

UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios incorporados a la  
Universidad Nacional Autónoma de México.



VINCE IN BONO MALUM

**"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS  
A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO"**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :**

**SALVADOR VARELA SOTOMAYOR**

Asesor: Ing. Fernando Ocampo Canabal

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1991



## **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 está 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.

## DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO

### CAPITULO I

#### INTRODUCCION.

##### 1.1.- BREVE HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS .

Desde que el hombre existe tuvo que trasladarse de un lugar a otro. Así los primeros seres humanos eran nómadas que formaban veredas al deambular por las regiones próximas a sus casas para conseguir alimento; al tornarse sedentarios usaron estos caminos para comunicar una tribu con la otra.

Estos caminos no sólo sirvieron para comunicar a las tribus sino que también tuvieron finalidades comerciales, religiosas y de conquista para los pueblos que de ellos hacían uso, tornándose entonces, la posesión de ellos y su construcción y mantenimiento, actividad importante para los pueblos.

Antes de ser descubierto el uso de la rueda, las veredas sólo eran transitadas a pie o con bestias lo cual implicaba que el trazo de la vereda y la superficie de rodamiento fueran de mala calidad. Con el uso de la rueda surgieron las primeras carretas tiradas por hombres o por bestias, lo que hizo que la superficie de rodamiento de las veredas se acondicionara para facilitar el empuje de las carretas y se construyeran así los primeros caminos.

Tenemos noticias de caminos, entre las civilizaciones Fenicias, Egipcias y Griegas. Si los caminos cruzaban terrenos firmes no necesitaban de mayor recubrimiento, pero si estos pasaban a través de zonas blandas o lodazales, tenían que mejorar sus condiciones de los caminos; para esto colocaban piedras de tal manera

que evitara que sus pies o las ruedas de las carretas resbalaran o se incrustaran en el terreno; pero el solo poner las piedras, aun - que evitaba ciertos problemas, originaba otros; así pues probaron - colocar piedras de diferentes tamaños o piedras machacadas hasta - que llegaron a la creación de los empedrados.

Durante el Imperio Romano se crearon las primeras carreteras - como la Vía Apia en la que se realizaban eventos como carreras de - carretas, estos caminos hasta el día de hoy existen y podemos de - cir que los romanos crearon la primera tecnología para la construc - ción de caminos.

En América también encontramos como en la Península de Yucatán los caminos blancos hechos por los mayas, los cuales eran terrapie - nes de dos metros de altura, recubiertos por piedras calizas, que - dan un color blanco y por eso se llamaban así.

Por mucho tiempo los caminos fueron para tránsito peatonal, ani - mal y de carretas y las cargas que eran transportadas por estos me - dios eran de bajo peso.

A finales del siglo XIX con el invento del automóvil, los anti - guos caminos de carretas se convirtieron en caminos para tránsito -- vehicular sufriendo grandes modificaciones en su estructura y geome - tría, ya que las cargas y el número de vehículos que transitaban so - bre ellos se habían incrementado.

En México han existido caminos desde la época precortesiana; a - la llegada de los españoles se introdujeron las carretas, creando -- así los primeros caminos para estos vehículos; así era famoso el ca - mino que unía el Puerto de Acapulco con la Ciudad de México y a esta

con Puebla y Veracruz.

A principios de este siglo fueron introducidos los primeros vehículos automotores al país y después de la Revolución, en la década de los veinte, se inicia la construcción de carreteras para tránsito de automóviles con ayuda extranjera.

A partir de 1940 se realizan carreteras que son construidas por ingenieros mexicanos. Y así hoy en día México posee una extensa red de carreteras y caminos que comunican al país.

## 1.2. PAVIMENTO

Podemos definir el pavimento como :

UN CONJUNTO DE CAPAS DE MATERIALES SELECCIONADOS, QUE RECIBEN Y RESISTEN LA CARGA DE TRANSITO Y LA TRANSMITEN ADECUADAMENTE DISTRIBUIDA A LAS CAPAS INFERIORES, PROPORCIONANDO LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO PARA QUE EL TRANSITO SE DESARROLLE EN FORMA RAPIDA Y COMODA

De acuerdo a la teoría de esfuerzos de Boussinesq, los esfuerzos producidos por una carga "P" son menores con la profundidad (Fig. 1.1.) por lo que los materiales con los que se construye un pavimento, deben tener la suficiente calidad para resistir los esfuerzos a los que se ven sometidos y los materiales que forman las terracerías pueden ser de calidad menor, ya que los esfuerzos, como lo demostró Boussinesq, son menores a mayor profundidad. De cualquier forma los materiales deberán de cumplir con ciertas normas de calidad, ya que el espesor del pavimento depende tanto de los esfuerzos producidos por el tránsito como de la calidad de las terracerías. Ref. (4) Ref. (5)

Como se indicó al definir un pavimento, este deberá proporcionar una superficie de rodamiento, de tal manera que la circulación sea rápida y cómoda; esto estará en función del tipo de carretera que se desea, ya que en aquellas donde el tránsito vehicular de pasajeros sea mayor, la circulación deberá de ser rápida; pero en donde el tránsito sea de vehículos de carga, el tránsito será lento

Serán función además de las condiciones mencionadas: el alineamiento vertical y horizontal de las carreteras, y para que el diseño sea funcional, también es conveniente considerar la vida útil y el mantenimiento que se tendrá a lo largo de ésta para po -

der minimizar los gastos en reparaciones y tener un mínimo de defectos, logrando así pavimentos de primera calidad.

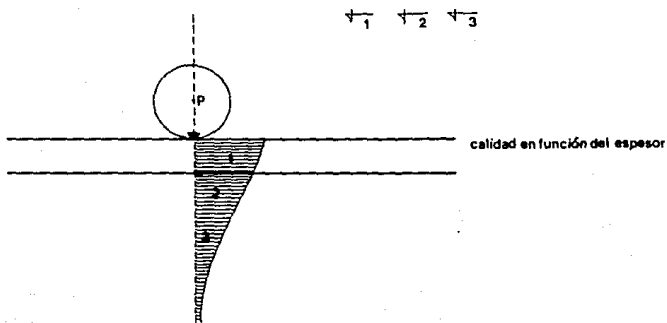


FIGURA 1.1 Distribución de esfuerzos según Boussineq.

### 1.3. TIPOS DE PAVIMENTO.

Los pavimentos se clasifican de acuerdo a la superficie de rodamiento y a la forma que transmiten los esfuerzos a las capas inferiores, así tenemos dos tipos de pavimentos : los flexibles y los rígidos.

#### PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Los pavimentos flexibles se caracterizan porque la capa superior o de rodamiento está conformada por una carpeta asfáltica, esta carpeta asfáltica admite pequeñas deformaciones de su estructura plegándose el pavimento sin que exista falla estructural. Los esfuerzos en este tipo de pavimento son transmitidos a las capas inferiores a través de la cohesión y fricción entre las partículas de los materiales; de esta manera el pavimento no actúa como un cuerpo compacto, sino que realiza la transmisión de esfuerzos a una velocidad menor. El pavimento flexible está formado por las siguientes capas :

- a) Carpeta asfáltica
- b) Base
- c) Sub-base. (Cuando es necesaria dependiendo del espesor del pavimento).

Todas estas capas construidas sobre la capa subrasante (Fig.1.2.)



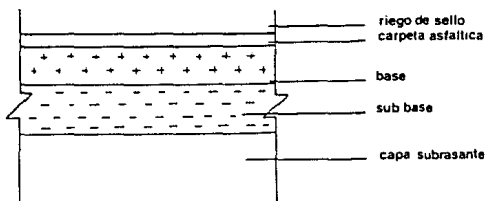


figura 1.2. Sección Transversal típica de un pavimento flexible.

#### PAVIMENTOS RIGIDOS.

El pavimento rígido es aquel que tiene como capa superior o su superficie de rodamiento una losa de concreto hidráulico.

La transmisión de esfuerzos a las capas inferiores se realiza a una velocidad mayor que la de un pavimento flexible y se lleva a cabo por toda la superficie de la losa de concreto hidráulico y las losas adyacentes actuando todo como un cuerpo monolítico. La losa de concreto no se pliega si existe una deformación de las capas inferiores y se rompe por fracturamiento.

Con el paso de los vehículos, los finos pueden ser bombeados a la superficie, si la unión entre losas no está sellada, originando con esto la falla y presentando rupturas en las esquinas o en las orillas

de la losa.

El pavimento rígido está compuesto en su sección transversal por las siguientes capas:

a) Losa de concreto hidráulico.

b) Sub-base: para evitar el bombeo de los finos cuando por la junta entre losas sale el material de las terracerías.

Estas dos capas están construídas sobre la subrasante . (Fig. 1.3)

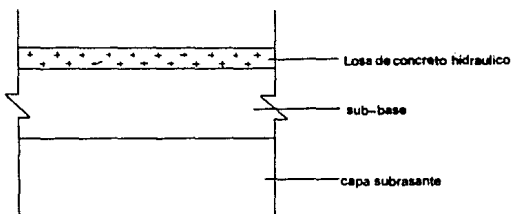


Figura 1.3 Sección transversal típica de un pavimento rígido

#### 1.4. PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO.

La utilización de adoquines para la pavimentación de caminos es muy antigua, los romanos hicieron sus "Vías" utilizando adoquines.

Hoy en día el uso de adoquines de piedra labrada ha sido substituido por el uso de adoquines de concreto, los cuales por su facilidad de fabricación resultan económicos para pavimentar una -- área o camino.

La aplicación de adoquines de concreto se usa en infinidad de lugares, por ejemplo en fraccionamientos o conjuntos residenciales en fábricas o lugares donde el tránsito de vehículos pesados es -- notorio, como en patios de maniobras.

Los adoquines de concreto utilizados como pavimento, satisfacen la definición que se dió de este, ya que constituyen una capa que recibe el tránsito y transmite adecuadamente a las capas inferiores, los esfuerzos originados por éste, también proporciona -- una calidad rodante conveniente para vehículos que transitan a velocidades de 50 a 60 Km./hr. que son las que se dan como máximo -- en fraccionamientos, zonas residenciales y fábricas.

La utilización de adoquines de concreto representa ventajas -- como : durabilidad, buena apariencia, colocación sencilla y barata y aunque la inversión inicial es relativamente elevada en la adquisición del material, su construcción es barata y mas barato -- aún es su mantenimiento, ya que puede volver a utilizarse el adoquín para hacer reparaciones, además de tener una vida útil de alrededor de 25 a 45 años.

Otra de las ventajas de los adoquines de concreto es su gran dureza y su alta resistencia al impacto y no sufren daños estruc-

turales a causa de los derrames de aceite.

En áreas propensas a hundimientos diferenciales del terreno como puede ser en la antigua zona lacustre de la Ciudad de México -- los adoquines de concreto tienen la ventaja de que si es muy grande el hundimiento, se pueden levantar, renivelar la terracería, corregir la falla y volver a colocarlos; así prácticamente las operaciones de bacheo se realizan con el mismo material.

El acceso a las instalaciones de drenaje, agua y luz, que generalmente están abajo de las calles, se realizan más rápidamente ya que solo se necesita levantar los adoquines y las capas inferiores del pavimento, llegar a la instalación que se busca, realizar el -- trabajo, rellenar y luego volverlos a colocar, pudiendo transitar los vehículos inmediatamente después de terminar la reparación, quedando prácticamente imperceptible el arreglo.

El uso de adoquines de concreto se ha generalizado en Europa -- a partir de la década de los cincuentas. En nuestro país, el uso es limitado quizás por la falta de información que se tiene al respecto. Se puede pensar por ejemplo que en las industrias resiste más -- una losa de concreto de veinte centímetros de espesor doblemente -- armada, que un pavimento para tránsito pesado de adoquín de concreto.

No obstante existen algunos fraccionamientos residenciales que han hecho uso del adoquín de concreto más por su apariencia que -- por su economía o su funcionalidad, pero con el paso del tiempo se ha observado que además de la característica buscada de apariencia dan menores costos en su mantenimiento así como mejores características de funcionalidad

Este trabajo pretende dar a conocer la manera en que un pavimento hecho a base de adoquines de concreto, puede resultar una forma más económica y duradera para construir pavimentos, tanto industriales como residenciales.

### 1.5 SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN PAVIMENTO A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO.

De acuerdo al tipo de carga que van a soportar los pavimentos de adoquín a lo largo de su vida, se pueden dividir en :

- a) Pavimentos para tránsito ligero ó urbano.
- b) Pavimentos para tránsito pesado ó industrial.

#### PAVIMENTOS PARA TRANSITO LIGERO O URBANO

Un pavimento de adoquín de concreto está formado en su sección transversal por las siguientes partes:

- 1) Sub-base
- 2) Plantilla: una capa de cinco centímetros de arena fina.
- 3) Adoquinado.
- 4) Guarnición: Borde firme que evita el desplazamiento de los adoquines.

La sección típica de un pavimento de estas características, la podemos ver en la figura 1.4.

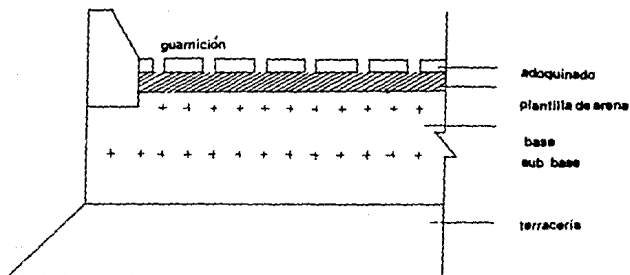


Figura 1.4 Sección típica de un pavimento de adoquín para tránsito

## PAVIMENTOS DE ADOQUIN PARA TRANSITO PESADO O INDUSTRIAL.

Un pavimento de adoquín de concreto para tránsito pesado o industrial, debido a las cargas que soporta, tendrá una base para hacerlo más rígido y poder soportar así mejor las cargas.

Una sección típica transversal de estos pavimentos, está compuesta por :

- 1 ) Sub-base
- 2 ) Base
- 3 ) Plantilla : una capa de cinco centímetros de arena fina
- 4 ) Guarnición, para evitar desplazamiento de adoquines.

Esto lo podemos observar en la figura 1.5.

