

CAPITULO IV
PROYECTO ESTRUCTURAL.

4.1 Diseño del Pavimento.

Aplicando el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM del libro Estructuración de Vías Terrestres del M. en I., I. C. Fernando Olivera Bustamante, Profesor de Mecánica de suelos y Pavimentos, UNAM

Una vez obtenido los parámetros de calidad de los materiales que conforman el camino por proyectar que se tomaron en los sondeos a cielo abierto, y tomando en cuenta que una vez pavimentado dicho camino incrementará el flujo vehicular se determino diseñar dicha estructura con los parámetros mínimos requeridos para un camino tipo “C” aplicando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, para las componentes estructurales, obteniéndose los resultados que se describen a continuación.

Parámetros de diseño:

- | | |
|------------------|---------------|
| ➤ Tipo de camino | “C” |
| ➤ TDPA | 500 vehículos |

➤ Distribución vehicular:

Tipo	%	Vehículos
A2	15	75
A'2	25	125
B2	10	50
B3	5	25
C2	30	150
C3	5	25
C4	2	10
T3S2	6	30
T3S3	1	5
T3-S2-RA	1	5

Tabla 27. Distribución Vehicular

CARRETERA: CAMINO A SAN LUIS TEHUILOYOCAN
ESTACION MAESTRA: ESTACION SEMANAL KM 1+300
KM : 1+300

AÑO	No. DATOS	A	TDPA V	A2	PRODUCTO A x V
2000	1	0	500	0	0
2001	2	1	525	1	525
2002	3	2	569	4	1138
2003	4	3	575	9	1725
2004	5	4	567	16	2268
2005	6	5	538	25	2690
2006	7	6	525	36	3150
2007	8	7	510	49	3570
2008	9	8	459	64	3672
2009	10	9	530	81	4770
2010	11	10	547	100	5470
2011	12	11	515	121	5665
2012	13	12	509	144	6108
2013	14	13	587	169	7631
2014	15	14	513	196	7182
2015	16	15	500	225	7500
SUMA		28	8469	140	63064
		784			

Ao = 1752.14
A1 = 26.2543
i (Tasa de crecimiento anual) = 2.384569
V = 2487.2604
TDPA = 500

Tabla 28. Calculo de incremento anual

- Tasa de incremento anual 2.3%
- Periodo de diseño 15 años
- VRS Crítico de Sub-rasante 17.3%

Estructura necesaria del pavimento:

Con los datos del transito para un camino tipo “C” de 500 vehículos se procedió a calcular el transito acumulado durante 15 años de servicio que se espera durará la vida útil de este pavimento, obteniéndose:

Para;	Z= 0cm, Σ AL=	2,765,016
	Z=15cm, Σ AL=	1,922,682
	Z=30cm, Σ AL=	1,719,356
	Z=60cm, Σ AL=	1,847,919

Aplicando las fórmulas correspondientes a las gráficas de diseño de espesores y considerando un nivel de confianza del 80%, es decir $Q_u=0.8$, por tratar de un camino donde impacta de manera importante las condiciones socioeconómicas y políticas del lugar, esperando una calidad razonable durante la ejecución de la obra; se obtienen los espesores en grava equivalente, requerido sobre cada capa, como se indica a continuación:

Sobre la base hidráulica = 10.1cm G. E.

Sobre la Sub-rasante = 25.9cm G. E.

Sobre las terracerías = 25.9cm G. E.

CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO A SAN LUIS TEHUILOYOCAN MUNICIPIO SAN ANDRES CHOLULA
TRAMO DEL KM 0+600 AL KM 2+600
CÁLCULO DE ESPESORES, MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM.

