



# Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

## USO DE EQUIPO ESPECIALIZADO PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO EN ZONAS URBANAS.



8059367-6  
8059318-8

# T E S I S

Que para obtener el título de:

**I N G E N I E R O   C I V I L**

P r e s e n t a n :

**VICTOR TOMAS GAVIÑO ANGELES**

**JOSE LUIS GOMEZ ESPINOZA**

Asesor: **ING. SALVADOR DIAZ DIAZ**

M-0028727



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

CON GRATITUD, CARINO Y RESPETO A :

Mis padres

Mis hermanos

Mis maestros

La U.N.A.M.

Por mi formación profesional.

V.T.G.A

A mis padres:

Federico Gómez Cuevas  
Victoria Espinosa de Gómez

Por el valioso apoyo que siempre me han brindado -  
y que hizo posible la conclusión de mis estudios.

A mis hermanos:

Ana Lilia  
Alejandro  
Norma Guadalupe  
Federico Gustavo  
María Elena  
Perla Adriana  
Victor Hugo  
Allan Walter

Por el cariño que siempre nos ha mantenido juntos.

A mis familiares, maestros, amigos y a todas aque-  
llas personas que de una u otra forma contribuye--  
ron a lograr uno de mis objetivos.

““La culminación de un trabajo en beneficio de la humanidad,  
ante todo es una satisfacción para uno mismo y para la  
nación en que vivimos.”“



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN  
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

CI/053/1985

SRES. JOSE LUIS GOMEZ ESPINOSA Y  
VICTOR TOMAS GAVINO ANGELES  
Alumnos de la carrera de Ingeniería  
Civil.  
P r e s e n t e s .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 4 de octubre de 1984, me complace notificarles que esta Coordinación tuvo a bien -- asignarles el siguiente tema de tesis: "Uso de Equipo Especializado para la Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en Zonas Urbanas", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- Generalidades.
- I.- Tipos de Pavimentos.
- II.- Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico.
- III.- Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico.
- IV.- Conservación de Pavimentos de Concreto Hidráulico.
- V.- Aplicaciones en Zonas Urbanas.
- Conclusiones.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. -- Salvador Díaz Díaz, profesor de esta Escuela.

Fuego a ustedes tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentat el examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. -- Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e ,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Acatlán, Edo. de Méx., a 24 de abril de 1985.

ING. VADERO RAMIREZ SILENA  
Coordinador del Programa de  
ENEP - Ingeniería.  
COORDINACION DEL  
PROGRAMA DE INGENIERIA

ARS/rcm.

USO DE EQUIPO ESPECIALIZADO PARA LA CONSTRUCCION  
DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO EN ZONAS URBANAS

## C O N T E N I D O

OBJETIVO.....	1
INTRODUCCION.....	2
GENERALIDADES.....	4
1.- Introducción.....	4
2.- Características de los suelos .....	4
3.- Importancia de las terracerías.....	9
4.- Materiales para pavimentos.....	10
5.- Estabilizaciones.....	23
CAPITULO I. TIPOS DE PAVIMENTOS.....	27
I.1. Introducción.....	27
I.2. Pavimentos flexibles.....	27
I.3. Pavimentos rígidos.....	29
I.4. Comparación entre pavimentos rígidos y flexibles.....	29
I.5. Pavimentos urbanos y sus características....	34
CAPITULO II. DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.....	36
II.1. Introducción.....	36
II.2. Parámetros de diseño.....	37
1.- Tránsito y cargas.....	38
2.- Ambientales.....	39
3.- De construcción.....	40
4.- De diseño estructural.....	40
5.- De mantenimiento.....	41
6.- Operacionales.....	42
7.- Restrictivos.....	42
II.3. Proceso de diseño.....	43
1.- Clasificación de calles y tránsito.....	44