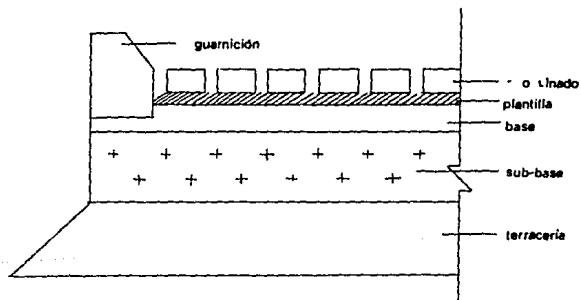


Figura 1.5. Sección típica de un pavimento de adoquín de concreto para tránsito pesado o industrial.

### 1.5 SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN PAVIMENTO A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO.

De acuerdo al tipo de carga que van a soportar los pavimentos de adoquín a lo largo de su vida, se pueden dividir en :

- a) Pavimentos para tránsito ligero ó urbano.
- b) Pavimentos para tránsito pesado ó industrial.

#### PAVIMENTOS PARA TRANSITO LIGERO O URBANO

Un pavimento de adoquín de concreto está formado en su sección transversal por las siguientes partes:

- 1) Sub-base
- 2) Plantilla: una capa de cinco centímetros de arena fina.
- 3) Adoquinado.
- 4) Guarnición: Borde firme que evita el desplazamiento de los adoquines.

La sección típica de un pavimento de estas características, la podemos ver en la figura 1.4.

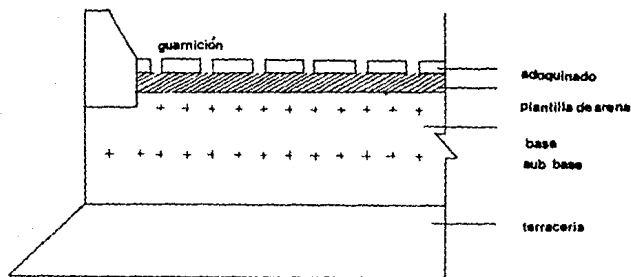


Figura 1.4 Sección típica de un pavimento de adoquín para tránsito



#### PAVIMENTOS DE ADOQUIN PARA TRANSITO PESADO O INDUSTRIAL.

Un pavimento de adoquín de concreto para tránsito pesado o industrial, debido a las cargas que soporta, tendrá una base para hacerlo más rígido y poder soportar así mejor las cargas.

Una sección típica transversal de estos pavimentos, está compuesta por :

- 1 ) Sub-base
- 2 ) Base
- 3 ) Plantilla : una capa de cinco centímetros de arena fina
- 4 ) Guarnición, para evitar desplazamiento de adoquines.

Esto lo podemos observar en la figura 1.5.

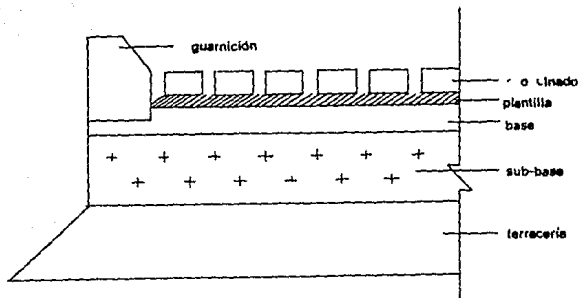


Figura 1.5. Sección típica de un pavimento de adoquín de concreto para tránsito pesado o industrial.

1.6. COMPARACION EN EL COSTO DE UNA CARPETA DE ASFALTO\*UNA LOSA DE CONCRETO Y UN ADOQUINADO A BASE DE ADOCRETO.

Para hacer una comparación entre los costos de diferentes tipos de pavimento, fué necesario tomar en cuenta de acuerdo a valores reales de mercado en julio de 1988 (cuyo análisis como tal, no es objeto de este trabajo ) los precios de cada uno de estos pavimentos.

a).- El costo de una carpeta asfáltica de 8 cm. de espesor incluyen los riegos de liga e impregnación, serían por metro cuadrado de \$ 12 000.-

b).- El costo para una losa de concreto hidráulico fc 250 Kg./cm<sup>2</sup> de un espesor de 20 cm., armada con varilla del # 3 a cada 20 cm. en ambos sentidos sería por metro cuadrado de \$ 55 000.

c).- El costo para un adoquinado hecho a base de adocreto tipo cruz de 6 cm. de espesor incluyendo su cama de arena, sería por metro cuadrado de \$ 14 000.-

De donde observamos que :

El pavimento de adocreto en comparación con la losa de concreto es 3.9 veces más barato y en comparación con la carpeta de asfalto 1.1 veces más caro, de donde resulta ser una buena opción, al considerarse este tipo de pavimento como una posibilidad en la construcción de calles o avenidas.

Al tener un costo inicial bajo y un mantenimiento casi nulo, resulta también a largo plazo, una opción interesante, porque al amortizar el costo a lo largo de la vida de diseño, este se reduce grandemente.

# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO

## CAPITULO II

### COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS PAVIMENTOS

- 2.1. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES
- 2.2 TIPOS DE ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RIGIDOS
- 2.3.ESFUERZOS EN LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO
- 2.4.RESUMEN Y CONCLUSION.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO  
COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS PAVIMENTOS

2.1.DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Desde la aparición del automóvil, se ha tratado de procurar caminos con superficie de rodamiento y resistencia adecuada al tránsito. Para poder lograr ésto se han ideado numerosos procedimientos para estructurar la sección transversal de los caminos.

Debido a que estos procedimientos son de tipo empírico no se han podido englobar en forma técnica o en una sola fórmula todas las variables que afectan el comportamiento de los pavimentos. Pero es importante conocer los estudios teóricos que se han hecho y que dan una idea de la forma como se comporta el pavimento.

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen dos tipos de pavimentos, de acuerdo a su comportamiento y estructuración: los flexibles y los rígidos; debido a esto los esfuerzos son distintos para un pavimento flexible que para un pavimento rígido.

Los pavimentos flexibles se caracterizan por aceptar pequeñas deformaciones que transmiten los esfuerzos a las capas inferiores por cohesión y fricción de una manera lenta

En los pavimentos flexibles se puede observar que las cargas que producen esfuerzos importantes y de consideración, son las producidas por el tránsito de vehículos pesados, existiendo un criterio para evaluar dichos esfuerzos, siendo éste el estudio realizado por Boussinesq. Ref (3), Ref. (4)

TEORIA DE BOUSSINESQ.

La teoría de Boussinesq, se basa en la teoría de la elasticidad y se aplica para calcular la distribución de esfuerzos inducidos por una carga superficial concentrada através de una masa

homogénea e isotrópica de dimensiones semi infinitas, planteando para su solución la siguiente ecuación.

Ref. 3

$$\sigma_z = \frac{K P}{z^2}$$

#### ECUACION 2.1.

En donde:

$\sigma_z$  = Esfuerzo normal sobre una partícula

Z = Profundidad de estudio de la partícula

r = Distancia de la partícula a la carga concentrada

K = Valor dado por la siguiente formula

P = Carga concentrada aplicada en un punto

$$K = \left( \frac{3}{2\pi} \right) \left( \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{3/2}$$

#### ECUACION 2.2.

Es mas sencillo consultar tablas para el cálculo de K, ya que a partir de la relación r/z se puede obtener el valor de K y luego con este el valor de  $\sigma_z$

Si encontramos los valores de  $\sigma_z$  para distintas profundidades- podemos obtener la siguiente gráfica. Fig. 2.1.

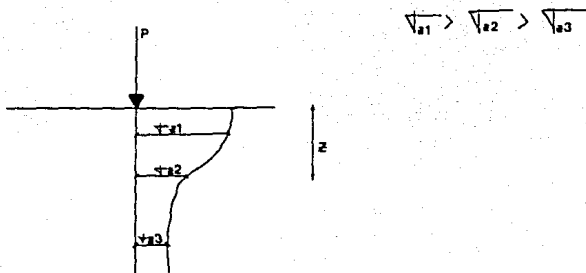


Figura 2.1. GRAFICA DE DIFERENTES VALORES DE  $\sigma$  PARA DISTINTAS PROFUNDIDADES  $z$

En esta gráfica podemos observar que al aumentar la profundidad los esfuerzos disminuyen. Ahora bien, para el estudio de pavimentos, el caso que interesa es el de una área circular uniformemente cargada, lo cual representa el contacto entre las llantas y la superficie de rodaje. Para obtener la solución se integra la ecuación anterior llegando a la siguiente expresión.

$$\sigma_a = W \cdot W_0$$

$$W_0 = 1 - \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{z}{r}\right)^2} \right]^{3/2}$$

ECUACION 2.3.

Donde :  $W$  es la carga uniformemente repartida

Al igual que la fórmula anterior, podemos observar que al aumentar la profundidad, disminuyen los esfuerzos; para el cálculo práctico de ésta solución se cuentan con los NOMOGRAMAS de Newmark y los valores tabulados de Ahlvin y Ulery. Ref. (3)

Ahora bien, el problema de un pavimento es que no está formado por una masa de suelo homogéneo, sino que está formado por varias capas de suelo de distintas propiedades cada una y para poder absorber estas condiciones se utiliza la teoría de Burmister, para la distribución de esfuerzos en suelos estratificados. Ref. (3) (4) -- (5) ; que al igual que lo establecido por Boussinesq demuestra que los esfuerzos disminuyen con la profundidad.

En conclusión, aunque podemos predecir como se comporta un suelo utilizando las fórmulas anteriormente citadas, los resultados obtenidos serían para un caso muy localizado y teórico. Un camino al pasar por diferentes lugares, presentará diferentes características, lo cual haría muy difícil el usar una de estas fórmulas para el estudio del comportamiento del suelo; por lo cual los diferentes métodos para el diseño de la sección transversal de un pavimento a veces son empíricos y muchas veces son muy locales; pues no son las mismas condiciones en Siberia que en el Amazonas.

Existen diversos métodos para calcular la sección transversal de un pavimento, estos son: el método de Hveem, el método Triaxial de Texas, el método del valor relativo de soporte, el del cuerpo de ingenieros y el método de la prueba de Porter modificado o Patron.

Una descripción completa de estos métodos se encuentra en la referencia 4.

## 2.2. TIPOS DE ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RIGIDOS

Debido a que en un pavimento rígido la losa absorbe prácticamente todos los esfuerzos y además de que es una estructura aparte, del cuerpo del terraplén, ésta presenta esfuerzos propios, los cuales son:

- a) Debidos al tránsito.
- b) Debidos a los cambios de temperatura.
- c) Debidos a las condiciones de apoyo.

Para poder estudiar estos esfuerzos tenemos que considerar a -- los elementos externos que actúan sobre la losa de concreto.

### a) ESFUERZOS DEBIDOS AL TRANSITO.

Si analizamos la posición que puede tener la llanta de un vehículo sobre la losa de concreto, podemos observar tres condiciones.

2.2.1.-Cuando la huella de la llanta es tangente a dos orillas de una losa, es decir se encuentra en la esquina . ( Fig. 2.2.)

2.2.2.-Cuando la huella de la llanta es tangente a una orilla de -- la losa. ( Fig. 2.3.)

2.2.3.-Cuando la huella de la llanta está hacia el centro de la losa Fig. ( 2.4.)

Para el análisis de los esfuerzos se tomaron las siguientes hipótesis :

- a) La losa está formada por un material elástico, homogéneo e isotrópico.
  - b) Los esfuerzos de interacción entre la losa y el suelo son verticales y proporcionales a las deflexiones de la losa, siendo esta horizontal de espesor continuo (1) ;se puede hacer notar que :
- Las tres posiciones señaladas de la rueda originan un estado parti-



cular de esfuerzos para cada caso. En el caso de los esfuerzos de --  
 compresión producidos por las posiciones de la llanta, son de poca -  
 importancia, ya que el concreto absorbe y resiste de una manera efi--  
 ciente estos esfuerzos, pero para el caso de esfuerzos de tensión el  
 concreto no es capaz en forma práctica de tomar este tipo de esfuer-  
 zos, por lo que estos se constituyen en objeto de estudio.

2.2.1.- Para el caso de que la huella de la llanta se encuentre en -  
 la esquina de la losa, ésta se comporta como un cantiliver, de tal-  
 manera que los esfuerzos principales de tensión se presentan en la -  
 parte superior de la losa formando un ángulo de 45 grados con las ori-  
 llas segun lo muestra la figura 2.2. En este caso los esfuerzos se ---  
 den evaluar con la siguiente fórmula: ref (4)

$$\sigma_z = \frac{3P}{d} \left[ 1 - \left( \frac{z}{c} \right)^2 \right]$$

$$Z = \sqrt{\frac{E d^3}{12 (1 - \mu^2) k}}$$

ECUACION 2.4

Donde:

- P = Carga transmitida a la losa a través de la llanta (lb)
- a = Semieje de la elipse que representa la huella de la llanta correspondiente al eje paralelo a la orilla de la junta (plg)
- d = Espesor de la losa (plg)
- E = Módulo de elasticidad del concreto (lb/plg<sup>2</sup>)
- $\mu$  = Relación de Poisson en el concreto (0.15)
- k = Módulo de reacción (lb/plg<sup>3</sup>)
- Z = Radio de rigidez relativa (plg)

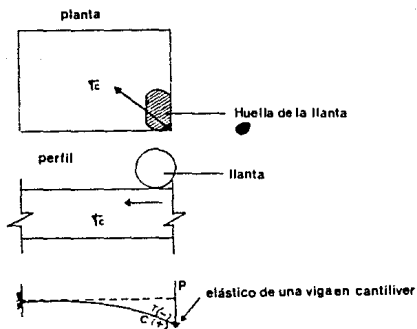


Fig.2.2.Esfuerzos de tensión en posición de esquina de la llanta.

$\tau_c$

2.2.2.-Para el caso en que la llanta solo es tangente a una sola orilla, el esfuerzo principal de tensión es paralelo a la orilla y se presenta en la parte inferior de la losa, pudiéndose evaluar con la siguiente fórmula : ref.(4)

$$\tau_r = \frac{0.572P}{d^2} \left[ 4 \log \log \left( 10 \left( \frac{r}{d} \right) + 0.359 \right) \right]$$

ECUACION 2.5.