Tipo de Vehículo	Composición de Vehículos en porcentaje	Coeficiente de distribución de Vehículos cargados o vacíos	Composición del tránsito de cargados o vacíos	Coeficientes de daño				No. DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 Ton.			
				Carpeta z = 0 cm	Base z = 15 cm	S/B y Terr. z = 30 cm	S/B y Terr. z = 60 cm	Carpeta z = 0 cm	Base z = 15 cm	S/B y Terr. z = 30 cm	S/B y Terr. z = 60 cm
Cargados		1.0	0.150	0.004	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Vacios		0.0	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.250	0.536	0.064	0.023	0.015	0.134	0.016	0.006	0.004
Vacios		0.0	0.000	0.536	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.100	2.000	1.495	1.589	1.701	0.200	0.150	0.159	0.170
Vacios		0.0	0.000	2.000	0.637	0.360	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.050	1.999	1.299	0.821	0.805	0.100	0.065	0.041	0.040
Vacios		0.0	0.000	1.999	0.279	0.076	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.300	2.000	1.495	1.589	1.701	0.600	0.449	0.477	0.510
Vacios		0.0	0.000	2.000	0.088	0.018	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.050	3.000	1.876	1.178	1.160	0.150	0.094	0.059	0.058
Vacios		0.0	0.000	3.000	0.127	0.030	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.020	4.000	2.771	2.456	2.937	0.080	0.055	0.049	0.059
Vacios		0.0	0.000	4.000	0.271	0.084	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.050	5.000	3.491	2.250	2.249	0.300	0.209	0.135	0.135
Vacios		0.0	0.000	5.000	0.113	0.023	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.010	6.000	5.239	4.746	5.768	0.060	0.052	0.047	0.058
Vacios		0.0	0.000	6.000	0.154	0.040	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargados		1.0	0.010	9.000	10.221	9.327	11.221	0.080	0.102	0.083	0.112
Vacios		0.0	0.000	9.000	4.243	0.081	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000			1.000					1.715	1.192	1.066	1.146
Tránsito diario promedio anual		500						250	250	250	250
Años de servicio		15						6.451	6.451	6.451	6.451
Veh. pesados en carril de proyecto								2.765.016	1.922.682	1.719.366	1.847.919
Tasa de crec. anual %				2.3			CT				
Ejes equivalentes para tránsito unitario											
TDPA Inicial en el carril de Proyecto											

CÁLCULO DE ESPESORES EN GRAVA EQUIVALENTE

VRS CRÍTICO DE:	Qu = 0.8	z _r , en cm	ESPESOR SOBRE (cm):			
			BASE	SUBBASE	TERRACERÍAS	ESPOR DE (cm):
BASE	100	0	10.1	10.1	10.1	CARPETA 10
SUBBASE	100	30 y 60	7.9	8.3	8.3	BASE -2
SUBRASANTE	17.3	30 y 60	25.7	25.9	25.9	SUBBASE 18
TERRACEAS	17.3	30 y 60	25.9	25.9	25.9	SUBRASANTE 0

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES:

Tabla 29. Calculo de espesores método de la UNAM

Aplicando los factores de equivalencia que el propio método recomienda, se estructura de la siguiente manera:

Carpeta asfáltica = 5.0cm

Base Hidráulica = 15.0cm

Sub-rasante = 30.0cm

Estructura que cubre perfectamente las necesidades del camino por proyectar.

4.2 Drenaje en vías terrestres.

Aunque los drenajes son una parte muy importante de los caminos solamente se hará una pequeña reseña acerca de estos pero no haremos un diseño de estos.

El elemento que causa mayores problemas a los caminos es el agua, pues en general disminuye la resistencia de los suelos, presentándose así fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Lo anterior obliga a construir el drenaje de tal forma que el agua se aleje a la mayor brevedad posible de la obra. En consecuencia, podría decirse que un buen drenaje es el alma de los caminos.

El drenaje superficial es un conjunto de obras que sirve para captar, conducir y alejar del camino el agua que puede causar problemas. Este tipo de drenaje es de

particular importancia para los caminos de poco tránsito que no cuentan con una superficie de rodamiento impermeable ni cunetas revestidas en los cuales los materiales que están más expuestos al ataque del agua. Por ello, para construir estos caminos y en general las vías terrestres, se requieren estudios cuidadosos del drenaje.

Al caer sobre la superficie terrestre, el agua de lluvia tiene varios destinos: escurre superficialmente, se infiltra en el subsuelo o se evapora. El agua que escurre de manera superficial se va uniendo y forma pequeños escurrideros que se convierten en arroyos y después en ríos los cuales llegan al mar o a una depresión continental como los lagos y las lagunas.

Cuando se construye un camino, casi siempre se corta el escurrimiento natural, permitiéndose el paso del agua solo en los sitios que se eligen para el proyecto, quien de esta manera aleja el agua del camino lo más pronto posible.

Así, el agua que antes de la construcción del camino corría libremente debe canalizarse en forma adecuada para concentrarse en estas obras, lo que origina las obras de capacitación y de conducción.

