mancebos.	MUESTRA No.: 16
LUGAR: B.A.M. No.1, Sta. Lucia, Edo. Mex.	FECHA DE MUESTREO: 22-Abril-98
BANCO PLANTA: SEDENA	FECHA DE ENSAYE: 4-Mayo-98
USICACION: B.A.M. No. 1, Sta. Lucia, Edo. Mex	
CLASIFICACION: Mezcla 55-30-15. (Arena gruesa-Grava 3/4" - Arena fina)	

### EN CALIENTE

COMPOSICION GRANULOMETRICA	
MAILAS	% QUE PASA
"	100
3/4"	100
1/2"	87
3/8"	76
1/4"	65
No. 4	59
No. 10	45
No. 20	26
No. 40	21
No. 60	15
No. 100	12
No. 200	10



### CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

	ESPECIFICACIONES	
Contenido de Asfalto.	6.2	
Tipo de Asfalto.	AC 20	
Peso Volum. Kg/m <sup>3</sup>	2445	
Estabilidad.	845	700 min.
Flujo.	2.7	2 a 4
Porcentaje de Vacios	4.6	3 a 5
Porcentaje de V.A.M.	22.7	14 min.



INFORME DE PRUEBAS DE COMPACTACION EN CARPETA ASFALTICA

CLIENTE: SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL

PROYECTO: PLATAFORMA Y HANGARES.

LUGAR: B.A.M. No. 1, Sta. Lucía, Edo. de Méx.

FECHA	NUCLEO N°	LOCALIZACION	ESPESOR CM	P.V NUCLEO	P.V.M.	COMPAC %	OBSERV
23-abr-98	1	Area de Hangares (0+240-0+440).	8.3	2282	2430	93.9	
	2	(0+000-0+060) Franja No 1 a la 6	7.2	2350	2430	96.7	
	3		7.0	2330	2430	95.9	
	4		9.0	2362	2430	97.2	
	5		7.7	2389	2430	98.3	
	6		6.9	2372	2430	97.6	
	7		7.4	2287	2430	94.1	
25-abr-98	8	Area de Hangares (0+240-0+180).	8.1	2391	2430	98.4	
	9	(0+000-0+050) Franja No 1 a la 5	7.9	2408	2430	99.1	
	10		8.5	2379	2430	97.9	
	11		7.7	2383	2430	98.1	
	12		7.9	2389	2430	98.3	
3-may-98	13	Area de Hangares (0+180-0+440).	7.4	2391	2430	98.4	
	14	(0+060-0+100) Franja No 6 a la 10	7.2	2398	2430	98.7	
	15		7.5	2413	2430	99.3	
	16		7.4	2430	2430	100.0	
	17		7.2	2423	2430	99.7	
	18		7.8	2379	2430	97.9	
	19		7.5	2384	2430	98.1	
	20		7.7	2403	2430	98.9	

Nombre	Ing. Guillermo Rosas T.	Ing. Pablo Cruz Cruz.	Ing. Daniel Michis Cruz.
Carácter			
Fecha			
Residente	Jefe de Laboratorio	Signatario Autorizado	Director Técnico

Adolfo Duclos Salinas #47, C.P. 09140, México, D.F. Tel.: 738 41 62, 733 27 66 Tel.(fax). 733 55 21

## **ANEXOS.**

*A. RESEÑA FOTOGRAFICA.*

*B. CARPETAS DELGADAS DE GRADUACION  
ABIERTA.*

*C. PRESUPUESTO.*



**Fotografía No. 1.** En esta foto se observa el estado en que se encontraba la carpeta asfáltica en el área de plataforma de acceso a hangares.



**Fotografía No. 2.** Para la construcción de la continuación del rodaje F y de la plataforma de mantenimiento, se abrió caja para acomodar el material de relleno, como se aprecia en la foto. Así mismo, en el fondo se aprecian las labores de riego y compactación de la capa de mejoramiento a base de escoria volcánica (tezontle).



**Fotografía No. 3.** En esta fotografía se muestra el material para la construcción de la capa de subbase siendo revuelto por medio de motoconformadora para su homogeneización en granulometría y humedad, para después ser tendido y compactado.