Podemos observar este esfuerzo en la figura 2.3

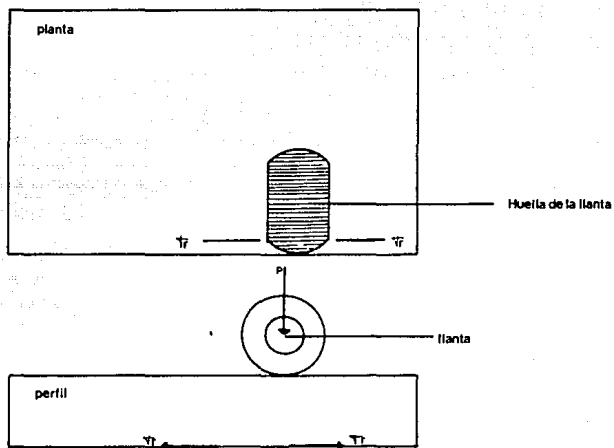


Fig. 2.3. Esfuerzos sv tensión en posición de la llanta en la orilla de la losa.

2.2.3 Por último, cuando la posición de la huella de la llanta está próxima al centro de la losa, los esfuerzos máximos de tensión se desarrollan en el lecho inferior de la losa y se dan en una forma radial (fig.2.4); se pueden obtener con la siguiente fórmula: ref (4)

$$\nabla_{\lambda} = -\frac{0.316}{d^2} P \left[ 4 \log 10 \left( \frac{L}{b} \right) + 1.069 \right]$$

donde:  $b = 1.6 a^2 d^2 \approx 0.675 d$

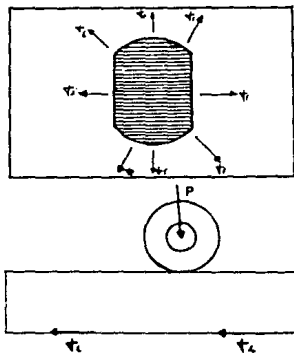


Fig.2.4 Esfuerzos de tensión en posición de centro de la huella de la llanta

## b) ESFUERZOS DEBIDOS A LA TEMPERATURA

Si en una losa de concreto el cambio de temperatura es igual en la parte superior e inferior, solo se presenta el fenómeno de contracción y dilatación, pero si existe diferencia de temperatura entre la parte superior y la inferior se presentan alabeos en la losa que pueden ser cóncavos cuando la temperatura en la parte superior es menor que la de la parte inferior fig.2.5

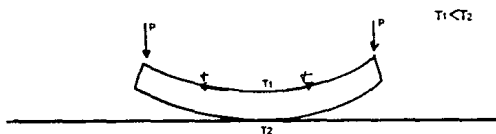


Fig.2.5 Alabeo cóncavo de concreto por diferencia de temperatura.

Si sucede lo contrario, es decir, si la temperatura en la parte superior es mayor a la parte inferior, se produce un alabeo convexo fig 2.6

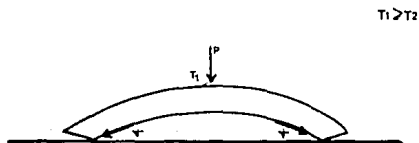


Fig 2.6 Alabeo convexo en la losa de concreto por diferencia de temperatura

Los esfuerzos producidos por estos cambios de temperatura por sí solos no son de gran importancia, pero con el tránsito, los esfuerzos se modifican ya que la losa no está apoyada en forma continua; así para el primer caso los esfuerzos de tensión se encuentran en el lecho superior y para el segundo caso se encuentran en el lecho inferior de la losa, además en el caso cóncavo los esfuerzos se incrementan en un 20% según se ha observado en forma empírica, por lo cual para el caso convexo, los esfuerzos tienen una condición menos crítica. ref(4)

c) ESFUERZOS DEBIDOS AL APOYO

Debido a la fricción existente entre la losa y la sub base se presentan esfuerzos por disminuirse la libertad de movimientos de la losa, teniendo así esfuerzos de tensión que se pueden calcular con la siguiente fórmula : ref (4)

$$F = WcL$$

FORMULA 2.7

Donde:

W= Peso de la losa por unidad de superficie Kg/m<sup>2</sup>)

L= Longitud de la losa ( m )

c= coeficiente de fricción = 1.5

Se pueden también presentar otro tipo de esfuerzos en la losa de concreto como los que se presentan en el fraguado por cambios de humedad o por acuñamiento de materiales extraños en las grietas que forman la losa, pero estos son de pequeñas magnitudes y no suelen tomarse en cuenta en los análisis.

Los efectos producidos por variaciones volumétricas importantes en el suelo soporte pueden inducir a esfuerzos que son difícilmente valuados por lo que deben evitarse; esto se consigue utilizando materiales de baja plasticidad y lo más homogéneos posibles.

Podemos resumir entonces, que los esfuerzos que afectan un pavimento rígido son :

- a ) Esfuerzos debidos al tránsito.
- b ) Esfuerzos debidos a los cambios de temperatura.
- c ) Esfuerzos debidos al apoyo.

En donde el esfuerzo menos favorable será el de tensión, ya que el concreto presenta una resistencia prácticamente nula a éste tipo de esfuerzos, por lo que deberá tenerse en consideración.

### 2.3. ESFUERZOS EN LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Un pavimento de adoquines de concreto está formado por una capa de rodamiento, denominada, adoquinado (de ahí su nombre) y de capas subsecuentes como: base, sub-base (en su caso) y de la terracería.

El adoquinado está compuesto por piezas llamadas ADOQUINES las cuales pueden ser labradas en cantera o hechas a base de concreto siguiendo formas patentadas; estos adoquines al ser colocados sobre una cama de arena, encajan entre si, formando alrededor de cada pieza una junta la cual es rellena de arena fina y con la arena sobre la cual se encuentran asentados.

Al recibir una carga vertical, el adoquín tenderá a desplazarse con respecto a los adoquines que lo rodean; al producirse éste efecto, la arena que está en la junta perimetral produce una fuerza de fricción entre el adoquín y los adoquines adyacentes y en menor grado por los más distantes, así los esfuerzos producidos por la carga-

Por distribuidos a las capas inferiores, está en función de la fricción entre los adoquines.

Si existiese un desplazamiento entre adoquín y adoquín se perdería la continuidad del adoquinado y con esto la capacidad de transmitir los esfuerzos, originando la falla del adoquinado.

Al observar éste comportamiento nos damos cuenta que el pavimento de adoquines de concreto, muestra un comportamiento similar al de los pavimentos flexibles.

Por la anterior observación y los estudios realizados por Knapton, se acepta que un pavimento típico a base de adoquines de concreto, tiene una distribución de carga similar a la de un pavimento flexible, formado por una base de mezcla asfáltica de 9 cm. y una carpeta de 7 cm. de espesor.

Así empleando los conceptos anteriormente señalados, es posible el diseño de los pavimentos de adoquines de concreto, considerando los como pavimentos flexibles. Ref. (1) ; Ref. (2)

#### 2.4. RESUMEN Y CONCLUSION DE ESTE CAPITULO

El análisis de esfuerzos para pavimentos flexibles, se basa en la teoría de Boussinesq, la cual nos dice que los esfuerzos producidos por una carga, disminuyen al aumentar la profundidad. Y ya que las tecnologías para el proyecto de pavimentos flexibles son de tipo empírico y se basan en :

- a) El cumplimiento de las normas materiales y procesos constructivos.
- b) Elección de una prueba de resistencia.
- c) Correlación de los resultados de la prueba con el comportamiento real del pavimento.



d ) La obtención de nomogramas o modelos matemáticos de proyecto.

El análisis de esfuerzos para pavimentos rígidos, abarca a los esfuerzos producidos por el tránsito, temperatura y apoyo. De estos estudios los productores de cemento Portland, han elaborado - nomogramas para el cálculo del espesor de la losa de concreto en los pavimentos rígidos.

Los pavimentos de adoquines de concreto se comportan como los pavimentos flexibles y para su diseño se puede utilizar cualquier método adecuándolo a la característica de que sea un pavimento adoquinado.

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN**

**CAPITULO III**

**DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUIN DE CONCRETO**

**3.1 INTRODUCCION**

**3.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO PARA TRANSITO  
LIGERO**

**3.3 DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO PARA TRANSITO  
PESADO**

# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUINES DE CONCRETO

## CAPITULO III

### DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO

#### 3.1. INTRODUCCION.

Para poder diseñar un pavimento de adoquín de concreto, se puede utilizar cualquier método para el diseño de pavimentos flexibles. En este trabajo, nos basaremos en el método que describe La Road Note - 29, del Transport and Road Research Laboratory de Inglaterra, este método presenta semejanza al desarrollado en México por el Ingeniero Padron o de la Porter modificada, el cual es descrito en la :  
Ref.(4)

Para fines de diseño, los pavimentos de adoquín de concreto se dividen en dos grupos de acuerdo al tránsito al que van a ser sometidos durante su vida de diseño.

Los pavimentos "ligeros" serán los que a lo largo de su vida soportan un tránsito acumulado hasta de 1.5 millones de ejes estandar

A su vez los pavimentos "pesados" serán los que soporten más de 1.5 millones de ejes estandar durante su vida de diseño.

Un eje estandar se define, como un eje sencillo con ruedas sencillas, soportando una carga total de 8.2 toneladas.

Así para conocer el tránsito acumulado durante la vida de diseño de un camino, es preciso conocer primero el número y tipo de vehículos que transitarán por el camino y luego transformarlos a ejes estandar utilizando coeficientes de equivalencia como los dados por la AASHO

### 3.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUIN DE CONCRETO PARA TRANSITO LIGERO

Para el caso de pavimentos que vayan a soportar un tránsito ligero, la Road Note 29 establece tres tipos de caminos, los cuales estarán en función del uso al cual van a ser sometidos, así tenemos:

#### CAMINO I

Callejones o caminos residenciales de poca importancia

#### CAMINO II

Caminos que soportan rutas de autobuses regulares y hasta 25 vehículos al día en ambas direcciones.

#### CAMINO III

Caminos importantes con rutas de autobuses y de 25 a 50 vehículos al día en ambas direcciones.

Tomando en cuenta este tipo de caminos se puede diseñar el pavimento.

De acuerdo con lo visto en el primer capítulo de este trabajo un pavimento de adoquín de concreto para tránsito ligero, presenta los siguientes elementos.

##### 3.2.1 SUB BASE

##### 3.2.2 PLANTILLA DE ARENA

##### 3.2.3 ADOQUINADO

##### 3.2.4 GUARNICION

##### 3.2.5 DRENAJE SUPERFICIAL

##### 3.2.6 ALCANTARILLADO Y POZOS DE VISITA

#### 3.2.1 SUB BASE

Según las consideraciones hechas por Knapton, Ref. (2) para demostrar que un pavimento hecho a base de adoquín de concreto presenta un comportamiento similar al de un pavimento formado por una base hecha -

con mezcla asfáltica de 9 cm. de espesor y una carpeta de 7 cm., hay que tener en cuenta que este pavimento substituye a los adoquines y a la cama de arena, por lo cual, la capa a diseñar para este tipo de pavimento será, la sub-base.

De estas consideraciones y de la utilización de la Road Note - 29, se puede determinar, el espesor de la sub-base para cualquier terracería mientras se diseñe para un tránsito menor a los 1.5 millones de ejes estandar.

Una forma abreviada de estos resultados se presenta en la siguiente tabla en la que aparecen los tipos de caminos anteriormente señalados y el tipo de terracería, y en intersección de cada caso el espesor de la sub-base.

TABLA 3.2.1 ESPEORES DE SUB-BASE EN CM. PARA DIVERSOS TIPOS DE TERRACERIAS Y CAMINOS.

TIPO DE CAMINO	VIDA DE DISEÑO	ARCILLA DURA	TIPO DE TERRACERIA			
			SEDIMENTO	ARCILLA CON SEDIMENTO	ARCILLA ARENA ARENOSA O GRAVA	
I Camino de poca importancia	40	40	40	19	14	8
II Hasta 25 vehí- culos diarios	40	45	45	22	17	15
III 25 a 50 vehí- culos diarios	20	44	44	21	16	15

Así de esta manera seleccionamos el tipo de camino y el tipo de terracería y obtenemos el espesor de la sub-base

Ahora bien, para poder utilizar un material como sub-base, deberá de cumplir con las normas: 803,805,806,807,815, de las Specification for "Road and Btidge Works"; debido a que estas normas son extranjeras, se deberán adecuar a las características de nuestro país, se deberán cumplir las normas mexicanas que a continuación se dan. Ref.4

#### MATERIALES DE SUBBASE

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en porcentaje (Máx.)	6.0	4.5	3.0
Valor cementante, para materiales angulosos en kg/cm <sup>2</sup> (Mín.)	3.5	3.0	2.5
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos en kg/cm <sup>2</sup> (Mín.)	5.5	4.5	3.5
Valor relativo de taporie estándar saturado, en porcentaje	50 Mín.		
Equivalente de arena, en porcentaje	20 Mín (Tentativo)		

#### ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES DE SUBBASE Y BASE

ABERTURA EN MILIMETROS

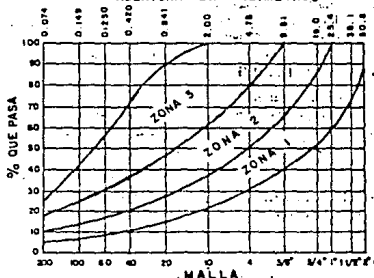


TABLA 3.2.2. NORMAS MEXICANAS PARA EL MATERIAL DE SUB-BASE.

El acabado final de la sub-base en su superficie no deberá ser el mismo que el del camino terminado ya que falta la plantilla de arena y el adoquinado, por lo que deberá tenerse en consideración estos espesores al fijar el espesor de la sub-base.

Además de poderse construir una sub-base flexible, se puede construir una sub-base rígida formada por una losa de concreto hidráulico--según los estudios realizados en Estados Unidos en losas de concreto de diferentes espesores con y sin sub-base y probadas hasta el punto de ocurrencia de la falla, ref. (1), (2), una losa de 7.6 cm. de espesor colocada directamente sobre la subrasante, soportará hasta 0.3 millones de ejes estandar lo cual es mucho mayor que el peso del tránsito normal empleado para transportar materiales que se usaron en la construcción de mil casas. Por lo anterior se puede utilizar la losa de concreto como un camino de transporte y luego como la sub-base de un pavimento de adoquín.

Esta solución resulta costosa ya que debido al alto precio del concreto respecto a cualquier otro material de una sub-base flexible no se logra así reducir el costo del pavimento.