En resumen, al construirse un camino se modifican las condiciones del escurrimiento en las zonas que la vía atravesará, la cual puede causar problemas como erosiones e inundaciones. Asimismo, al construirse una vía, el agua que se infiltra al subsuelo tiende a aflorar por los taludes y la cama del camino, dañando la estabilidad; por ellos es necesario cortar los fluidos o profundizar el nivel de las aguas freáticas.

El estudio del drenaje debe iniciarse desde la elección de ruta eligiéndose una zona que tenga menos problemas de escurrimiento.

El estudio detallado del drenaje se lleva a cabo durante las etapas del anteproyecto (si lo hay) del proyecto definitivo. Los defectos de una mala elección de ruta se reflejan tanto en estas etapas como después, es decir, durante la construcción y operación del camino.

4.2.1 Clasificación.

El drenaje se clasifica en superficial y subterráneo, dependiendo de si el agua escurre o no por las capas de la corteza terrestre. El drenaje superficial se considera longitudinal o transversal, según la posición que las obras guarden con respecto al eje del camino.

El drenaje longitudinal, comprenderá las obras de captación y defensa, cuya ubicación es fijada por el proyecto geométrico del camino, calculando el área hidráulica requerida, sección, longitud pendiente, elevación del fondo y seleccionando el tipo y proyecto constructivo.

El drenaje transversal permite el paso del agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien la retira lo más pronto posible de la corona. El drenaje transversal estará constituido principalmente por alcantarillas, vados, puentes-vado y puentes.

4.2.2 Drenaje longitudinal

4.2.2.1 Cunetas.

Las cunetas son canales en los cortes que se hacen a los lados de la cama del camino y cuya función es interceptar el agua que escurre de la corona, del talud del corte y del terreno natural adyacente, para conducirla hacia una corriente natural o a una obra transversal y así alejarla lo más pronto posible de la zona que ocupa el camino.

Para calcular el área hidráulica de las cunetas es necesario tomar en cuenta las características del área por drenar. En la mayoría de los casos se considera suficiente utilizar una sección transversal triangular con una profundidad de 33cm, un ancho de 1 m y taludes, del lado de la corona de 3:1 y, del lado del corte, el que corresponda según el material que se encuentre.

La longitud de las cunetas no debe ser mayor de 250m; si sobrepasa esa cantidad, se debe construir una obra de alivio que permita reducir esa longitud al captar y conducir el caudal de la cuneta aguas abajo, fuera del camino.

También se han usado secciones rectangulares y trapezoidales, pero, en general, en caminos angostos no son muy estables y causan inseguridad y molestias a los usuarios cuando caen en ellas. Por lo anterior, suele usarse la sección triangular, que es más fácil de conservar con equipo mecánico.

Con el fin de evitar que el agua salga de las cunetas cuando el camino es sinuoso o que produzca azolve en los cambios de pendiente longitudinal, debe procurarse que no habrá cambios de velocidad, lo cual se logra mediante cambios de sección y transiciones adecuadas.

Cuando el material de las cunetas es erosionable, es preciso reducir la velocidad que alcance el agua disminuyendo la pendiente de la cuneta y provocando caídas para que el fondo de la cuneta este siempre por debajo de

La subrasante, o bien aumentando la sección del canal y generalmente están revestidas.

En los cajones de entrada con desarenador, el agua corre por cunetas y antes de llegar a la alcantarilla cae en la caja, la cual, a un nivel más bajo de la alcantarilla, tiene un depósito desarenador destinado a retener, por sedimentación, los arrastres que conduce la corriente de agua.

Estas obras son de gran importancia en el funcionamiento de los caminos, por lo que se debe tener especial cuidado al construirlas con la sección completa, tal que no se azolven con arrastres o derrumbes de los taludes adyacentes durante su operación, es decir, requieren de una conservación constante.

4.2.2.2 Bombeo.

El bombeo consiste en proporcionar a la corona del camino, ubicada en las tangentes del trazo horizontal, una pendiente transversal desde el centro del camino hasta los hombros. Su función es dar salida expedita al agua que caiga sobre el pavimento y evitar en lo posible que el líquido penetre en las terracerías.

En las curvas horizontales, el camino se sobreeleva en el hombro exterior con respecto al interior para contrarrestar la fuerza centrífuga. Dicha sobreelevación sirve también para dar salida al agua que cae en estas partes del camino, hacia el hombro interior.