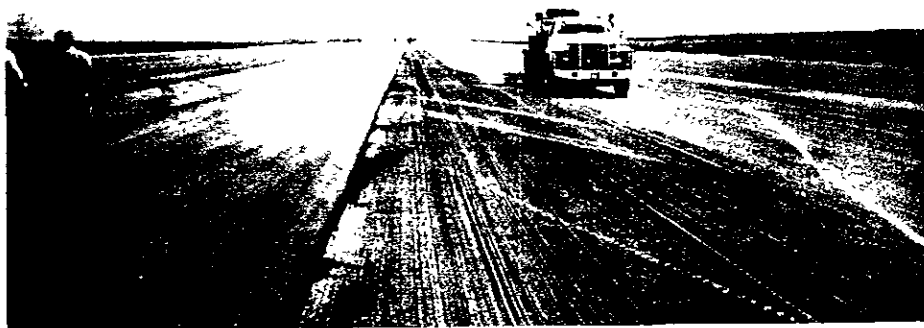




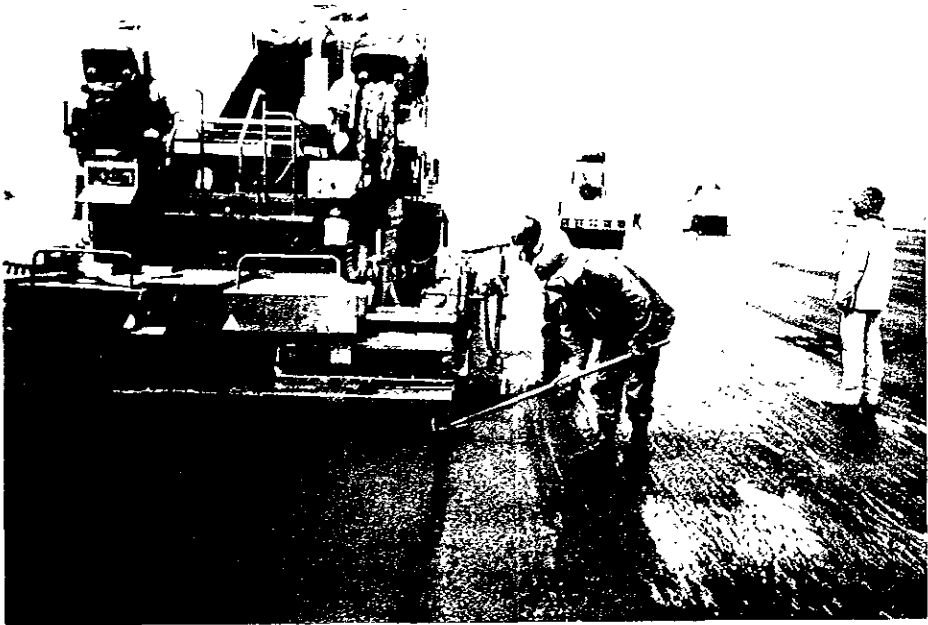
Fotografía No. 4. Se observan los trabajos correspondientes a la elaboración de la base negra. En primer plano la petrolizadora vaciando la emulsión, seguida de la mezcladora que incorpora la emulsión con el suelo. A su vez, se muestra a la pipa agregando el agua necesaria para facilitar el reparto de la emulsión.



**Fotografía No. 5.** Como se puede observar, a la base existente se le aplico una recompactación para alcanzar las especificaciones del proyecto, para posteriormente realizar el tendido de la base negra



**Fotografía No. 6.** En esta ilustración, se observa la petrolizadora aplicando el riego de taponamiento en la pista principal.



**Fotografía No. 7. Tendido de la capa de sello tipo open graded (Mezcla de grava de 3/8" y arena fina) en la pista del km. 1 + 520 al km. 2 + 260 cuerpo izquierdo.**

## **Anexo B. Carpetas delgadas de graduación abierta**

Las carpetas asfálticas elaboradas en caliente son generalmente divididas en tres grandes categorías dependiendo de su uso específico: mezclas de superficie, mezclas para capas intermedias y mezclas de base.