### 3.2.2 PLANTILLA DE ARENA

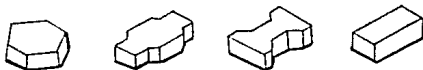
La arena que se utiliza tendrá no mas del 3% de sedimentos y de arcilla por peso, ni mas del 10% retenida en la malla del número cuatro Ref.(2).

El perfil de la arena no compactada deberá ser similar al requerido por el camino terminado. deberá de emparejarse hasta alcanzar el nivel necesario y tener 5 cm. de espesor ya compactada.

Su función será la de recibir el adoquinado y darle una sustentación a éste; además la arena al momento de ser compactada con el aduquin se introducirá a las juntas entre aduquin y aduquin evitando así su desplazamiento.

### 3.2.3 ADOQUINADO

Los aduquines de concreto serán de forma rectangular o patentada como se muestran en la siguiente figura:



Aduquin tipo: HEXAGONAL

DE CRUZ

BETONE

RECTANGULAR

Figura 3.1 DIFERENTES TIPOS DE ADOQUIN.

Los aduquines de concreto deberán cumplir con las normas del país.



o en su defecto con las normas inglesas. Ref.(1),(2).

Los adoquines deberán ser colocados de tal manera que se origine un cuatrapeo que evite que estos se desplacen en relación con los - adoquines adyacentes.

Se deberá utilizar juntas horizontales para evitar el desplazamiento horizontal de los adoquines; estas podrán hacerse colocando los adoquines en forma de petatillo, es decir, con el eje longitudinal del adoquín adyacente perpendicular, como se muestra en la siguiente figura

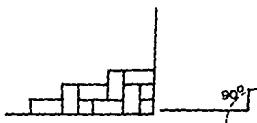


Figura 3.2. ADOQUINES EN PETATILLO

El nivel de superficie terminada deberá estar en tolerancia de:  $\pm 1$  cm. del nivel de diseño, el nivel entre adoquines adyacentes - no deberá de diferir en más de 0.2 cm.

#### 3.2.4. GUARNICION

La guarnición se obtiene por detalles de típicos de borde se - puede utilizar cualquier tipo de guarnición, siempre tomando en - cuenta que sea lo suficientemente resistente para soportar los daños ocasionales que le provoquen el tránsito de vehículos; es recomendable utilizar en las calles principales guarniciones que ya se encuentren cimentadas dentro de la sub-base, o si se va a utilizar una sub-base de concreto, se empotre en esta. En los caminos secunda

rios podrán utilizarse como guarnición las mismas piezas de adoquín. La función estructural de la guarnición es la de contener al adoquinado y de resistir las fuerzas horizontales consideradas dentro de la sub-base originadas por el tránsito.

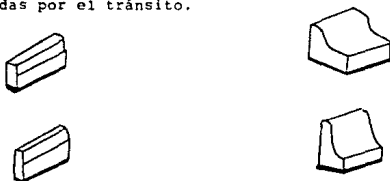


Figura 3.3 DIFERENTES TIPOS DE GUARNICIONES

#### 3.2.5 DRENAJE

Para evitar encharcamientos se deberá dar al adoquinado una pendiente de bombeo en el sentido transversal, mínima de 1 : 40, cuando esto no sea posible, se pueden construir canales de drenaje frente a las guarniciones. Deberán colocarse canales cuando la pendiente sea menor a 1 : 180 Ref. ( 2 )

#### 3.2.6 ALCANTARILLADO Y POZOS DE VISITA.

Debido a la facilidad de que los adoquines puedan cortarse para que encajen perfectamente, no habrá problema si esto se realiza con cuidado, la operación de corte se podrá hacer con un cincel y martillo o con una prensa hidráulica o con una cortadora de disco, dándole la forma necesaria al adoquín para que se amolde a la forma de la alcantarilla o del pozo de visita.

### 3.3. DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUIN DE CONCRETO PARA TRANSITO PESADO.

Un pavimento para tránsito pesado, se diseña para soportar más de 1.5 millones de ejes estandar durante su vida de diseño, este tipo de pavimento está formado por: guarnición, adoquinado, plantilla de arena, base (que constituye el elemento adicional a los pavimentos de tránsito ligero) y sub-base; todas estas capas colocadas sobre la subrasante y la terracería como se muestra en la siguiente figura:

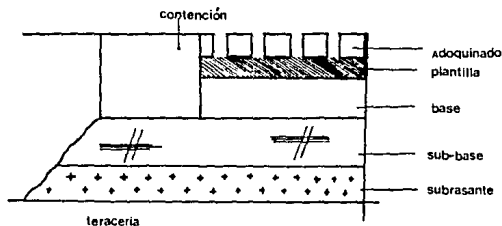


Fig.3.4. SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN PAVIMENTO DE ADOQUINES PARA TRANSITO PESADO.

#### 3.3.1. SUBRASANTE

Esta formada por terreno natural o material del cuerpo del terraplén, esta capa recibe y transmite las cargas del tránsito al cuerpo y evita que el cuerpo del terraplén contamine al pavimento, cuando este está formado por materiales finos y plásticos y evita que el pavimento sea absorbido por las terracerías, además hace uniforme y reduce el espesor del pavimento.

Para el diseño es importante tomar en cuenta El Valor Relativo -- de Soporte V.R.S. (C.B.R. por sus siglas en ingles)

Las normas mexicanas marcan para la capa subrasante las siguientes condiciones REF (4):

Espesor mínimo de la capa : 30 cm.

Tamaño máximo del material : 7.5 cm.

Grado de compactación : 95 % del PVS.M (prueba Porter )

Valor relativo de soporte : 15 % mínimo

Expansión Máxima : 3 %

En el metodo propuesto por la Road Note 29, no se considera una capa subrasante para el desplante, sino que se desplanta directamente el pavimento sobre la terracería, para esto en la tabla 3 de la Road Note 29 se dan valores de V.R.S. para diferentes tipos de suelo con su contenido natural de humedad con esto podemos pasar luego al cálculo de la sub-base; es importante señalar que al usar una capa subrasante con las normas mexicanas, obtendremos un mejor diseño del pavimento

### 3.3.2. SUB-BASE

Como se hizo mención en el capítulo anterior, Knapton demostró que un pavimento a base de adoquín de concreto tiene una capacidad de distribución de carga similar a la de un pavimento con una base de mezcla asfáltica de 9 cm. y una carpeta de 7 cm. teniendo un pavimento de 16 cm. La figura 6 de la Road Note 29, muestra los espesores de la sub-base para diferentes valores de V.R.S. en la terracería, de acuerdo al número de ejes estandar que transiten por el camino. Se recomienda en esta norma que la profundidad de la construcción sobre la terracería no sea menor de 45 cm. Los materiales a utilizarse serán los que cumplan con las cláusulas 803, 804, 805, 806, 807, 815 de la Specification for Road and Bridge Works. Ref. (2) Ref. (1)

Las normas mexicanas que mencionamos en el caso de los pavimentos para tránsito ligero (tabla 3.2.2.) también pueden ser utilizadas en este caso ya que garantizan, una buena calidad de materiales. Con lo cual se podrá obtener una sub-base que cumpla con los requerimientos de soporte y transmisión de la carga originada por el tránsito de vehículos sobre pavimentos de adoquín de concreto.

### 3.3.3 BASE

Esta capa hace la diferencia entre los pavimentos para tránsito ligero y los pavimentos para tránsito pesado, ya que estos últimos les dá un mayor soporte para resistir el peso de las cargas; además proporciona una forma más efectiva de distribución de carga hacia la sub base, subrasante y terracerías.

Los materiales que se recomiendan para el uso en la base deberán ser cohesivos, las normas mexicanas, manejan las siguientes características: Ref (4)

CARACTERISTICAS	ZONA EN QUE SE CLASIFICAN DE ACUERDO A SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Límite líquido en % en % max:	30	30	30
Contracción lineal en % max	4.5	3.5	2.0
Valor cemento para material anguloso min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.5	3.0	2.0
	V.R.S.	Equivalente arena tentativa	Indice durabilidad tentativo
Para tránsito en ambos sentidos hasta 100 vehículos	80%	30	35
Para mas de 1000 vehí culos pesados al día	100%	50	40

TABLA 3.3.1 NORMAS MEXICANAS PARA MATERIAL DE LA BASE.

También se pueden utilizar materiales que cumplan con la Specification for "Road and Bridge Works", cláusulas 805,806,807,810,811,812. Ref.( 2 ).

Si se comparan las gráficas 7,8,9 de la Road Note 29, al nivel de 1.5 millones de ejes estandar las capacidades de carga del asfalto, - macadan denso y de las bases hechas de concreto de baja resistencia - y tomando en cuenta las conclusiones de Knapton se puede concluir que un pavimento con un espesor de 16 cm. a base de una carpeta y una base hecha con mezcla asfáltica; un pavimento de 22.5 cm y una base estabilizada con cemento tienen capacidades de carga similares a las del adoquín de concreto sobre una plantilla de arena, de aquí se puede hacer la analogía respectiva y encontrar el espesor de cualquier base para los pavimentos de adoquines de concreto para tránsito pesado. Esto se puede ver en una forma simplificada en la gráfica 3.5 Ref ( 2 )

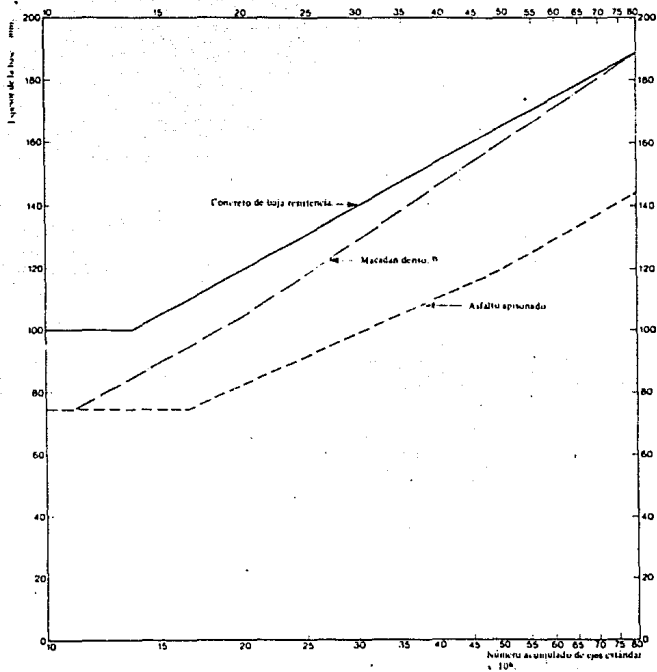


Fig.3.5 ESPESORES DE DISTINTOS TIPOS DE BASE PARA CANTIDADES ACUMULADAS DE EJES ESTANDAR



#### 3.3.4. GUARNICION.

Esta evitará el deslizamiento de los adoquines y la plantilla de arena; podrá ser construida sobre la sub-base, la guarnición podrá ser cualquier estructura firme al nivel del pavimento o con un nivel superior, deberá de soportar cualquier impacto o empuje de los vehículos que transiten por el camino.

#### 3.3.5. PLANTILLA DE ARENA

Será una capa de arena fina de 5 cm. de espesor con no más del 3 % de finos ni más del 10 % por peso retenido en la malla del número 4. Ref.(2) ; la compactación de la arena se hará primeramente al asentar el adoquín y posteriormente con una placa vibratoria.

#### 3.3.6. ADOQUINADO

Se realizará con piezas rectangulares o de forma patentada de un tamaño tal, que puedan ser colocadas con la mano, los adoquines deberán ser duraderos; el espesor mínimo para este tipo de pavimento será de 8 cm., aunque no existen pruebas de que un adoquín de mayor espesor distribuya mejor la carga.

Los adoquines deberán colocarse cuatrapeadamente y se deberán dejar juntas horizontales para evitar el deslizamiento; estas juntas podrán quedar formadas al colocar los mismos adoquines en forma de petatillo.

### 3.3.7 DRENAJE

Para desaguar el agua que está sobre el pavimento y con esto - evitar que penetre entre las juntas de los adoquines, se dará una -- pendiente transversal a los canales de drenaje no menor de 1 : 40 - Las pendientes longitudinales podran reducirse a 1 : 180 usando ca- nales de concretos prefabricados; quedando los adoquines 0.3 cm. -- mas altos que los canales de drenaje y alcantarillas.

Los detalles de coladera y pozos de visita se haran recortando los adoquines a la forma de estos y asentandolos con mortero cemen- to arena, para asegurar así una perfecta unión.

Si la capa de adoquines se encuentra bien construida presenta- rá una imagen agradable y una funcionalidad óptima.

# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO

## CAPITULO IV

### PROCESO CONSTRUCTIVO

4.1 INTRODUCCION

4.2 CONSTRUCCION DE LA SUB BASE

4.3 CONSTRUCCION DE LA BASE

4.4 CONSTRUCCION DE LA GUARNICION Y PLANTILLA

4.5 CONSTRUCCION DEL ADOQUINADO

4.6 REINSTALACION DEL ADOQUINADO Y MANTENIMIENTO

4.7 ORGANIZACION Y OPTIMIZACION DE LA OBRA DE ADOQUINADO

CAPÍTULO IV

PROCESO CONSTRUCTIVO

4.1 INTRODUCCION.

Debido a que los pavimentos de adoquín de concreto están constituidos por diferentes capas, cada una de ellas tiene su peculiar forma de construirse. Mencionaremos para cada capa los requisitos constructivos de éstas y una forma de como puede realizarse su construcción.

Es importante señalar que el procedimiento tanto para los pavimentos de tránsito ligero como de tránsito pesado es similar en las capas que tienen en común.

Antes de construir un pavimento del tipo que sea, se deberá construir primero las obras de drenaje e instalaciones para evitar que posteriormente se tenga que levantar el pavimento para realizar estas obras.

Aquí volvemos a recordar la gran ventaja que representa el uso de adoquines de concreto con respecto a otro tipo de pavimentos, debido a que si por mala planeación de la obra se diera el caso de tener que levantar el pavimento para introducir la red de drenaje, o arreglar cualquier desperfecto en alguna instalación, ésta se podrá efectuar rápidamente y sin desperdicio de material, ya que el adoquinado podrá ser reinstalado y el pavimento podrá ser abierto a la circulación de vehículos inmediatamente después de haber terminado la reparación.