En caminos rurales, cuya corona únicamente está revestida, el bombeo debe ser de 4% como máximo, sin embargo, para evitar la erosión en los terraplenes en balcón y en la superficie de rodamiento cuando la pendiente longitudinal sea fuerte, se dará a la corona una pendiente transversal continúa hacia el lado de corte hasta el 5%. Con objeto de desalojar con rapidez el

Agua hacia la cuneta, la sobreelevación máxima será del 10 %. El bombeo y la sobreelevación se harán cuando las terracerías se afinen y después se colocará el revestimiento necesario.

4.2.3 Alcantarillas.

Las alcantarillas se construyen a fin de dar paso a corrientes provenientes de hondonadas, arroyos, cañadas, zanjas de riego, drenaje superficial etc. Estarán constituidas por una parte central denominada “cañón” y dos extremos llamados “muros de cabeza” si la estructura es tubular y “aleros” en caso de que no sea de este tipo.

En ocasiones se podrá suprimir los muros de cabeza; en cuyo caso se deberá alargar el tubo 1.5 veces de diámetro fuera del talud del terraplén. Las alcantarillas se localizan por lo general en la parte más baja del lecho original de la corriente, con sus alturas y líneas de flujo adaptadas a las del cruce original.

4.2.4 Vados.

Este tipo de obras será el indicado para cruzar arroyos y ríos que tuvieran un cauce sensiblemente extendido. Durante la época de estiaje, permanecerá seco o llevará un escurrimiento insignificante; en raras ocasiones y durante pocas horas, tendrá una lámina de agua tal que impedirá el paso de vehículos. A cambio de lo descrito, la construcción del vado es sencilla y económica, en comparación con un puente y sus terracerías de acceso.

4.2.5 Puente vado.

Cuando se tuvieran escurrimientos importantes, y las interrupciones debidas a tirantes de agua fueran mayores de 30cm, frecuentes y de larga duración, el vado a nivel del cauce podría no satisfacer las condiciones de tránsito permanente.

En este caso se seleccionará el tipo de vado elevado sobre el cauce que permita alojar tubos o una losa.

4.2.6 Puentes.

Cuando se presente el caso de tener que cruzar un cause importante o una barranca, será necesario elaborar los estudios para la construcción de un puente; cuidando que el acceso al mismo, preferentemente sea en tangente.

4.2.7 Materiales para drenaje.

Los materiales utilizados en la construcción son los convencionales, es decir, concreto hidráulico, mampostería, lámina de acero, acero estructural morteros de cal y cemento. Dentro de lo posible, se procura el material de la región, como la madera y la piedra braza. Para este proyecto se mencionaron anteriormente en los bancos de materiales.

Para controlar la calidad de los materiales usados en las obras de drenaje se recurre a los laboratorios de obra, a las Unidades de Laboratorio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes o a otras instituciones oficiales o particulares.

4.3 Tipos de Carga.

Para el proyecto estructural de las obras de drenaje, es necesario conocer un vehículo tipo. En la elaboración de las especificaciones de carácter geométrico de caminos bajo tránsito, se considera conveniente utilizar las características de vehículo DE-427 con particularidades de concentración H-15, o sea un peso total de 15 toneladas inglesas que equivalen a 13608 Kg., de los cuales 2,722 Kg. están en las ruedas delanteras y 10,886 Kg. en las traseras.

Con cargas antes mencionadas, se efectuaron los cálculos de los Proyectos de Alcantarillas y Puentes para Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Se pueden utilizar además para el proyecto de las obras de drenaje; en otras publicaciones de esta Secretaría, como: “Proyectos Tipo de Obras de Drenaje” y “Estructuras para Puentes; Proyectos Tipo”, donde se indican que las cargas utilizadas corresponden a los vehículos T3-S2-R2 y T3-S3-R4.

4.4 Ejecución del proyecto.

De acuerdo a los datos obtenidos de la exploración en los sondeos se determina en promedio se necesita hacer un despalme de 20cm, para retirar el material de limo arcillo contaminado con escombros y basura de desechos inorgánicos, el material producto del despalme se acarreará a un banco de desperdicio que debe quedar ubicado a una distancia máxima de 2km, para lo cual

Se contara con el apoyo de las autoridades que estén a cargo por parte del municipio.

a) Tratamiento de la superficie descubierta del terreno natural: Una vez concluido el despalme en tramos no mayores de 500 m, se procederá a escarificar con máquina motoconformadora en un espesor de 10cm, acamellonado el material hacia una de las alas del camino, para recompactar primero la mitad del ancho del camino, hasta lograr el 90% respecto a su peso volumétrico seco máximo **AASHTO** (American Association of **S**tate **H**ighway and **T**ransportation **O**fficials.)