Dentro de las mezclas para capas de superficie o rodadura, se encuentra una mezcla de tipo especial usada para mejorar el coeficiente de adherencia neumático pavimento, eliminando el fenómeno de "aquaplaning", también conocida como mezclas porosas o drenantes. Estas mezclas presentan una serie de ventajas entre las que se encuentran:

- Elevada resistencia al deslizamiento bajo lluvia, así como la supresión de las proyecciones y pulverizaciones de agua al paso de los vehículos
- Elevada rugosidad geométrica, con la consiguiente alta resistencia al deslizamiento a elevadas velocidades
- Mejora de la visibilidad nocturna, cuando el pavimento esta mojado
- Notable disminución del ruido provocado por el tráfico
- Se fabrica en planta, sistema que permite una regularidad y calidad mejores.
- Flexibilidad ante deflexiones altas del pavimento y ante asentamientos lentos del mismo.
- La extensión y compactación de estas capas superficiales pueden hacerse con extendedoras y compactadoras, con altos rendimientos y una buena calidad y homogeneidad del trabajo.

Uno de los principales problemas que plantean las mezclas de este tipo son su durabilidad, propiedad que se encuentra relacionada entre otros factores con el tipo y porcentaje de ligante a emplear en su fabricación.

Al ser las mezclas porosas muy abiertas (contenido de huecos en mezcla entre 14 y 20 %), la película del ligante está expuesta constantemente a los efectos del aire, sol, agua, que pueden acelerar el envejecimiento y por tanto reducir la vida de servicio de la mezcla. En estas, al carecer de la fracción fina, debe ser el ligante quien asegure la cohesión del conjunto, necesitando por tanto una película gruesa de ligante que mejora la adhesividad frente al agua, aumentando la resistencia al envejecimiento, y por tanto, incrementar la durabilidad de la mezcla.

Esto exige trabajar con porcentajes de ligante relativamente altos, cosa difícil de conseguir con asfaltos normales, por los riesgos de fluencia que ello conlleva. Para evitar esto, lo mejor es recurrir al empleo de asfaltos modificados con hule molido recuperado de neumáticos, polímeros u otras sustancias, con los que se puede conseguir un mayor espesor de película, sin riesgos de fluencia, una cohesión mayor y flexibilidad, que se traducen en una mejor resistencia estructural del pavimento

### ESPECIFICACIONES DE CAPUFE.

#### MATERIALES PÉTREOS

Los materiales pétreos que se empleen en carpetas delgadas de graduación abierta deberán ser materiales limpios, duros y sanos, provenientes de rocas sanas, obtenidos de un tratamiento de trituración y cribado, deberán cumplir los siguientes requisitos:

##### a) Mineralogía

En laminas petrográficas no se deberá manifestar la presencia de minerales de arcilla o en proceso de intemperización, como expresión de la sanidad del material pétreo.

b) Calidad

Los materiales pétreos deberán satisfacer los siguientes requisitos:

Equivalente de Arena:	70 % Mínimo.
Contracción lineal:	0 %
Límite líquido:	25 % Máximo.
Desgaste de los Angeles:	30 % Máximo.
Absorción:	3 % Máximo.
Envejecimiento en horno, durante 96 horas, a 150 °C:	(Nulo)
Partículas Deleznables:	0 %
Angulosidad: Contenido de lajas, partículas alargadas y caras nuevas:	30 % Máximo.

Intemperismo acelerado: Cuando los resultados queden fuera de frontera, o existan dudas acerca de la sanidad de los agregados, se determinará la pérdida por intemperismo acelerado antes y después del secado de los materiales en la planta de asfalto. Si se dan diferencias significativas, el banco será rechazado.

d) Granulometría.