#### 4.2. CONSTRUCCION DE LA SUB BASE

Después de haber diseñado el espesor de la sub base y de seleccionar el material con el que se puede construir esta y que se cumpla con las características que pide el diseño para esta capa, Ref.(4), se lleva el material a la obra donde se acamellona (se forma un acordonamiento de material de sección constante, que sirve para facilitar el cálculo de volúmenes) , para realizar esta operación en áreas extensas se necesitan motoconformadoras, ya que la cantidad de material es considerable. Con el volumen de material necesario se procederá a su colocación en el lugar y su compactación. Para lograr esto, primero se dá la humedad necesaria al material con lo que se logra el grado de compactación especificado en el diseño, esto se realiza mediante el uso de motoconformadoras las cuales, abren parcialmente hacia la corona de la obra, el material acamellonado, para que pase la pipa haciendo su primer riego y se humedezca el material, vuelve a pasar otra vez la motoconformadora abriendo el material y colocando material seco sobre el humedecido, de nuevo pasa la pipa la cual realiza otro riego; se repite la operación hasta obtener la proporción de agua necesaria para la compactación, después de esto, se distribuye el material a través de la corona para formar la capa cuidando que el material no se disgregue evitando colocarlo al centro de la corona y distribuyéndolo hacia los lados con la motoconformadora, hecho esto, se compacta el material hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto, utilizando máquinas con rodillos sin salientes o cajas neumáticas. El peso del equipo puede variar entre 15 y 20 ton. Si las unidades son equipadas con equipo vibratorio, la eficiencia para obtener la compactación será mayor y los costos más bajos.

En ésta etapa se deberá tener cuidado en que se respete el espesor de diseño de la capa y se deberán llevar a cabo las nivelacio -

nes que se consideren importantes para poder controlar este espesor; la tolerancia es de  $\pm 1$  cm. a 3 cm. del nivel de diseño. Ref.( 2 )

Donde el revestimiento de adoquines esté colocado directamente sobre esta capa ( tránsito ligero ) será aceptable una tolerancia de  $\pm 2$  cm. para evitar que se presenten profundidades excesivas de la - plantilla + 10 cm. Ref. ( 2 ).

#### 4.3 CONSTRUCCION DE LA BASE

Si la base es de material natural el procedimiento constructivo será el mismo que el de la capa sub-base, la diferencia radicaré en el tipo de material seleccionado para la capa respectiva, en el grado de humedad y compactación, así como en el espesor de la capa que haya marcado el diseño.

Si la base según el diseño resultase ser de un material diferente, como podría ser el caso de una losa de concreto pobre o de una base negra, se seguirán las siguientes indicaciones :

1.- Si es una losa de concreto pobre o de baja resistencia, se puede construir sin juntas o refuerzos, ya que puede existir agrietamiento el cual no influirá en la resistencia de la losa debido a que la base lleva un recubrimiento el cual es adoquinado.

El concreto a utilizarse deberá de presentar un alto porcentaje de trabajabilidad y deberá ser hecho con un agregado que su tamaño máximo sea de 2 cm. no deberá ser transitado durante los primeros catorce días después del colado, deberá compactarse el concreto adecuadamente utilizando un vibrador y deberá tenerse un control estricto del espesor de la losa para evitar zonas donde esta tenga espesor menor del que el diseño marca.

La tolerancia en la superficie será de  $\pm 2$  cm. Ref. ( 2 )

2.- Si es una base de asfalto, se podrá realizar por método en frío, utilizando FR3 o emulsiones; si se realiza por métodos en caliente, se usarán materiales pétreos hasta 5 cm. de tamaño máximo y de 40 % menos de asfalto que el utilizado en las carpetas. La tolerancia en la superficie será de  $\pm 2$  cm. Ref. ( 2 ), ( 4 ).

En cualquier tipo de base es necesario llevar un estricto control de los espesores y niveles, ya que si estos no cumplen con las especifici

caciones, se presentaran irregularidades en la carpeta de adoquín,  
teniendo así una pésima superficie de rodamiento.



#### 4.4 COSTRUCCION DE LA GUARNICION Y PLANTILLA

GUARNICION.- Seleccionada el tipo de guarnición que tendrá el pavimento ( prefabricada u hecha en el lugar ) se procederá a su construcción de tal manera que las guarniciones limiten perfectamente la zona de circulación, se deberá evitar que durante el proceso constructivo los vehículos transiten cerca de las guarniciones ya que pueden originar desplazamientos de estas y con ello alterar la disposición del camino.

PLANTILLA.-La arena se distribuirá uniformemente a lo largo de la zona a pavimentar, el espesor requerido de la plantilla será de 5 cm. compactada, por lo que el espesor de la arena sin compactar dependerá de factores como la humedad, la granulometría, etc. Se recomienda una altura de sobre carga de + 1.5 cm. Ref. ( 2 ), pero es mejor determinar el valor exacto haciendo pruebas en el lugar y de los resultados obtener la altura necesaria; la prueba se realizaría colocando arena con un espesor de 5 cm. y con diferentes alturas de sobrecarga ( 1 cm., 1.5 cm, 2 cm, etc. ) y colocando encima de estas el adoquinado, vibrándolo y observando que altura de sobre carga al compactarse, logra el espesor de 5 cm; es recomendable tener siempre a lo largo de la construcción las mismas características del material, para evitar así numerosas pruebas de este tipo.

Una vez determinado el espesor de la arena sin compactar, se deberá emparejar la arena hasta obtener el nivel deseado, se pueden utilizar las guarniciones como "maestras" en caminos hasta de un ancho de 4.5 m.; para caminos mas anchos deberá utilizarse guías de enrase temporales.

No deberán pararse sobre la arena los trabajadores, ya que esto da lugar a una compactación previa irregular que produce imperfecciones en la superficie de rodamiento.

En obras de dimensiones menores, el enrase podrá hacerse manualmente. En obras de gran extensión podrá utilizarse equipo mecánico ligero como "manos de changos" o pequeños cargadores frontales o algún equipo similar.

#### 4.5. CONSTRUCCION DEL ADOQUINADO

Esta operación comprende tres etapas :

4.5.1. Colocación de los adoquines

4.5.2. Corte y colocación de adoquines en bordes y alcantarillas.

4.5.3. Vibrado

##### 4.5.1. COLOCACION DE LOS ADOQUINES.

Las primeras hileras de adoquines, deberán de colocarse con sumo cuidado para evitar el desplazamiento de los adoquines ya colocados después se podrá seguir colocando los adoquines de acuerdo a la posición seleccionada en el diseño (de petatillo, cuatrapeado, etc.). Se deberá evitar alterar el nivel de la arena y la posición de otro adoquín al ir colocando los nuevos adoquines en el camino cerciorándose que no existan separaciones excesivas entre adoquín y adoquín el trabajo se iniciará a partir de adoquines ya colocados.

##### 4.5.2. CORTE Y COLOCACION DE ADOQUINES EN BORDES Y ALCANTARILLAS

A las formas difíciles en bordes y alcantarillas se deberá de hacer labrado el adoquín. Esto se puede realizar utilizando una cortadora hidráulica o mecánica o con marro y cincel; se deberá evitar hacer piezas que resulten muy pequeñas o delgadas; en las rejillas de alcantarillas se procurará que el adoquinado quede ligeramente mas arriba que cualquier entrada de drenaje.

Los huecos pequeños que queden en los detalles, deberán ser rellenos con mortero, cemento, arena en proporción 1:4

#### 4.5.3 VIBRADO

El vibrado se efectuará con una placa vibradora que tenga una cara de acero, con una área que varíe entre los 0.35 a 0,50 m<sup>2</sup>.

La fuerza de vibrado será de 16 a 20 KN y la frecuencia de 7.5 - a 100 Hz para pavimentos de tránsito pesado; para tránsito ligero se podrá usar una placa de 0.2 a 0.4 m<sup>2</sup> y una fuerza de 7 a 16 KN y una frecuencia de 75 a 100 Hz. Ref ( 2 ).

Se hará un vibrado inicial pasando un número indefinido de veces la placa sobre el adoquín, de acuerdo a las observaciones que se hayan hecho cuando se determinó el espesor de la plantilla de arena; generalmente se necesita pasar dos o tres veces la placa vibratoria.

El vibrado deberá de mantenerse alejado de los lugares donde -- los adoquines no tengan apoyo, como en los bordes o en los extremos -- del camino, por lo menos 1 m. para evitar así el desplazamiento de los adoquines, esta operación deberá hacerse hasta el fin de la jornada - de trabajo.

Después del vibrado inicial, se pasará el vibrador dos o tres veces mas durante las cuales se esparcirá arena fina sobre el adoquín - para que con el vibrador se llenen las juntas. De esta manera se garantiza que exista fricción entre adoquín y adoquín, y se conserve su estructura.

Terminado el vibrado el camino puede ser abierto a la circulación de vehículos inmediatamente.

No es aconsejable mojar la arena fina que se riega sobre el adoquín para hacer que esta penetre entre las juntas, ya que esto puede -- originar que al infiltrarse el agua en la cama de arena esta se tubifique y origine con esto un desacomodo de la cama de arena y con esto la falla del adoquinado

ción a los cantos, ya que si estos no están perfectamente limpios se dificultará su vuelta a colocar.

La plantilla de arena podrá recuperarse en gran parte traspa - leándola fuera del lugar de la reparación para poderla almacenar y - volverla a utilizar.

Si la falla del pavimento es en una capa inferior (base, sub-ba - se) deberá de repararse la capa en cuestión. El material obtenido de la excavación podrá utilizarse como relleno de la capa a reparar; se tratara de lograr una compactación adecuada utilizando bailarinas o pequeños rodillos y dándole la humedad adecuada y requerida al mate - rial, para lograr una óptima compactación; si esto no es posible, ya -- por el pequeño tamaño de la reparación o por la mala calidad del ma - terial , podrá utilizarse concreto de baja resistencia como opción.

Es importante antes de realizar cualquier reparación, averiguar primero a que se debió la falla y tomar en cuenta el porque de la - falla y tratar de subsanar el defecto, (esto se logrará ya sea aumen - tando el espesor de la capa en cuestión o utilizando un material -- mas estable que sustituya el material colocado ). Ref ( 2 ), ( 4 ), (5)

El nivel de la capa que esté reparando deberá coincidir con el - nivel de la misma capa mas próxima sino se decidió aumentar los nive - les; si aumentaron los niveles, esto deberá de tomarse en cuenta cuan - do se haga el adoquinado para evitar ondulaciones en el camino.

Terminada la reparación se reinstalará la plantilla de arena, es - to podrá realizarse con el material que se tenía, agregándole algo -- más de material nuevo para restituir lo que se hubiera desperdiciado la plantilla se construirá como si fuera una obra nueva, enrazándose - con una regla de madera y siguiendo la superficie del camino.

#### 4.6. REINSTALACION DEL ADOQUINADO Y MANTENIMIENTO

La mayor ventaja que representa un pavimento a base de adoquín de concreto con respecto a otro tipo de pavimento, es el casi nulo mantenimiento que tiene durante su vida de diseño, y cuando se presenta la factibilidad de poder utilizar las piezas que conforman el adoquinado; esto reduce los costos que se originaría al reparar otro tipo de pavimento. Además hecha la reparación ésta es difícil de notar y como ya se dijo el pavimento se puede utilizar inmediatamente

Cuando se presentan hundimientos locales en el pavimento o si se necesita abrir alguna zanja para reparar una instalación subterránea o bien para cambiar algún adoquín, se deberá seguir el siguiente procedimiento :

Las juntas entre adoquín y adoquín con el paso del tiempo se sellan con basura y aceite, hule de llantas, etc.; esto dificulta la remoción de los adoquines con herramienta manual, por lo cual es necesario romper algunos de ellos de tal manera que permitan que se levanten fácilmente los adoquines adyacentes. Se recomienda que los adoquines que tengan que romperse se encuentren al centro del lugar de la reparación, así en un hundimiento es recomendable romper de 5 a 6 adoquines en la máxima depresión; para una zanja es recomendable romper una pequeña hilera al centro de ésta.

Cuando se han quitado algunos adoquines, se aumenta la abertura extrayendo mas adoquines por medio de zapapico a manera de palanca que levante las piezas necesarias para realizar la reparación. Los adoquines extraídos deberán ser limpiados con cepillo de alambre o similar de toda la arena e impurezas que tengan, dando especial aten

Los adoquines se colocarán también como si fuera una obra nueva recordando que deberán estar perfectamente limpios; es probable que al final de cada hilera de adoquín el último deba forzarse en su colocación para que tenga una posición normal, si algún adoquín que se encuentre cercano a la abertura de reparación o cualquier adoquín -- que se encuentre en los bordes, se afloje, deberá extraerse, limpiarse y volverse a colocar. Cuando ya se tenga toda la abertura adoquinada se procederá a vibrar y a esparcir arena fina. Se dejará de hacer esto cuando los adoquines recién colocados lleguen al nivel de los adoquines que no fueron extraídos y queden rellenas las juntas, terminada esta operación la reparación finaliza y se puede abrir al tránsito la zona reparada.

Como se observa la reparación es relativamente fácil y se necesita poca mano de obra, herramientas sencillas y poco material de reparación y el uso del pavimento es inmediato a la terminación de esta.

#### 4.7. ORGANIZACION Y OPTIMIZACION DE LA OBRA DE ADOQUINADO

Un pavimento de adoquines de concreto se diferencia de otros pavimentos en la capa de rodamiento, así que prácticamente la construcción de la subrasante, la sub-base son las mismas para cualquier tipo de pavimento; solo se diferenciarán en las características del material y su espesor, pero el procedimiento constructivo es el mismo.

Donde se puede lograr una economía y reducción de tiempos es en la capa de rodamiento.

En la construcción del adoquinado prácticamente no se necesita -- equipo pesado de construcción, lo cual impacta directamente en el costo del pavimento, ya que como en el caso de una carpeta de asfalto se necesita petrolizadora, compactadores, finishers, etc.; si logramos optimizar el procedimiento constructivo del adoquinado esto repercutirá directamente en el costo de la obra, reduciendo éste.

También el costo de mantenimiento influye directamente en la selección del tipo de pavimento y como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, el mantenimiento de un adoquinado es prácticamente nulo, ya que los materiales se pueden volver a utilizar, y no se necesita maquinaria para estos trabajos.