Luego de esto, se procederá a pasar el material acamellonado hacia la otra ala y también se procederá a recompactar la superficie del terreno descubierto hasta lograr el 90% de su peso volumétrico seco máximo, el material que primeramente se escarifico y se acamellono, servirá para complementar la mezcla para la formación de la capa sub.-rasante, este proceso se hará como se dijo en un principio en sub.-tramos de 500 m hasta concluir los 2,600 m. de este proyecto. (Ver Figuras 20 y 21)

Al sub-tramo en el que el terreno natural se encuentra al mismo nivel que los terrenos de labor colindantes, será preciso modificar la rasante; esto es elevar el nivel del camino para que se ubique por arriba de los terrenos de labor para evitar que el camino funcione ya sea como un canal que conduzca las aguas pluviales y/o que permita el transito del agua sobre la superficie de rodamiento ya que ello provocaría deposito de material sobre la corona del camino con el consecuente deterioro del mismo. Para subir la rasante, se procederá a la formación de terraplén; mismo que se ejecutara con material de banco en capas de ± 20 cms. compactadas

al 95% La altura de este terraplén se determinara en base al perfil y secciones topográficas que se levanten en el sitio; de donde se determinara el nivel de la subrasante del camino.

b) Construcción de la capa sub-rasante: Conforme a los cálculos de la estructura del pavimento y tomando en cuenta que por especificación la estructura del pavimento debe estar soportada sobre una subrasante de 30cm de espesor, se procesará como se indica a continuación:

Por Medio de cálculos se determinará qué volumen hace falta para completar los 30cm compactos, tomando en cuenta el material que ya se tiene en obra, producto de la escarificación de los 10cm del terreno natural que se tienen acamellonados en el sub-tramo preparado; el material para complementar la mezcla de la subrasante será de material de tezontle del banco Tecajete, ubicado conforme se indica en el cuadro de bancos.



Figura 23. Formación y compactación de capa subrasante.

Con los dos materiales en obra se procederá a mezclarlos con máquina motoconformadora, incrementando el agua suficiente cercana a la humedad óptima, hasta lograr su homogenización; posteriormente se procederá a extender, conformar y afinar la capa con el contenido de humedad óptima obtenida en laboratorio y que luego se aplique compactación con un vibro compactador, hasta lograr 95% de su peso volumétrico seco máximo AASHTO.



Figura 24. Riego sobre la capa subrasante.

c) Construcción de la capa base hidráulica: El material para este concepto será una grava – arena triturada cumpliendo con la granulometría especificada que va de 1 1/2” a finos respetando los límites de la curva que marca la SCT y se obtendrá del banco San Bernardino Chalchihuapan que se ubica como se indica en el cuadro de bancos, esta capa se colocará después de que se haya recibido tanto en calidad como niveles y compactación la capa subrasante, la capa se construirá

con un espesor de 15cm como se indico según el calculo de la estructura de este pavimento, el material que se emplee en esta capa deberá cumplir con las especificaciones marcadas en las normas generales de construcción de la SCT, usando una maquina motoconformadora el material se mezclara incrementando agua hasta lograr una humedad cercana a la optima, posteriormente se extenderá y se

Afinara para aplicar energía de compactación con rodillo vibro compactador hasta alcanzar el 95% de su peso volumétrico seco máximo AASTHO.



Figura 25. Material utilizado para la formación de la base hidráulica.

d) Riego de Impregnación: Se preparará la superficie de base hidráulica recibida tanto en niveles como en compactación, aplicando un barrido para eliminar el polvo y las partículas extrañas, posterior a esto se aplicara un riego con emulsión asfáltica del tipo ECM-60 a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, la superficie impregnada, deberá cerrarse al transito vehicular por lo menos 72 horas.