1. Tamaño máximo. El tamaño máximo de los agregados se fijará dependiendo del espesor de proyecto de la carpeta delgada de graduación abierta, de acuerdo con la tabla siguiente:

ESPESOR en cm.	Tamaño máximo de los agregados.	
	Milímetros	Pulgadas.
1.5	6.350	1/4"
2.0	9.535	3/8"
2.5	12.700	1/2"
3.0	15.875	5/8"

2. Granulometría. La granulometría de diseño deberá quedar comprendida en la zona granulométrica que corresponde al tamaño máximo de los agregados, conforme a la tabla siguiente:

MALLA	TAMAÑO MÁXIMO					
	1/4"		3/8"		1/2"	
	DE	A	DE	A	DE	A
5/8"					100	
1/2"			100		90	100
3/8"	100		85	100	70	90
1/4"	70	100	44	75	40	66
Num. 4	30	50	24	48	26	52
Num. 10	6	20	4	16	5	16
Num. 20	2	10	2	10	3	12
Num. 40	0	8	0	8	0	10
Num. 60	0	6	0	6	0	8
Num 100	0	4	0	4	0	6
Num. 200	0	3	0	3	0	4
Espesor mínimo de la capa, cm	2.0		2.5		3.0	

#### CEMENTOS ASFALTICOS

Los cementos que se empleen deberán seleccionarse para región climática en que se encuentre la obra. Estos podrán utilizarse solos o modificados según lo señale el proyecto.



AGENTES MODIFICADORES

Los agentes modificadores del cemento asfáltico podrán ser: hule molido recuperado de neumáticos, polímeros u otras sustancias, o bien combinación de los mismos, los cuales se incorporaran mediante procesos especiales, a fin de mejorar las características esfuerzo deformación y durabilidad de las carpetas delgadas de graduación abierta.

Cuando se emplean agentes modificadores, la experiencia ha demostrado que los mejores resultados se obtienen cuando las proporciones de los agentes modificadores se aplican en los siguientes rangos:

Hule molido:	12 a 24 %
Polímeros:	2.5 a 3.5 %

Los requisitos para estos son los siguientes:

1 Hule molido: Deberá tener la composición granulométrica que corresponde al porcentaje de hule que se incorpora, según la tabla siguiente.

Malla No.	HA 20 % Que pasa	HA 40 % Que pasa	HA 80 % Que pasa
10	100		
16	75-100		
20	55-90	100	
30	25-60	75-100	100
40	10-40	55-90	80-100
50	0-20	25-60	60-100
100	0-10	0-30	40-70
200	0-5	0-10	0-20
% Mínimo de hule en el asfalto	17	15	12

2 Polímeros: Cuando se empleen polímeros, se fijará en el diseño, el producto adecuado de marca registrada que cuente con la certificación correspondiente.

### MEZCLA ASFALTICA

Las mezclas que se elaboren de carpetas delgadas de graduación abierta deberán cumplir:

1) Para el procedimiento Marshall, lo indicado en la tabla siguiente:

Estabilidad mínima, kg.	200
Flujo en mm	2.0-4.0
Porcentaje de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen	14-20
Porcentaje en el vacio de los agregados minerales (V.A.M.)	24

2) Prueba de tensión indirecta, a 25°C, en kg/cm<sup>2</sup> Valor de diseño (Mas o menos 20%)

3) Deformación a la falla, a 25°C 2 % Máximo

### CONTROL DE CALIDAD

Se verificará y controlará que los agregados tengan la composición granulométrica fijada en el diseño de la mezcla asfáltica, y que estos no tengan diferencias significativas que repercutan en las propiedades de la mezcla como son: la estabilidad, el flujo, los vacíos, la tensión indirecta de deformación a la falla.

Se considerará que los agregados cumplen con el tamaño máximo, y su composición granulométrica está dentro de las siguientes tolerancias, respecto a la granulometría fijada en el diseño:

Malla	Tolerancia
Num. 4	$\pm 5 \%$
Num. 10	$\pm 4 \%$
Num. 40	$\pm 3 \%$
Num. 200	$\pm 1 \%$

Se obtendrán pastillas Marshall en las plantas de elaboración y en el lugar de utilización a efecto de verificar que cumplan con los requisitos de: Estabilidad, Flujo, y Vacíos, Tensión Indirecta y Deformación a la falla, se mantengan sin desviaciones significativas respecto a los valores fijados en especificaciones.

El contenido de asfalto, solo o modificado, en el mezcla deberá ser igual al contenido óptimo fijado en el diseño, aceptando en más o menos una tolerancia de 0.5 %.