En la planeación de la obra se deben tener en cuenta los siguientes conceptos y tratar de optimizar al máximo cada uno de ellos.

##### 4.7.1 GRUPO DE TRABAJO.

El grupo de trabajo o cuadrilla estará formado por tres personas las cuales realizarán la operación de :  
Transporte de los adoquines, enrase de la arena, colocación del adoquinado, corte de piezas para detalles y vibrado.



Estas personas se rotarán cada operación para lograr mayor rendimiento, la especialización de estos trabajadores será poca, por lo que prácticamente puede estar formada por dos peones y un albañil; el rendimiento de esta cuadrilla podrá ser de 25 a 50 m<sup>2</sup> Ref.( 2 ). por jornada, logrando mayor eficiencia en lugares de fácil colocación y menor en lugares de difícil colocación.

#### 4.7.2 SUMINISTRO DE ADOQUINES A LA OBRA Y AL LUGAR DE COLOCACION

Debido a que un pavimento de adoquín se puede abrir al tránsito - inmediatamente después de que se ha vibrado, los camiones cargados con adoquín pueden llegar al frente de la obra al comienzo de la jornada - así se puede programar la entrega de adoquines adecuadamente. Podemos - tener la cantidad de adoquines que se necesitan para la jornada prácticamente en el lugar de trabajo.

Al avance del trabajo los adoquines van quedando cada vez mas lejos del colocador; así mientras él coloca adoquines los otros dos trabajadores de la brigada se encargan de acarrear adoquín, al colocador, el cual no se distrae en el transporte del adoquín, este transporte de material se puede hacer en carretillas o con diablos si la distancia de acarreo es corta, para tramos mayores de 30 m. se recomienda utilizar - un montacargas. Ref. ( 2 )

El tiempo que se utiliza para transporte de adoquines representa el 40 % del tiempo de colocación Ref.(2), si se reduce este, se optimiza el trabajo y aumenta la productividad del equipo de trabajo y de la obra en general

#### 4.7.3. ENRASE DE ARENA

La arena deberá estar disponible a lo largo del area de pavimentar

se puede dejar esta en pequeños montones o pilas, de tal manera que cuando se llegue a un tramo por pavimentar solo se muevan pequeños volúmenes de material y no grandes cantidades que dificultarían la construcción.

Para mantener la humedad de la arena esta podrá cubrirse con plásticos o con bolsas de cemento usadas, el enrasado es una operación sencilla, dos hombres de la brigada realizarán la operación -- utilizando una regla y siguiendo los niveles marcados, enrasando -- así la arena, la otra persona de la brigada empleará del 10 al 15 % del tiempo de la cuadrilla de trabajo. Ref. (2)

#### 4.7.4. COLOCACION DE LOS ADOQUINES

Dependiendo del tamaño del frente de trabajo, pueden trabajar 1 o mas cuadrillas colocando adoquín de concreto, es primordial diseñar un método de colocación de acuerdo a las necesidades propias de la obra, cuando las necesidades de la obra dan para un solo colocador, se pueden colocar los adoquines siguiendo el modelo de petatillo -- lo que se ilustra a continuación :

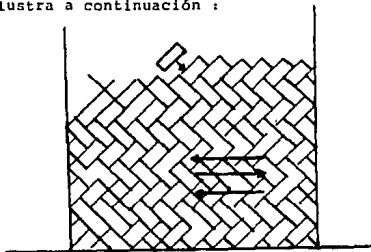


Fig 4.1 ADOQUINES COLOCADOS EN PETATILLO

Si la situación de la obra da para 2 o más colocadores, se pueden utilizar técnicas que coloquen los adoquines por pares y la dirección del trabajo no cambie, como sucede con la colocación cambia de una hilera a otra.

Un ejemplo de colocación en par se muestra en la siguiente figura:

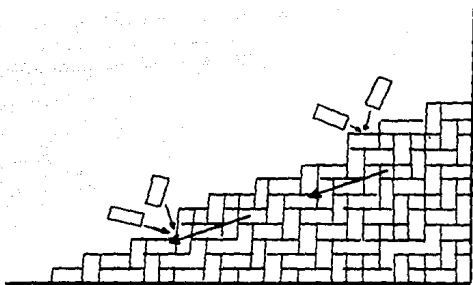


fig. 4.2 COLOCACION DE ADOQUIN EN PARES SIN CAMBIAR LA DIRECCION DE COLOCACION.

Cabe señalar que la colocación también dependera de la forma del adoquín, ya que mientras más compleja sea ésta, más trabajo dará al colocador y restringirá la velocidad de colocación.

#### 4.7.5. AJUSTES DE LOS BORDES ° DETALLES DE COLADERAS

Los cortes y detalles pueden realizarse cuando se tenga una cantidad suficiente de adoquín colocado, pero se deberá hacer antes de -- realizar el vibrado. Cuando por la magnitud de la obra y del número de detalles podrá dedicarse una sola brigada a que realice estos. Cuando no, esta operación la pueden realizar dos personas de la cuadrilla, des pues de que el colocador haga una cantidad razonable de pavimento para que ellos tengan tramo que realizar.

#### 4.7. 6 VIBRADO

El vibrado es la operación que requiere menos tiempo ya que con dos o tres pasadas de la placa vibradora se logra el asentamiento y fijación de los adoquines; esto lo podrá hacer una sola persona de la -- brigada teniendo cuidado de no pasar cerca de los adoquines que esten -- al borde de la construcción, ya que estos no se encuentran confinados y pueden desacomodarse y atrasar el trabajo

Para el vibrado secundario se necesitará otra persona que cepille ra la arena sobre los adoquines mientras el otro pasa la placa vibrado ra.

Después de realizada esta operación, el pavimento estará listo para que sea abierto al tránsito y así los camiones que cargan adoquín -- para la siguiente jornada puedan llegar al frente de trabajo con el ma terial necesario para la construcción.

Así, mientras cada una de estas etapas se pueda realizar de una manera eficiente el rendimiento de la cuadrilla de colocación aumentará y así se podrá a mayor rendimiento colocar más adoquín y con esto reducir los tiempos de construcción de la obra, abatiendo costos - de esta manera, conforme pase el tiempo y la brigada se acople mejor en su funcionamiento, los rendimientos de colocación aumentarán.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO

CAPITULO V

CASOS PRACTICOS

5.1. CASO PRACTICO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PAVIMENTO

PARA TRANSITO LIGERO EN ATLACOMULCO EDO° DE MEXICO.

5.2. CASO PRACTICO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PAVIMENTO

PARA TRANSITO PESADO EN LA FABRICA LINGOBRONCE S.A.

## DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO

### CAPITULO V

#### CASOS PRACTICOS

##### 5.1 Caso práctico para el diseño y construcción de un pavimento para tránsito ligero en Atlacomulco Edo. de México.

###### 5.1.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

El conjunto condominal Fuentes de Atlacomulco se encuentra en la parte poniente de la ciudad de Atlacomulco, Edo. de México.

La ciudad de Atlacomulco se ha convertido en un polo de desarrollo, según lo señala el programa de gobierno 1981 - 1987, debido a esto el incremento de población a repercutido en el crecimiento de la ciudad y con esto ha surgido la necesidad de dar habitación a un mayor número de personas.

Para poder ayudar a resolver este problema, se construirá el conjunto condominal Fuentes de Atlacomulco, el cual estará formado por : casas tipo triplex de interés social:

El conjunto condominal Fuentes de Atlacomulco, estará formado por 165 viviendas tipo triplex, dando habitación a un número aproximado de 1000 personas; la superficie total del terreno es de  $19\ 136.45\ m^2$  se tendrá una superficie condominal de  $11\ 440.00\ m^2$  con  $1\ 912.00\ m^2$  de áreas verdes y  $5\ 784.45\ m^2$  de calles. Según se observa en la figura ( 5.2 ).

### 5.1.2 DISEÑO DEL PAVIMENTO.

Como se observa en el plano de lotificación, solo existe una calle principal o avenida principal en el conjunto, por lo que se convierte ésta en el único camino por el cual transitan los vehículos de una manera continua.

En lugar de callejones o calles secundarias tenemos los caminos de acceso a las casas, que además sirven de estacionamiento.

De los datos del proyecto de lotificación y de urbanización tenemos los siguientes conceptos:

Avenida Principal : 5 784.45 m.<sup>2</sup>

Áreas de acceso y estacionamiento : 6 160 m.<sup>2</sup>

Área total a pavimentar : 11 944.45 m.<sup>2</sup>

Para el diseño consideramos dos áreas a pavimentar, debido a que el tránsito de la avenida principal es mayor al que pueden tener las calles de acceso y estacionamiento para la cual se diseñara por separado y luego se comparará para unificar criterios.

De acuerdo a la clasificación que se dió para el diseño de pavimentos, la avenida principal es un camino tipo II y las calles de acceso y estacionamiento son del tipo I, según la Road Note 29.

Según las observaciones hechas en el campo, el terreno presenta una buena resistencia y está formado por material arcillo-arenoso, utilizando la tabla 3.2.1 obtenemos los siguientes datos  
Caminos tipo I una sub-base de 14 cm.

Camino tipo II una sub-base de 17 cm.

Siendo estos espesores para los dos casos, de material compactado



El material que se utilice para la sub-base deberá cumplir con las Normas Mexicanas ref. (4) y se utilizará material del lugar.

El espesor de la plantilla de arena para los dos casos será de 5 cm compactados.

El tipo de adoquín a utilizar será el de concreto en forma de cruz con un espesor para el camino tipo I de 6 cm. y para el camino tipo II de 6 cm., debido a la forma del adoquín no necesitará colocarse cuatrapeadamente o en petatillo y además no necesitará de juntas horizontales.

Para la guarnición se utilizarán elementos precolados.

Así la sección transversal de los dos caminos quedará de la siguiente forma :

TABLA 5.1

CAMINO TIPO:	I	II
SUB BASE	14 cm.	17 cm.
PLANTILLA	5 cm.arena fina	5 cm. arena fina
ADOQUINADO	6 cm.tipo cruz	6 cm. tipo cruz

Tabla 5.1 ESPESORES DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LOS CAMINOS TIPO DEL PROYECTO FUENTES DE ATLACOMULCO

La diferencia en los dos diseños radica en el espesor de la sub base, como la diferencia es poca y para tener un margen de seguridad optaremos por el diseño del camino tipo II.

Así la sección transversal típica para el pavimento de este con junto condominal será:

TABLA 5.2

SUB BASE espesor compactado	17 cm.
PLANTILLA espesor compactado	5 cm. arena fina
ADOQUINADO	6 cm. tipo cruz

Tabla 5.2 ESPESOR DEFINITIVO PARA LA SECCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO TO TIPO DEL PROYECTO FUENTES DE ATLACOMULCO.

Detalles del diseño, se pueden observar en la fig. 5.1

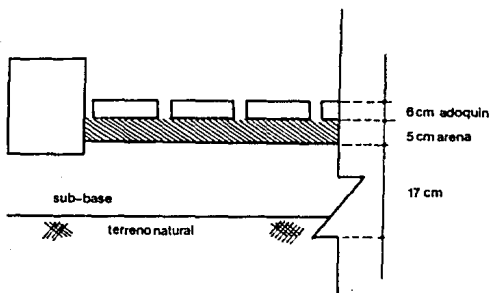


Fig.5.1 VISTA DE LA SECCION TRANSVERSAL TIPICA DEL PAVIMENTO PARA EL CONJUNTO CONDOMINAL FUENTES DE ATLACOMULCO.

**El acabado de la superficie del adoquinado tendrá las pendientes recomendadas para obtener un buen drenaje.**

### 5.1.3 PROCESO CONSTRUCTIVO

Para seguir el orden en la construcción y tener metodología que se pueda seguir desde el principio al fin de la obra, se recomienda seguir los siguientes pasos :

1.- Se hará el trazo y nivelación de la avenida principal y de las calles de acceso y estacionamiento.

2.- Se hará un desplante de la capa vegetal hasta una profundidad de 20 cm.

3.- Se procederá a hacer la obra de drenaje y de instalación -- del cableado subterráneo.

4.- Se afinará la capa subrasante.

5.- Se construirá la sub-base con tepetate compactado al 90 % - peso volumétrico seco máximo (PVSM) con un espesor de 17 cm.

6.- Después de terminada la sub-base alrededor de pozos de visita y coladeras, se colocará una plantilla de 5 cm. de concreto  $f'c = 100 \text{ Kg./cm}^2$  excavando alrededor de estas zonas para que la plantilla tenga el mismo nivel de la sub-base.

7.- Se colocará la guarnición hecha por elementos precolados de sección transversal de 15 X 25 cm. cimentados en 4 cm. de profundidad en la sub-base.

8.- Se procederá a la construcción de la plantilla cuyo espesor al ser colocada deberá ser de 6.5 cm. y al compactarse será de 5 cm.

9.- Se colocará el adoquín de concreto tipo cruz; no llevará juntas horizontales y se compactará con placa vibradora esparciendo -- arena fina sobre el adoquinado.

10.- Los detalles de pozos de visita y coladeras se harán por separado cuando las piezas en las juntas resultan muy pequeñas, sustituirán llenando el hueco con un mortero cemento arena 1 : 4.

11.- El vibrado se hará en caso de las calles de acceso cuando se vaya a la mitad de la calle, en el caso de la avenida principal se realizará cuando se tengan 10 mts. de avance en la obra de acuerdo a la figura 5.2, siempre se realizará un vibrado al final de la jornada pasando por todos los lugares donde se construyó adoquinado durante la jornada.

#### 5.1.4 PLANIFICACION DE LA OBRA.

La pavimentación se llevará a cabo en tres etapas :

En la primera se hará el trazo de la avenida principal y de las calles de acceso y estacionamiento, dándoles su forma y nivelación. Hecho esto, se harán las obras de drenaje e instalaciones subterráneas de todo el conjunto. Es importante que se termine toda clase de detalles en el drenaje e instalaciones subterráneas para evitar que se levante el adoquinado debido a errores u omisiones.

La segunda etapa será la construcción de la sub-base y la colocación de guarniciones; ya que el conjunto es pequeño, no se utilizará maquinaria de gran espesor sino que se recomienda utilizar -- equipo pequeño como mano de changos, pequeños cargadores, fronteles, etc.

Para la construcción de la sub-base se comenzará por la parte norte del conjunto y se continuará hacia el sur, la colocación de -- guarniciones y plantillas de concreto en pozos de visita y coladeras ira detrás del avance de construcción de la sub-base.