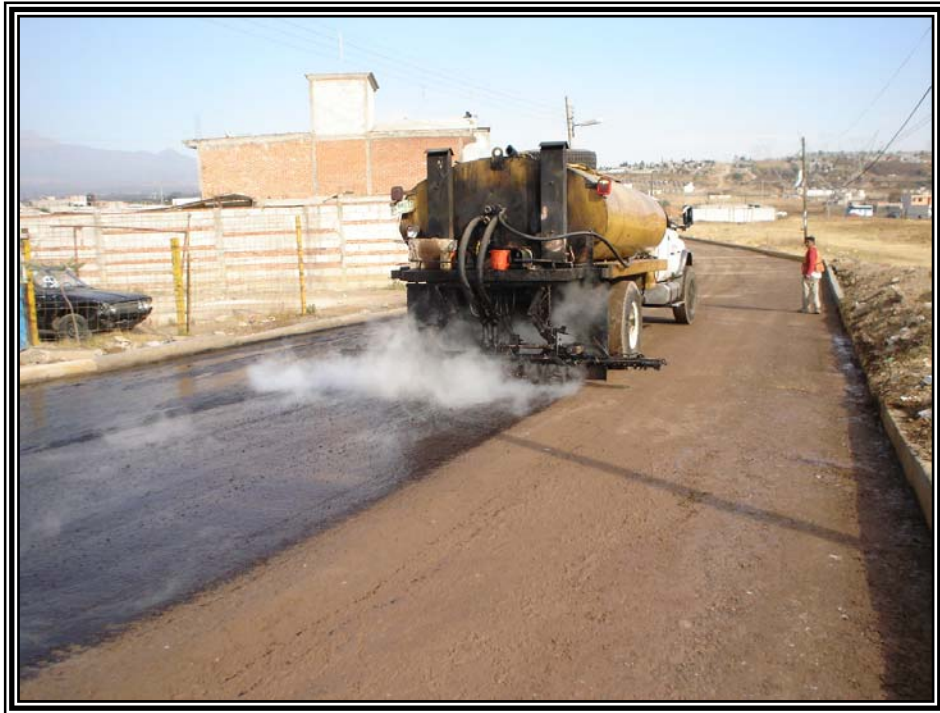


Figura 26. Riego de impregnación.

e) Riego de liga para recibir capa de carpeta asfáltica: Previo al tendido de carpeta asfáltica y después de barrer la superficie, se procederá a aplicar un riego de liga con emulsión asfáltica ECR-65 a razón de 0.5 litros por metro cuadrado, esperando que rompa la emulsión para continuar con la etapa siguiente.



Figura 27. Riego de liga previo al tendido de la carpeta asfáltica.

f) Construcción de la capa carpeta asfáltica: Con material de concreto asfáltico de tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ " , elaborado con cemento asfáltico AC-20, se construirá la capa de carpeta asfáltica, en un espesor de 5.0cm que provendrá de alguna de las plantas asfálticas instaladas en la zona del corredor industrial Chachapa en Puebla, el material pétreo que se emplee en la elaboración de la mezcla será del banco Derrumbadas, ubicado como se indica en el cuadro de bancos.



Figura 28. Tendido de carpeta asfáltica.



Figura 29. Compactación Carpeta asfáltica mediante un rodillo tandem.

g) Obras complementarias: Para la ejecución de este proyecto, será necesario determinar y construir las obras complementarias necesarias que básicamente se refieren a drenaje menor como es la construcción de cunetas a lo largo del camino y construcción de guarniciones en la zona urbana.

h) Control de calidad: Durante todas las etapas de construcción, se deberá contar con un laboratorio de campo que cheque la calidad de materiales y compactación de los mismos para garantizar la calidad de la obra.



Figura 30. Obtención del grado de compactación en la capa de base hidráulica

i) Especificaciones generales: Regirán las normas para construcción e instalaciones: (Complemento de las especificaciones Generales), y el manual de dispositivos para el Control del Transito en calles y carreteras, de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Normas para construcción e instalaciones, Libro 3, parte: 3.01, titulo: 3.01.03, capítulos: 3.01.03-073 (Materiales para construcción de Sub-bases y bases); 3.01.03.074 (Sub-base y Bases); 3.01.03-75 (Materiales para la construcción de Carpetas y mezclas Asfálticas); 3.01.03-76; (Materiales Asfálticos); 3.01.03-078 (Riegos de Impregnación); 3.01.03-081 (Carpetas de concreto Asfáltico); 3.0103-085 (Acarreos de materiales para Pavimentos).