2.- Diseño de espesor.....	47
3.- Vida de diseño.....	53
4.- Calidad del concreto.....	53
5.- Características y resistencia de la sub-rasante.....	53
6.- Diseño geométrico.....	55
7.- Juntas.....	57
8.- Especificaciones de construcción.....	60
<b>CAPITULO III. CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.....</b>	<b>61</b>
III.1. Introducción.....	61
III.2. Características del concreto y materiales que intervienen en su elaboración.....	62
III.2.1. Características de los agregados y adicionantes.....	62
1.- Cemento.....	62
2.- Arena.....	63
3.- Grava.....	64
4.- Agua.....	65
5.- Adicionantes.....	65
III.2.2. Características del concreto.....	66
III.2.3. Propiedades y características del concreto y sus constituyentes, para su colocación con máquina automática.....	67
1.- Cemento.....	67
2.- Arena.....	67
3.- Grava.....	67
4.- Aditivos.....	68
5.- Propiedades y proporciones para la mezcla de concreto....	68
III.2.4. Descripción del equipo para fabri- cación y acarreo del concreto.....	70
1.- Equipo de fabricación.....	70
2.- Equipo de transporte.....	70

III.3. Equipo especializado para la construcción.....	72
III.3.1. Generalidades sobre máquinas para pavimentación.....	72
III.3.2. Equipos de colocación, compacta- ción y terminación.....	74
III.3.2.1. Equipos con cimbra deslizante.....	74
1.- Pavimentadora.....	74
2.- Extendedora y termi- nadora de sub-bases .	77
3.- Insertadora de jun- tas.....	77
4.- Tube Finisher.....	78
5.- Guarnicionera.....	78
III.3.2.2. Equipos con cimbra estacionaria.....	79
1.- Equipo de colocación y compactación.....	79
2.- Equipo de vibrado superficial y de acabado.....	79
3.- Equipo terminación final.....	81
4.- Equipo de aserrado de juntas.....	81
5.- Equipo para aplica- ción de sellos de juntas.....	81
6.- Equipo para la apli- cación de curado.....	81
III.4. Procedimientos de construcción.....	83
III.4.1. Selección del equipo.....	83
III.4.2. Secuencia de trabajo utilizando equipo con cimbra deslizante.....	84
1.- Primera fase.....	84
2.- Preparación de cimbras.....	88
3.- Tercera fase.....	90
4.- Afinación.....	94

III.4.3. Secuencia de trabajo utilizando equipo con cimbra estacionaria...	98
1.- Trabajos previos.....	98
2.- Colado, compactación y curado del concreto hidráulico.....	99
3.- Construcción de los diferentes tipos de juntas.....	100
4.- Sellado de las juntas.....	103
III.5. Control de calidad.....	105
III.5.1. Esquema del control de calidad...	105
III.5.2. Ejercicio del control.....	107
III.5.3. Pruebas de control en obra.....	112
III.5.4. Utilización de los resultados....	116
 CAPITULO IV. CONSERVACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.....	 119
IV.1. Introducción.....	119
IV.2. Protección del concreto.....	119
1.- Protección del pavimento terminado, an- tes de la apertura al tránsito.....	119
2.- Protección del pavimento a la apertura al tránsito, y limitaciones debidas a la construcción.....	120
3.- Programas de conservación posteriores a la construcción del pavimento.....	122
 CAPITULO V. APLICACIONES EN ZONAS URBANAS.....	 124
V.1. Introducción.....	124
V.2. Aplicaciones.....	124
 CONCLUSIONES.....	 130
 BIBLIOGRAFIA.....	 133

## O B J E T I V O S

Proporcionar los conocimientos necesarios para el diseño construcción y conservación de pavimentos de concreto hidráulico en zonas urbanas.

Descripción de equipos especializados para construir pavimentos de concreto hidráulico en zonas urbanas.

Definir cómo se debe llevar el control de calidad del concreto hidráulico para pavimentos.

Analizar las ventajas y desventajas de pavimentos de concreto hidráulico en zonas urbanas.