Al llegar a la zona de áreas verdes, el frente del trabajo se dividirá en dos : uno que siga por el camino norte de la avenida -- principal y otro por el camino sur, uniéndose los dos frentes a la salida del conjunto . Fig. 5.3

La tercera etapa será la construcción del adoquinado; esta se realizará en dos etapas : la primera será la pavimentación de la -- avenida principal dividida en dos frentes (camino norte, camino -- sur ) y la segunda será la construcción de las calles de acceso -- Fig. 5.4

Para la primera etapa se empezará por la entrada al conjunto dividiéndose en dos frentes que se unirán en la parte norte.

Con esto se permitirá la circulación hacia el interior del conjunto, conforme se avanza, tal y como se muestra en la figura 5.4

En cada frente estarán trabajando tres brigadas ya que debido al tipo de adoquín, su colocación permite que trabajen las tres brigadas independientemente.

Al finalizar esta etapa se tendrá un camino que comunique a todo el conjunto.

La segunda etapa de pavimentación es la de las calles de acceso y los estacionamientos. Esta puede realizarse de una forma independiente a la avenida principal.

Cada calle de acceso podrá realizarse con una brigada por lo cual se podrá tener varios frentes.

El suministro de adoquín deberá de hacerse todo de una sola vez para evitar retrasos ya que no existen plantas que fabriquen el adoquín cercanas al lugar de la obra.

El adoquín podrá almacenarse en el área de zonas verdes; esto es beneficioso ya que esta zona es la mejor comunicada del conjunto, resultando así un traslado más corto del adoquín a las zonas de trabajo.

La arena también podrá ser concentrada en el área verde para después ser acarreada a lo largo de la avenida principal y calles de acceso. Fig. 5.5

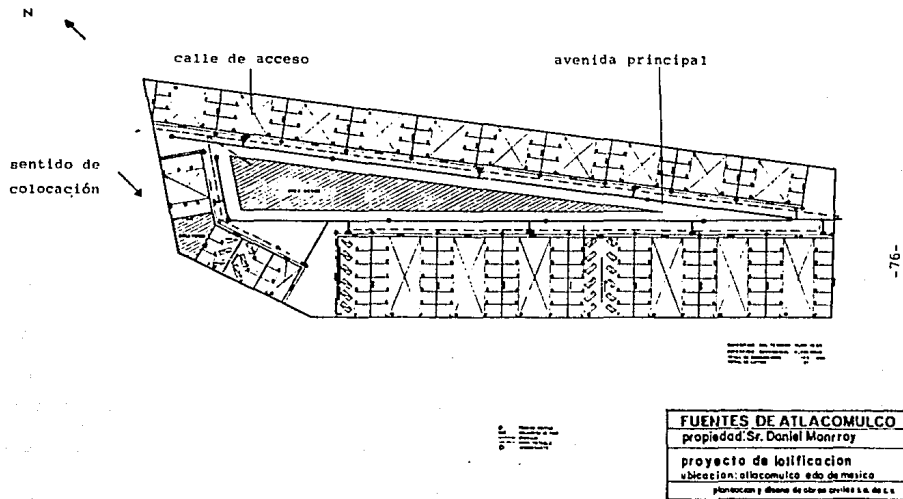
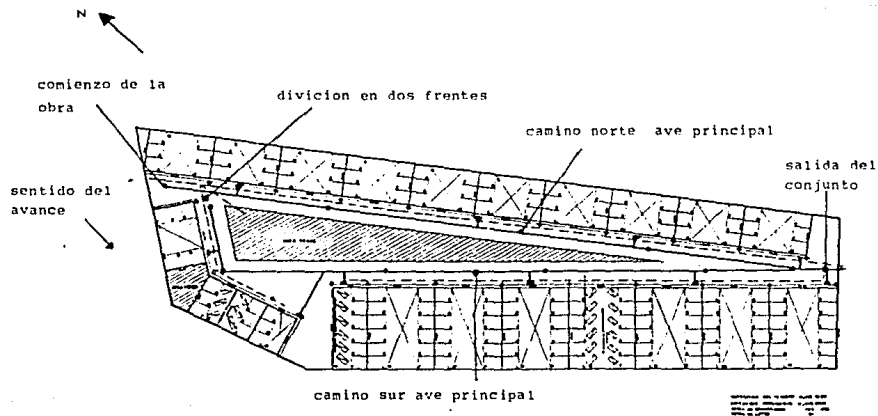


Fig 5.2 AVANCE DEL VIBRADO

<b>FUENTES DE ATLACOMULCO</b>
propiedad: Sr. Daniel Monroy
proyecto de lotificación
ubicación: Atlacomulco, Estado de México
planificación y diseño de obras civiles S.A. de C.V.





-77-

<b>FUENTES DE ATLACOMULCO</b>
propiedad Sr. Daniel Monroy
proyecto de lotificacion
ubicacion: atlatcomulco, edo de Mexico
planifican y dirigen de obras civiles S.A. de C.V.

Fig 5.3 AVANCE EN LA CONSTRUCCION DE LA SUR-BASE

fin del  
adoquinado

camino norte ave principal

sentido del avance

inicio adoquinado



camino sur ave principal

Escala: 1:500  
Fecha: 15/11/78  
Dibujante: J. M. S.

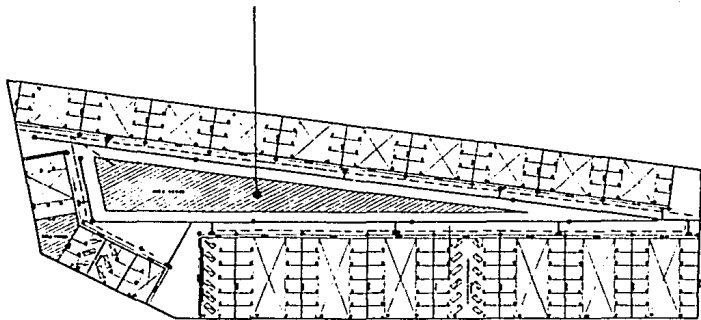
-78-

0.10  
0.20  
0.30  
0.40  
0.50  
0.60  
0.70  
0.80  
0.90  
1.00

<b>FUENTES DE ATLACOMULCO</b>
propiedad: Sr. Daniel Monroy
<b>proyecto de lotificación</b>
ubicación: Atlacomulco, Edo. de México
planificación y diseño de obras civiles S. A. de C. V.

Fig 5.4 AVANCE EN LA CONSTRUCCION DEL ADOQUINADO

area para el almacenamiento del  
material para la pavimentacion



-79-

escala: 1/20  
 autor: Ing. Daniel Monroy  
 fecha: 1950

1. 1/20  
 2. 1/20  
 3. 1/20  
 4. 1/20

<b>FUENTES DE ATLACOMULCO</b>
propiedad: Sr. Daniel Monroy
proyecto de edificación
ubicación: atacomulco, edo. de mexico
planteo y obra de obras civiles S. A. de C. V.

Fig 5.5 DEPOSITO DE MATERIALES PARA LA PAVIMENTACION.

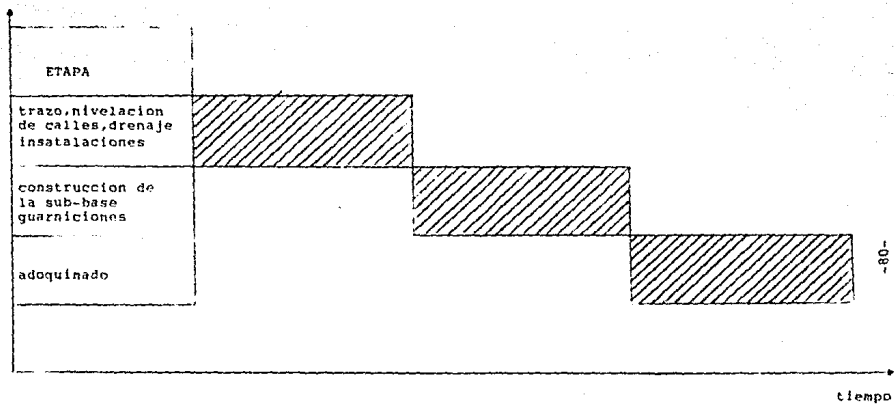


Fig 5.6 ETAPAS DE LA PLANIFICACION DE LA CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO EN FUENTES DE ATACOMULCO

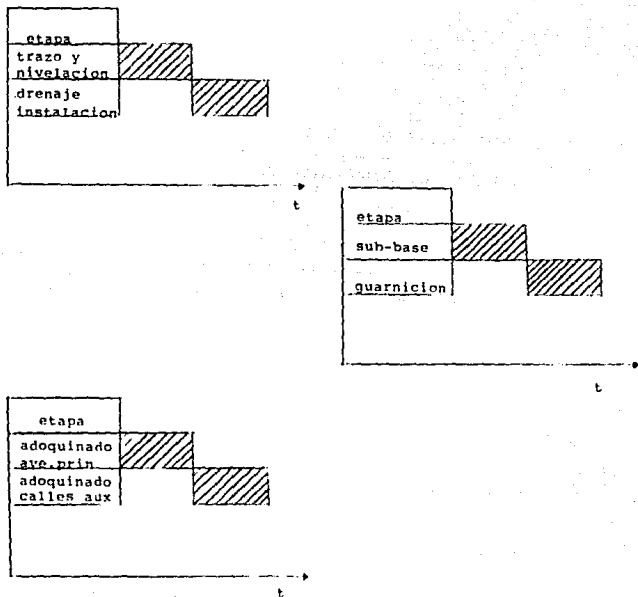


Fig 5.7 ETAPAS SUBSECUENTES EN LA PAVIMENTACION DEL CONJUNTO LOMAS DE ATLACOMULCO

## 5.2 Caso práctico para el diseño y construcción de un pavimento para tránsito pesado en la fabrica Lingobronce.

### 5.2.1 DESCRIPCION

a) La fábrica se localiza en el Km 16.5 de la vía José López Portillo, Tultitlán Edo. de Méx..

La empresa se dedica a la producción de bronce y al reaprovechamiento del cobre.

b) El camino de acceso mide 10 mts de ancho y 50 mts de largo y actualmente está constituido por una carpeta de asfalto de 5 cm - dañada en la mayor parte de su superficie, lo cual hace difícil el tránsito de vehículos para llegar a la planta.

c) El tránsito hacia la planta se puede dividir en dos tipos:

- 1.- El tránsito originado por los vehículos de los empleados al entrar y salir del trabajo.
- 2.- El tránsito originado por los vehículos que transportan el material que se lleva a la planta y el que produce ésta.

Al final se sumarán y se conocerán el número de ejes estandar a lo largo de la vida de diseño de la obra.

### 5.2.2 TRANSITO

No se considerará que el número de vehículos aumente con el tiempo debido a que la fábrica tiene instalada toda su capacidad y en sus planes no tienen ninguna ampliación, la vida útil de la obra será de 20 años.

#### Tránsito para vehículos pasajeros

Para este caso se hizo una medición del número de vehículos que transitaban por el acceso a la planta a la hora de entrada y salida de personal durante el transcurso de la semana 25 al 30 de Abril de 1988, de lo anterior tenemos la siguiente tabla.

TABLA 5.3

OBSERVACIONES DE LA SEMANA 25 AL 30 DE ABRIL DE 1988.

DIA .	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
MAÑANA	32	33	32	32	30	30
TARDE	32	33	34	32	30	30
TOTAL	64	66	66	64	60	60

Tabla 5.3 Observaciones del paso de vehículos en una semana en la fábrica Lingobronce.

De los datos obtenidos se sacó un promedio el cual fué de 63.31 vehículos diarios, para fines de cálculo se tomarán 64.

Para encontrar el número de ejes estandar a lo largo de la vida de diseño, se usó la tabla 5.4. utilizando los siguientes datos :

VIDA DE DISEÑO 20 años

TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO : 100%

OBRA : Lingobronce camino de acceso

FECHA Abril 88

VIDA DE DISEÑO: 20 años

T D P A 64 vehículos

Tránsito carril  
de diseño 100%

TIPO DE VEHICULO	Dist.del Tránsito	Dist. del Tránsito	Coefficiente Equivalente	Ejes sen cillos equivalen tes
------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------------	--

Vehículos hasta 15 Ton.	100%	64	0.06	0.384
-------------------------	------	----	------	-------

TRANSITO EQUIVALENTE 0.384

TABLA 5.4. Número de ejes estandar a lo largo de la vida de diseño originado por vehículos particulares

Si consideramos 52 semanas al año de 6 días cada una y esto a lo largo de 20 años, obtenemos 6,240 días laborales durante la vida de diseño y si al día transitan 0.384 ejes estandar, en 20 años habrán transitado 2,396 ejes estandar.

TRANSITO PARA VEHICULOS PESADOS

Para el caso de vehículos que transportan material se consideró una vida útil de 20 años, solo que se tienen tres días a la semana en los que se hace la entrega y salida de material de la planta y -



por lo tanto el área de acceso es muy transitada ya que no solo entran los vehículos cargados si no que al salir van cargados nuevamente y además hacen numerosas maniobras salen y vuelven a entrar por lo que pasan por esta zona muchas veces.

Procedimientos:

1.- Los vehículos se clasificaron en tres tipos con las siguientes características:

a) CAMION, PESO 23.5 TONELADAS DIVIDIDO EN:

Eje sencillo delantero	5.5 Ton.
	<u>18.0 Ton.</u>
	23.5 Ton.

b) TRACTOR CON SEMIREMOLQUE PESO 32.5 TONELADAS DIVIDIDO EN:

Eje sencillo delantero	5.5 Ton
Eje sencillo trasero	10.0 Ton
Eje semiremolque Tandem	<u>18.0 Ton</u>
	32.5 Ton

c) TRACTOR CON REMOLQUE PESO 45.5 TONELADAS DIVIDIDO EN:

Eje sencillo delantero	5.5 Ton
Eje sencillo trasero	10.0 Ton
Eje semiremolque sencillo	10.0 Ton
Eje sencillo remolque delantero	10.0 Ton
Eje sencillo remolque trasero	<u>10.0 Ton</u>
	45.5 Ton

2.- Se tomó un punto de observación que fue la caseta de vigilancia y cada vez que pasó un vehículo se marco como un movimiento.