La mezcla asfáltica, al salir de la planta deberá de tener una temperatura entre los 150 y 180° C. Se vigilara que la temperatura ambiente sea mayor de 10° C. y no exista peligro inminente de lluvia, antes de iniciar esta operación. La temperatura de la mezcla deberá ser superior a 135° C

Se vigilara que la compactación de la mezcla se realice a temperatura superior de 130° C siguiendo los procedimientos, y con el equipo de las características descritas en las especificaciones.

## Anexo C. Presupuesto

El presupuesto de los trabajos se obtiene a través de las cantidades de obra que fueron obtenidas por medios de la cuantificación geométrica multiplicados por los precios unitarios por unidad de obra terminada, que previamente fueron estructurados, considerando todos los materiales, mano de obra y equipo, así como los elementos que intervienen en la ejecución de los trabajos.

Cabe mencionar que estas cantidades de obra fueron elaboradas en la zona militar para la ejecución de los trabajos. Este presupuesto se obtuvo de informes existentes en la zona militar, no asimismo las matrices de los precios unitarios, a la que no se tuvo acceso debido al manejo independiente fuera de la administración de la obra.

A manera de ejemplo presento al final del presupuesto precios unitarios para obras de tipo privado, que solo sirven de guía para la elaboración de estos por que se deslindan completamente de los precios aquí mostrados por varias razones: el personal y la maquinaria pertenece a la S. D. N. por lo que no puede existir una paridad entre los precios

A continuación presento el presupuesto empleado en esta obra mismo que se desglosa en 2 secciones:

- a) Rehabilitación de pistas, rodajes y plataformas
- b) Construcción de la plataforma de mantenimiento

a) Presupuesto de los trabajos de rehabilitación de pistas, rodajes y plataforma

PARTIDA DE ALBAÑILERÍA

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
ALBE0020	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo al 1er km para carpeta, de 3/4" a finos, con Vehs S D N , Inc gastos de Opn C y L y mantenimiento preventivo	M3	17557.400	3.66	64,260.08
ALBE0029	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo al 1er km para sello pre-mezclado, de 1/4" a finos, con Vehs S D N , Inc. gastos de Opn. C y L y mantenimiento preventivo	M3	16650.480	3.66	60,940.76
ALBE0046	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo kms subsiguientes para carpeta, de 3/4" a finos, con Vehs S D N , Inc gastos de Opn. C y L y mantenimiento preventivo	M3	860312.600	0.75	645,234.45
ALBE0047	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo kms subsiguientes para sello premezclado, de 1/4" a finos, con Vehs S.D.N, Inc gastos de Opn C. y L y mantenimiento preventivo	M3	815873.520	0.75	611,905.14
ALBE0048	Acarreo en camión de volteo de material excedente Prod. de la escarificación perfilada de la carpeta, Inc. cargo con maquina S.D.N. Inc. gastos de Opn. C. y L. y mantenimiento preventivo.	M3	13139.000	9.97	130,995.83
ALBE0049	Acarreo en camión de volteo de material excedente Prod. de la escarificación perfilada de la carpeta, fuera de la obra km. subsiguiente, con Vehs S.D.N. Inc. gastos de Opn. C y L y mantenimiento preventivo	M3	78834.000	1.02	80,410.68
SUMA ALBAÑILERÍA					--- \$ 1,593,746.94

## PARTIDA DE YESERIA Y PINTURA

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
YEPIN112	Aplicación de pintura de esmalte para señalización de pistas de aterrizaje, calles de rodaje y plataformas	M2	17293 000	19 76	341,709 68
SUMA YESERIA Y PINTURA				----	\$ 341,709 68