## INTRODUCCION

Una de las partes más importantes de una carretera, aeropuerto, o calle, es su PAVIMENTO, sin el cual no se puede pensar en un tránsito rápido, cómodo y seguro, en la zona donde se localice este tipo de vías terrestres que constituyen los elementos básicos de la infraestructura de una red nacional de transporte.

Los pavimentos urbanos, como cualquier estructura de una red vial, se diseñan, construyen y conservan a través de un proceso, que juntos integran un ciclo de continuo mejoramiento. Es por ello que las naciones de escasos recursos económicos, como México, con caminos de poco tránsito y condiciones regionales propias, necesitan invertir tiempo y dinero para mejorar los pavimentos en zonas urbanas, incorporando en forma adecuada la utilización de equipo especializado para el procesamiento y colocación de los materiales utilizados en la construcción de éstos.

Como nuestro estudio se refiere a pavimentos de concreto hidráulico, la producción de éste, debe apoyarse en una serie de actividades muy bien planeadas, que aseguren la correcta obtención de sus constituyentes, elaboración, colocación y el control de calidad adecuado.

Es por ello indiscutible que dichas actividades no podrán ser llevadas a cabo si no se cuenta con el equipo apropiado para el desarrollo de cada una de ellas.

Por lo tanto, el objetivo de éste trabajo es proporcionar los conocimientos necesarios para el diseño, construcción y conservación de pavimentos de concreto hidráulico en zonas urbanas, utilizando equipo especializado de construcción, definiendo

de cómo se debe llevar el control de calidad y analizando las ventajas que presenta este tipo de pavimentos, así como las características de éstos aplicados en zonas urbanas.

## GENERALIDADES

### 1.- Introducción.

Las vías terrestres así definidas se construyen fundamentalmente de tierra y sobre tierra. Desde hace ya bastante tiempo, la técnica moderna ha reconocido la influencia que sobre una estructura de esta naturaleza tiene el terreno que sirva de apoyo, entendiéndose por tal no sólo al suelo o roca que existe en el lugar, pasivamente considerado, sino todo un conjunto de condiciones que comprende desde la constitución mineralógica, la estructuralización del suelo, la calidad y estado de agua contenida y su modo de fluir.

Sin embargo, ha sido ya en épocas más recientes, cuando el Ingeniero en Vías Terrestres comprendió que el uso de materiales que se ofrecen en amplia variedad en la naturaleza no es indiferente o arbitrario sino selectivo, y que aún utilizando los mismos materiales para producir una sección dada, según el uso que se haga de éstos materiales dentro de la sección, tanto a lo que se refiere a su posición en ella, como a las condiciones en que se coloquen y los tratamientos mecánicos e aún químicos que se les dé.

### 2.- Características de los suelos.

La construcción de vías terrestres implica el uso de los suelos, pero un uso selectivo, juicioso y en lo posible científico. Entendiéndose que suelo para el Ingeniero es: todo material no consolidado que está sobre la corteza terrestre, y el material más antiguo usado por el hombre, asimismo es el más completo y variado material de construcción que se usa.

En la Ingeniería Civil se acostumbra a dividir primero los suelos de acuerdo a su granulometría en varias categorías. En la tabla 2.1, se presenta la clasificación de suelos per su granulometría. Para agrupar los suelos con mayor propiedad se han propuesto varias clasificaciones, pero para nuestros fines sólo presentaremos la clasificación de la antigua SAKOP, (1976-1982) que usa una clasificación de materiales para terracerías que incluye rocas, suelos y suelos altamente orgánicos. Ver tablas 2.2, 2.3, y 2.4.