Se realizó la observación y recuento de movimiento de vehículos obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 5.5

TIPO VEH/DIA	20 abr	22 abr	25 abr	PROMEDIO
CAMION	95	93	97	95
TRACTOR C/SEMIREMOLQUE	80	75	88	81
TRACTOR C/REMOLQUE	50	55	60	55

Tabla 5.5 Observaciones de paso de vehículos de carga en el camino de acceso a la fábrica Lingobronce. suma 231

Con estos datos se procedió a calcular el número de ejes estándar al final de la vida de diseño, utilizando la tabla 5.6

TABLA 5.6

OBRA : LINGOBRONCE

FECHA: abril/1985

VIDA DE DISEÑO	T.D.P.A 231		TRANSITO CARRIL DE 100% DISEÑO	
20 años				
TIPO DE VEHICULO	DIST.DEL TRANSITO	DIST.DEL TRANSITO	COEFICIENTE EQUIVALENCIA	EJES SENCILLOS EQUIVALENTES 8.2 T.
1 Camiones(15-23 T)	41	95	2.1	199.5
2 Tractor c/semire molque(25-30 T.)	35	81	4.1	332.1
3 Camión c/remol - que (35-55 T.)	24	55	6.4	<u>352.0</u>
			transito equivalente	883.6

TABLA 5.6 EJES ESTANDAR AL FINAL DE LA VIDA DE DISEÑO ORIGINADOS POR TRANSITO PESADO

Si consideramos 52 semanas al año y 3 días por cada una, tendremos 156 días laborables, esto durante 20 años, nos dá 3 120 días laborables durante la vida de diseño, el tránsito equivalente de ejes estandar al final de la vida de diseño será :  $883.6 \times 3\ 120 = 2\ 786\ 832$

Sumando este resultado al obtenido por los vehículos particulares tendremos 2 759 228 ejes estandar a lo largo de la vida de diseño. Para fines de cálculo consideraremos 3 000 000 de ejes.

### 5.2.3. DISEÑO DEL PAVIMENTO

La capa de suelo sobre la que se va a desplantar el pavimento es una arcilla-arenosa, para este tipo de suelo la Road Note 29 - marca un VRS de proyecto del 6 % . Con los datos de tránsito y el VRS de diseño y utilizando la tabla 5. 6 se obtiene que el espesor de la sub-base es de 18 cm.

Para obtener el espesor de la base se utiliza la tabla 5.7 en donde se observa que para esta cantidad de tránsito se usan los - mínimos espesores indicados; de tal manera que el espesor para -- una base negra será de 8 cm.; si consideramos lo demostrado por -- Knapton, la base será de 8 cm. mas una de 9 cm. equivalente dada -- por el adocreto, por lo cual la base es superior a los 15 cm.

La plantilla será de arena y tendrá un espesor de 5 cm.

El adoquín a utilizar de 8 cm. de espesor y del tipo de cruz.

Así la sección transversal de este pavimento será :

ADOQUINADO	8 cm. adoquines en forma de cruz
PLANTILLA	5 CM. compactada arena fina
BASE	8 cm. base negra a base de FR-3
SUB-BASE	18 cm. material que cumpla normas mexicanas. Ref. ( 4 )

---

39 cm.

El adoquinado no llevará juntas horizontales, la guarnición será la misma que tiene hoy en día el acceso, se conservarán las pendientes tanto transversales como longitudinales

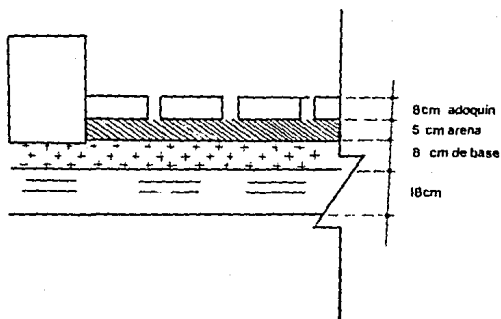


Fig.5.8 SECCION TRANSVERSAL TIPICA DEL PAVIMENTO PARA LA PLANTA LINGO BRONCE.

También es posible diseñar el pavimento con el método de La - Porter modificada, en este caso usando la tabla 5.6 y con los mismos datos obtenemos que el espesor del pavimento es de 54 cm. tomando en cuenta que el espesor del adoquín y de la plantilla se reduce a la mitad y suponiendo una base negra de 15 cm. tenemos:

$$54 = 7 + (15) 2 + \text{Sub base}$$

$$\text{Sub base} = 17 \text{ de material natural}$$

lo que nos dá un resultado similar al anterior.

#### 5.2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO

Se recomienda seguir esta metodología para la construcción de este pavimento:

1.- Se levantará el pavimento anterior hasta llegar al terreno natural se rectificará y corregirá si es necesario el trazo y niveles ya sea a mano o con algún tractor.

2.- Se afinará el terreno natural.

3.- Se construirá la sub base con un espesor de 19 c.m. compactándose con un rodillo vibrador y en lugares de difícil acceso con caillarinas y se darán las características que marca la norma Mexicana para esta capa.

4.- Se construirá la base de un espesor de 7.5 c.m. a base de una mezcla en frío con asfalto FR-3.

5.- La plantilla de arena tendrá un espesor de 6.5 c.m. sin compactar y al compactar deberá ser de 5 c.m.

6.- Se construirá el adoquinado con adoquines de concreto en forma de cruz de 8 c.m., en este tipo de adoquín no se contruyen juntas horizontales.

7.- Se realizará el vibrador cuando se lleven 5 mts de avance en la obra a lo largo de esta y siempre al final de la jornada de trabajo.

#### 5.2.5 PLANIFICACION DE LA OBRA.

La obra se llevara en cuatro etapas:

En la primera se levantará el pavimento original en el tramo a construir.

En la segunda se contruira la sub base.

En la tercera la base se construirá.

En la cuarta etapa se construirá el adoquinado del tramo a con-

truir según lo demuestra la figura 5.6.

Para no parar el tránsito que tiene la planta, estas cuatro etapas se harán por tramos de avance de 5 mts. de ancho por 10 de largo con objeto de estorbar lo menos posible al tránsito. Recordemos que tenemos la posibilidad de que al acabar de adoquinar se puede abrir al tránsito el tramo construido.

Para el adoquinado se utilizará una brigada modificada de cinco elementos, dos colocadores y tres ayudantes.

El sentido de la pavimentación será de dentro de la fábrica hacia la salida.

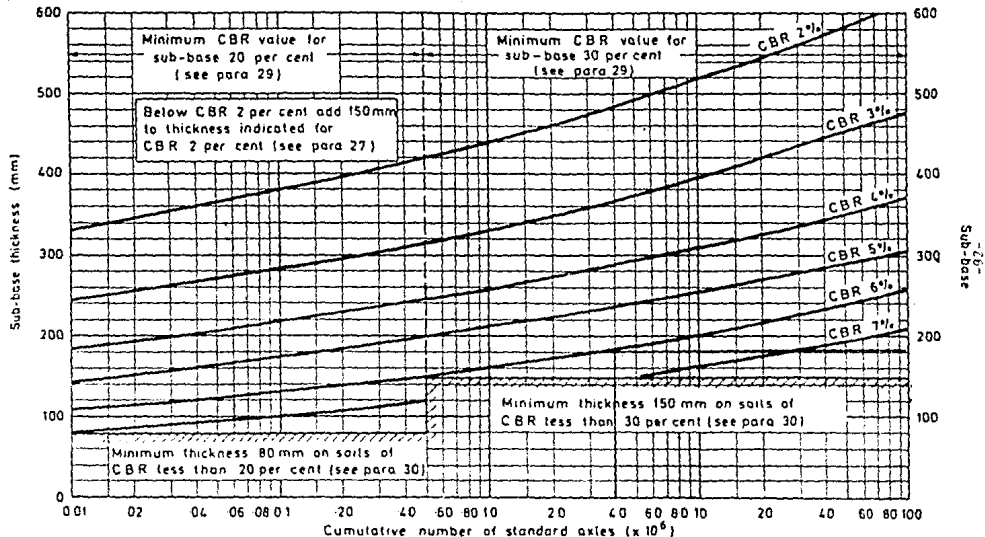
El suministro del adoquín y arena se hará en una sola entrega -- almacenándolo dentro de la planta, cada día se surtirá el material necesario para el tramo, por los miembros de la brigada del lugar donde se depositó.

Se seleccionó una base negra del tipo de mezcla en frío, ya que presenta las ventajas de que se puede realizar en la misma obra y no es complicada su elaboración y puede colocarse casi inmediatamente la capa de arena ya que es un material asfáltico de fraguado rápido.

Es importante en esta obra y en cualquier obra que se realiza en una fábrica, no parar la producción, haciendo las obras con la máxima eficiencia y calidad en el menor tiempo posible, ya que esto reduce costo y redundancia en una obra más costeable.

TABLA 5.6 ESPESORES DE LA SUB-BASE PARA DIFERENTES "VRS" Y NUMERO DE EJES

Fig. 6 Thickness of sub-base





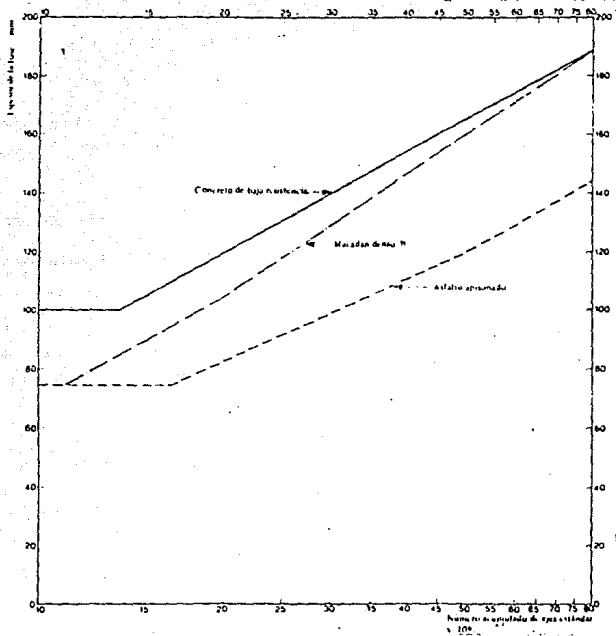


TABLA 5.7 ESPESORES PARA DIFERENTES TIPOS DE BASE

GRAFICA PARA LA ESTRUCTURACION DE UNA OBRA VIAL EN BASE A VRS OBTENIDO DE PRUEBA PORTER MODIFICADA

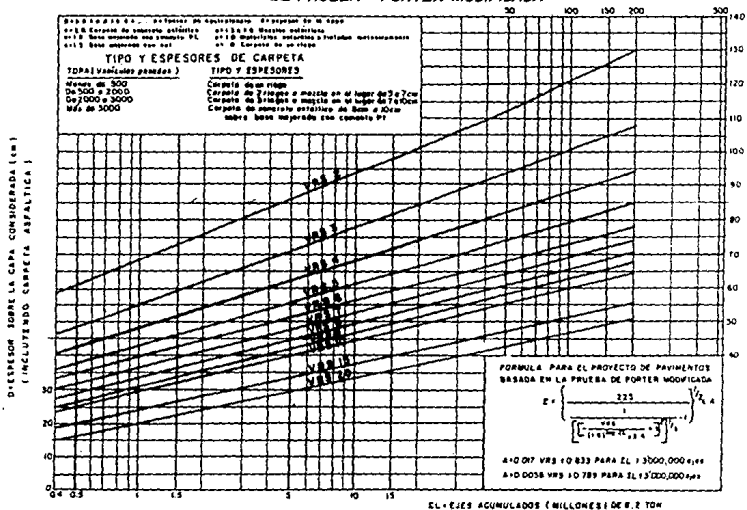


TABLA 5. B ESPESORES DE PAVIMENTO PARA DIFERENTES VRS Y DIFERENTES NUMERO DE EJES ACUMULADOS.

# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES:

6.1 Como se ve en el desarrollo del presente trabajo, el pavimento de adoquín representa las siguientes ventajas sobre los tradicionales de concreto y carpeta asfáltica:

6.1.1 El procedimiento de construcción es más sencillo ya que no requiere equipo muy costoso y complicado como puede ser la maquina Finisher, la petrolizadora y los equipos de compactación; en el caso de carpetas y en el de concreto, todo el equipo relativo a fabricación y control de calidad de este.

6.1.2 En cuanto a operación y mantenimiento el adoquín es resistente a los aceites, que, en el caso de las carpetas, les producen daños considerables; para los trabajos de reparación se emplea un mínimo de material y en general son más baratos y más sencillos de realizar. Con respecto a los de concreto, éste requiere de un calafateo periódico de las juntas y el adoquinado.

En el caso de fallas, hundimientos y rupturas, el concreto y la carpeta requieren que se levanten todo el material y tirarlo o volverlo a utilizar parcialmente, con procedimiento muy costoso, en cambio el adoquín puede volverse a utilizar el mismo material, en un porcentaje muy alto.

6.1.3 El costo inicial de construcción es intermedio entre la carpeta y el concreto, pero sus costos de mantenimiento, más bajos y su vida útil, mas larga, hacen más conveniente su empleo.

6.1.4 En el caso de fraccionamientos ya sea habitacionales o industriales tiene una mejor apariencia y en cierta forma constituye un elemento que permite establecer límites de velocidad.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Departament of the Enviroment  
Road Reserch laboratory  
Road Note 29  
third Edition 1970 London England
- 2 Instituto Mexicano del cemento y del concreto a.c  
Adoquines de concreto 1980 México D.F
- 3 Juarez Badillo Eulalio. Mecanica de suelos  
Tomo II Teoriay aplicaciones de la mecanica de suelos.  
Segunda edición editorial Limusa 1986 México.
- 4 Olivera Bustamante Fernando  
Estructuración de vías terrestres  
primera edición editorial CECSA México 1986
- 5 Apuntes de la clase de pavimentos en la Universidad Anahuac  
Agosto-Diciembre 1980

## INDICE

	Página	
CAPITULO I	Introducción	1
CAPITULO II	Comportamiento Mecanico de los pavimentos	15
CAPITULO III	Diseño de los pavimentos de adoquín de concreto	30
CAPITULO IV	Proceso constructivo	47
CAPITULO V	Casos prácticos	66
CAPITULO VI	Conclusiones	95
BIBLIOGRAFIA		97