## PARTIDA PAVIMENTOS

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
PAVI0018	Trazo y nivelación para conformar base hidráulica y/o base negra, en superficies mayores de 35,000 m2	M2	125410 000	0 24	30,098 40
PAVI0021	Base negra (asfáltica) de 15 cm de esp compactada al 100 % de la prueba aasbo modificada inc emulsión y equipo	M2	125410 000	28.10	3,524,021 00
PAVI0051	Riego asfáltico de impregnación a razón de 1 5 lts/m2, con emulsión de rompimiento medio, con petrolizadora Prop S.D.N., Inc: gastos Opn., C y L y Manto. preventivo	M2	125410.000	3.31	415,107 10
PAVI0056	Riego de liga con emulsión de rompimiento rápido a razón de 1 lt/m2, con petrolizadora Prop. S.D.N., Inc: gastos de Opn., C y L. y Manto. preventivo	M2	125410 000	2.19	274,647 90
PAVI0058	Riego de liga con emulsión de rompimiento rápido a razón de 0 8 lt/m2, para ligar sello, con petrolizadora Prop S.D.N., Inc: gastos de Opn., C. y L. y Manto. preventivo	M2	594660.000	1 83	1,088,22 7.80

PAV10070	Carpeta asfáltica de 10 cm de espesor compactada en capas de 5 cm al 100 % de la prueba Marshall	M2	125410 000	34 28	4,299,044 80
PAV10100	Recompactación de superficie descubierta para recibir base negra	M2	125410 000	0 28	35,114 80
PAV10105	Perfilado con recuperadora de carpeta asfáltica de 2 cm esp para recibir sello	M2	469250 000	0 22	103,235 00
PAV10106	Escarificado de carpeta asfáltica de 15 cm esp con recuperadora para conformar Base Negra	M2	125410 000	1 46	183,098 60
PAV10150	Limpieza gral. de superficie de base negra para recibir riego de impregnación y/o taponamiento	M2	594660.000	0 31	184,344 60
PAV10173	Limpieza general de la superficie impregnada para recibir riego de liga	M2	594660.000	0 32	190,291 20
PAV10296	Pruebas de laboratorio y control de calidad	M2	14,576 550	3.00	43,735 65
PAV10300	Colocación de sello Premezclado en planta de 2 cm espesor	M2	594660 000	12 16	7,231,065 60
PAV10301	Sello de taponamiento en carpeta perfilada con emulsión de rompimiento rápido.	M2	469250.000	4.05	1,900,462 50
SUMA PAVIMENTOS					19,502,504 95

Los costos de los trabajos de rehabilitación del pavimento de pistas, rodajes y plataforma, realizado con el procedimiento constructivo anteriormente descrito es de.

\$ 21,437,961.57 (Veintiún millones cuatrocientos treinta y siete mil novecientos sesenta y un pesos 57/100 m.n.)

b) Construcción de la plataforma de mantenimiento

## PARTIDA DE CIMENTACION Y ESTRUCTURA

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
CEYES100	Excavación en caja con maquinaria en terreno t.II Empleando Maq Prop S.D.N., Inc. gastos de Opn , Combustibles y Lubricantes y Mantenimiento preventivo	M3	55860 000	4.30	240,198 00
SUMA CIMENTACION Y ESTRUCTURA					---- \$ 240,198.00

## PARTIDA DE ALBAÑILERÍA

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
ALBE0013	Relleno con material merte (TEPETATE) en cajon de cimentación, compactado a maquina en capas de 20 cm de esp incl el agua necesaria para determinar el 95% prueba proctor, (Maq. S D N., Plaza Santa Lucia)	M3	46284.000	54 53	2,523,866 52
ALBE0017	Acarreo en camión de volteo S.D.N materiales pétreos de banco de préstamo al 1er km. de distancia de 1 1/2" a finos para Base, Inc gastos de Opn. C. y L. y mantenimiento preventivo.	M3	6703 200	3.66	24,533.71
ALBE0019	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo al 1er km. para Sub-base, de 2" a finos, con Vehs. S D.N., Inc. gastos de Opn C y L y mantenimiento preventivo.	M3	2010 960	3.66	7,360 11