*TABLA 2.1. Clasificación de Suelos por tamaño de partículas.*

<i>SUELO</i>	<i>ESCALA DIMENSIONAL (mm), ó ("), (malla No)</i>
<i>Bolao</i>	<i>Más de 80, 3</i>
<i>Grava</i>	<i>De 80 a 5, malla No. 4</i>
<i>Arena</i>	<i>De 5 a 0.074, malla No. 200</i>
<i>Limo y Arcilla</i>	<i>Menos de 0.074</i>



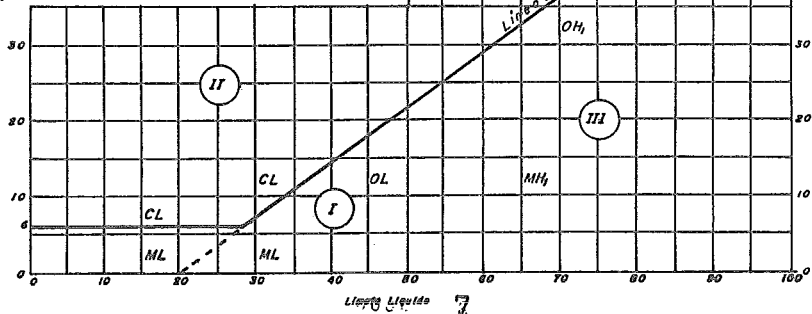
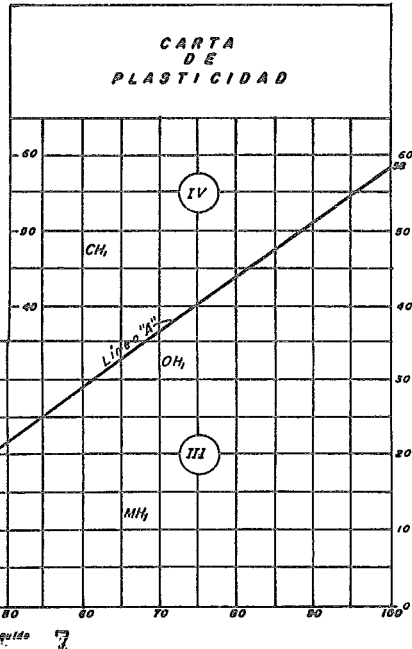
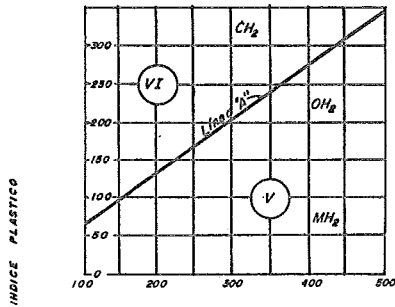
TABLA 2-2