ALBE0020	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo al 1er km para carpeta de 3/4" a finos, con Vehs S.D.N., Inc gastos de Opn C y L y mantenimiento preventivo	M3	1915 700	3 66	7,000 63
ALBE0029	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo al 1er km para sello pre-mezclado, de 1/4" a finos, con Vehs S.D.N., Inc gastos de Opn C y L y mantenimiento preventivo	M3	383 040	3 66	1,401 93
ALBE0034	Acarreo en camión de volteo de material producto de la excavación 1er km, Inc cargo a máquina con Vehs y Maq S.D.N., Inc gastos de Opn C y L y mantenimiento preventivo.	M3	78204 000	8 32	650,657 28
ALBE0043	Acarreo en camión de volteo de material producto de la excavación fuera de la obra km subsecuente, con Vehs S.D.N., Inc gastos de Opn C y L y mantenimiento preventivo	M3	782040 000	1 03	805,501 20
ALBE0044	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo al km. subsecuente, para base, de 1 1/2" a finos, con Vehs. S.D.N., Inc gastos de Opn C y L y mantenimiento preventivo.	M3	328456 800	0 75	246,342 60
ALBE0045	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo kms. subsecuentes para Sub-base, de 2" a finos, con Vehs S.D.N., Inc gastos de Opn C. y L. y mantenimiento preventivo.	M3	98537 040	0 75	73,902 78
ALBE0046	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo kms. subsecuentes para carpeta, de 3/4" a finos, con Vehs. S.D.N., Inc: gastos de Opn C. y L. y mantenimiento preventivo	M3	93844.800	0 75	70,383 60
ALBE0047	Acarreo en camión de volteo de materiales pétreos de banco de préstamo kms. subsecuentes para sello premezclado, de 1/4" a finos, con Vehs. S.D.N., Inc: gastos de Opn C. y L. y mantenimiento preventivo	M3	18768 960	0 75	14,076 72
SUMA ALBAÑILERÍA					--- \$ 4,425,036 08

## PARTIDA DE YESERIA Y PINTURA

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
YEPIN112	Aplicación de pintura de esmalte para señalización de pistas de aterrizaje, calles de rodaje y plataformas	M2	300 000	19 76	5,928 00
SUMA YESERIA Y PINTURA					... \$ 5,928 00

## PARTIDA PAVIMENTOS

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
PAVI0018	Trazo y nivelación para conformar base hidráulica y/o base negra, en superficies mayores de 35,000 m2	M2	15960 000	0.24	3,830 40
PAVI0019	Base de grava cementada compactada en capas no mayores de 20 cm., al 95 % prueba proctor estandar, con Maq Prop S D N , Inc gastos de Opn., C. y L. y Manto preventivo	M2	4788 000	70 66	338,320 08
PAVI0026	Sub-base compactada en capas no mayores de 20 cm de esp., empleando el 70 % de tepetate y el 30 % de grava cementada con Maq Prop S D N , Inc gastos de Opn , C y L. y Manto preventivo.	M2	4788.000	75 58	361,877 04
PAVI0051	Riego asfáltico de impregnación a razón de 1.5 lts/m2, con emulsión de rompimiento medio, con petrolizadora Prop. S.D N , Inc gastos Opn., C y L. y Manto. preventivo.	M2	15960.000	3.31	52,827 60
PAVI0056	Riego de liga con emulsión de rompimiento rápido a razón de 1 lt/m2, con petrolizadora Prop. S.D N., Inc gastos de Opn., C y L. y Manto. preventivo.	M2	15960.000	2.19	34,952 40

PAV0058	Riego de liga con emulsion de rompimiento rápido a razón de 0.8 lt/m <sup>2</sup> , para ligar sello, con petrolicadora Prop S D N, Inc gastos de Opn, C y L y Manto preventivo	M2	15960.000	1.83	29,206.80
PAV0070	Carpeta asfáltica de 10 cm de espesor compactada en capas de 5 cm al 100 % de la prueba Marshall	M2	15960.000	34.28	547,108.80
PAV0150	Limpieza gral. de superficie de base negra para recibir riego de impregnación y/o taponamiento	M2	15960.000	0.31	4,947.60
PAV0175	Limpieza general de la superficie impregnada para recibir riego de liga	M2	15960.000	0.32	5,107.20
PAV0296	Pruebas de laboratorio y control de calidad	M2	14578.55	1.00	14,578.55
PAV0300	Colocación de sello Premezclado en planta de 2 cm espesor.	M2	15960.000	12.16	194,073.60
SUMA PAVIMENTOS					--- \$ 1,586,830.07

Los costos de los trabajos construcción de la plataforma de mantenimiento, realizado con el procedimiento constructivo anteriormente descrito es de:

\$ 6,257,992.15 (Seis millones doscientos cincuenta y siete mil novecientos noventa y dos pesos 15/100 m.n.)

## CONCLUSIONES

Los aeropuertos como un medio de transporte y en este caso al servicio de las fuerzas armadas necesitan modernizarse y sobre todo contar con un mantenimiento constante de sus pistas de cualquier base aérea, dando por resultado un beneficio al pueblo de México, pues son conocidas las labores de ayuda y servicios que prestan a la nación.

Al término del presente trabajo de tesis, se observó que los trabajos ejecutados en la Base Aérea Militar No 1, ubicada en Sta. Lucia, fueron concluidos satisfactoriamente de acuerdo a las especificaciones planteadas al inicio de la obra y aunque a lo largo de su desarrollo se presentaron problemas, estos se solucionaron satisfactoriamente contando con la experiencia del personal adecuado para los trabajos ya mencionados.

Como en toda obra, los trabajos ejecutados en un principio, se realizaron con un grado mayor de variabilidad, por lo que toman mayor importancia los resultados de las pruebas de control de calidad y así acordar medidas preventivas y correctivas en caso de ser necesarias.

Un ejemplo a seguir fueron los trabajos efectuadas en las capas de terracerías para comprobar el grado de compactación de acuerdo con especificaciones; dado que algunas no alcanzaron el grado de compactación requerido, fueron reportadas en su momento y se propusieron acciones para alcanzar el grado requerido para las zonas representativas de tales calas, como se plantea en el capítulo 6 referente al control de calidad.

En el presente informe se puede apreciar el procedimiento constructivo de la plataforma de mantenimiento y así ver la construcción de la estructura para un pavimento de uso aeroportuario, mientras que el procedimiento de rehabilitación empleado en la plataforma y

estas permite ver la aplicación de tecnologías actuales de reciclaje como la reutilización del pavimento perfilado en frío y la sustitución de la superficie de rodamiento para colocar la carpeta delgada de graduación abierta en sustitución de los métodos comúnmente empleados en aeropuertos.

Al comparar ambas, tanto en problemas de ejecución como en precio, se observa la ventaja de las técnicas de reciclado sobre la construcción de obras similares a las existentes.

Con la rehabilitación de la BAM. No. 1 se espera contar con un aeropuerto funcional, eficiente y seguro para dar impulso a las operaciones aéreas de la zona militar correspondiente a esta base. Para conservarlo en buen estado, es necesario el mantenimiento preventivo constante, en caso contrario, se tendrán problemas de operación y pérdidas de tiempo significativas en reparaciones similares, donde se requirió 1 año para la ejecución de los trabajos dejando fuera de uso las instalaciones con las consecuentes molestias para los usuarios de la zona militar.

Por lo anterior concluyo que el proyecto cumplió con las finalidades establecidas en un principio tomando en cuenta que la funcionalidad del aeropuerto se elevara en forma continua, para dar una imagen realista en las bases aéreas, sobre todo en las militares.

## BIBLIOGRAFIA

PEP INGENIERIA DE SUELOS. Diseño de pavimentos para plataformas y hangares. México 1998

PEP INGENIERIA DE SUELOS. Control de calidad en terracerías y pavimentos. 1ero al 6o Informe mensual. México 1998.

Rico, R. Alfonso y Del Castillo, Hermillo (1993, 8va. ed.). La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Editorial Limusa, México.

Olivera, Fernando (1996, 2da. de.). Estructuración de vías terrestres. Compañía Editorial Continental, México.

Wright, H. Paul (1993). Ingeniería de carreteras. Editorial Limusa, México.

CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE INGRESOS CONEXOS. Normas para carpetas delgadas de graduación abierta. México, 1998.

Rivera E., Gustavo (1981 2a. de.). Emulsiones Asfálticas. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. Seminario internacional de pavimentos. Control de calidad en obras carreteras. México 1991.