30	Subtipos	IDENTIFICACION	Símbolo de grupo	Notas																							
REQUISITOS DE ROCA Transferidos de 7.6 cm y menores de 2.5 cm.	<b>GRANDES</b> Mayores de 75 cm y menores de 2 m.	Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo. Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.	Fg Fgn Fgc Fgnc Fgnc	1- Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de suelo, el material se clasificará con símbolos dobles, utilizando los símbolos del suelo correspondiente y los del fragmento correspondiente. Si el volumen de suelo es mayor del 30%, el símbolo de éste se colocará al del fragmento; si el volumen de suelo está comprendido entre 10 y 50, su símbolo se colocará en segundo de símbolo con los fragmentos de roca.																							
	<b>MEDIANOS</b> Mayores de 20 cm y menores de 75 cm.	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.	Fm Fmc Fmg Fmnc Fmnc	Ejemplo 1      Ejemplo 2 Un material      Un material contiene:      contiene: 60% de GC      40% de Fm 20% de Fg      30% de SM 15% de Fe      20% de FC 5% de Fc      10 % de Fg Su símbolo sería:      Su símbolo sería: GC-FmG      Fmc-FSM																							
	<b>CHICOS</b> Mayores de 7.6 cm y menores de 20 cm.	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo. Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.	Fc Fcm Fcg Fcmg Fcmg	2- La clasificación de suelos que aparecen en este cuadro es en general, el Sistema Unificado (S.U.C.-U.) de acuerdo con la versión S.O.P. de dicho sistema. 3- Todos los tamaños de los molinos que aparecen en este cuadro son los de la U.S. Standard (abertura cuadrada).																							
S.U.E.L.O.S. Partículas menores de 7.6 cm.	<b>DE PARTICULAS GRUESAS</b> Nota de la mitad del material se reduce a la malla Núm. 200. Se define que las partículas más pequeñas aprisionadas e incluye véase corresponden a un tamaño de 0.075 mm (3/4 de milímetro, apor). <b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla Núm. 4.	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="338 852 400 998">                             Gravas limpias (poco o nada de partículas finas)                         </td> <td data-bbox="400 852 597 998">                             Gravas bien graduadas, agregos de grava y arena, poco o nada de arena. Deben tener un coeficiente de uniformidad de al menos 1.0 y un coeficiente de curvatura menor de 1.5. (Ver malla Núm. 6)                         </td> <td data-bbox="597 852 671 998">                             Menos del 8% en peso para la malla Núm. 200 (en peso).                         </td> <td data-bbox="671 852 868 998">                             GW                         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 998 400 1177">                             Gravas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)                         </td> <td data-bbox="400 998 597 1177">                             Gravas limpias, mezclas de grava, arena y arena, mal graduadas.                         </td> <td data-bbox="597 998 671 1177">                             Menos del 8% en peso para la malla Núm. 200                         </td> <td data-bbox="671 998 868 1177">                             GP                         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1177 400 1242">                             Arenas limpias (poco o nada de partículas finas)                         </td> <td data-bbox="400 1177 597 1242">                             Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad mayor de 0.75 y un coeficiente de curvatura menor de 1.5. (Ver malla Núm. 20)                         </td> <td data-bbox="597 1177 671 1242">                             Menos del 5% en peso para la malla Núm. 200.                         </td> <td data-bbox="671 1177 868 1242">                             SW                         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1242 400 1307">                             Arenas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)                         </td> <td data-bbox="400 1242 597 1307">                             Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.                         </td> <td data-bbox="597 1242 671 1307">                             Menos del 5% en peso para la malla Núm. 200.                         </td> <td data-bbox="671 1242 868 1307">                             SP                         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1307 400 1372">                             Arenas limpias (cantidad apreciable de partículas finas)                         </td> <td data-bbox="400 1307 597 1372">                             Arenas limpias, mezclas de arena y arena mal graduadas.                         </td> <td data-bbox="597 1307 671 1372">                             Menos del 12% en peso para la malla Núm. 200 y los pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40.                         </td> <td data-bbox="671 1307 868 1372">                             SM                         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1372 400 1482">                             Arenas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)                         </td> <td data-bbox="400 1372 597 1482">                             Arenas mal graduadas, mezclas de arena y arena mal graduadas.                         </td> <td data-bbox="597 1372 671 1482">                             Menos del 12% en peso para la malla Núm. 200 y los pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, se clasifican como un tipo CL, entre de la línea "A" de la curva de plasticidad o "A" &gt; 5. (Véase abajo, grupo CL.)                         </td> <td data-bbox="671 1372 868 1482">                             SC                         </td> </tr> </table>	Gravas limpias (poco o nada de partículas finas)	Gravas bien graduadas, agregos de grava y arena, poco o nada de arena. Deben tener un coeficiente de uniformidad de al menos 1.0 y un coeficiente de curvatura menor de 1.5. (Ver malla Núm. 6)	Menos del 8% en peso para la malla Núm. 200 (en peso).	GW	Gravas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas limpias, mezclas de grava, arena y arena, mal graduadas.	Menos del 8% en peso para la malla Núm. 200	GP	Arenas limpias (poco o nada de partículas finas)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad mayor de 0.75 y un coeficiente de curvatura menor de 1.5. (Ver malla Núm. 20)	Menos del 5% en peso para la malla Núm. 200.	SW	Arenas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en peso para la malla Núm. 200.	SP	Arenas limpias (cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas limpias, mezclas de arena y arena mal graduadas.	Menos del 12% en peso para la malla Núm. 200 y los pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40.	SM	Arenas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas mal graduadas, mezclas de arena y arena mal graduadas.	Menos del 12% en peso para la malla Núm. 200 y los pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, se clasifican como un tipo CL, entre de la línea "A" de la curva de plasticidad o "A" > 5. (Véase abajo, grupo CL.)	SC	4- Cada los símbolos de los suelos se precisan en general el sistema unificado (S.U.C.-U.) de acuerdo con la versión S.O.P. de dicho sistema. 5- Tratándose de suelos compuestos de grava, en caso el 50% en peso para la malla Núm. 200 como comprendido entre 5 y 12%, se utilizan estas de fracción que requieren símbolos dobles. Ejemplos: GW-GC corresponde a una mezcla de grava y arena bien graduada, con contenido orgánico GW-24, correspondiente a un material bien graduado con menos de 5% de arena. La malla Núm. 200 y 3% de arena en la fracción que pasa la malla Núm. 200 y 3% de arena. 6- Los coeficientes de uniformidad (Cu) y de curvatura (Cc), que se utilizan para definir las gradaciones de los suelos GW, GP, SW, SP, son dados por las siguientes expresiones: $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}, Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ en que: D <sub>10</sub> , D <sub>30</sub> y D <sub>60</sub> son los diámetros de abertura de los tambores correspondientes al 10, 30 y 60% en peso, respectivamente del material que pasa, según la curva granulométrica.
Gravas limpias (poco o nada de partículas finas)	Gravas bien graduadas, agregos de grava y arena, poco o nada de arena. Deben tener un coeficiente de uniformidad de al menos 1.0 y un coeficiente de curvatura menor de 1.5. (Ver malla Núm. 6)	Menos del 8% en peso para la malla Núm. 200 (en peso).	GW																								
Gravas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas limpias, mezclas de grava, arena y arena, mal graduadas.	Menos del 8% en peso para la malla Núm. 200	GP																								
Arenas limpias (poco o nada de partículas finas)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad mayor de 0.75 y un coeficiente de curvatura menor de 1.5. (Ver malla Núm. 20)	Menos del 5% en peso para la malla Núm. 200.	SW																								
Arenas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en peso para la malla Núm. 200.	SP																								
Arenas limpias (cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas limpias, mezclas de arena y arena mal graduadas.	Menos del 12% en peso para la malla Núm. 200 y los pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40.	SM																								
Arenas con finos (cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas mal graduadas, mezclas de arena y arena mal graduadas.	Menos del 12% en peso para la malla Núm. 200 y los pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, se clasifican como un tipo CL, entre de la línea "A" de la curva de plasticidad o "A" > 5. (Véase abajo, grupo CL.)	SC																								

CONTINUACION DE TABLA 2-2

<p><b>SUELOS</b> Perfiles menores de 10cm.</p> <p><b>D.E. PARTICULAS FINAS</b> Más de la mitad del material que pasa de malla N.º 200</p>	<p><b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite líquido</p>	<p>Menor de 50%</p> <p>Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)</p> <p>Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. (Dentro de la zona II de la carta de plasticidad.)</p> <p>Limos orgánicos y arcillas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)</p>	<p>ML</p> <p>CL</p> <p>OL</p>	<p>7- La clasificación de los suelos de perfiles finos se determina, principalmente, haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla N.º 40 para ubicarlos en la carta de plasticidad o que se refiere al índice 0.075 que aparece por separado.</p>	
		<p>Entre 50 y 100%</p> <p>Limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limos micáceos o diafánicos, limos silíceos. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)</p> <p>Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)</p> <p>Limos y arcillas orgánicas de media o alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)</p>	<p>MH<sub>1</sub></p> <p>CH<sub>1</sub></p> <p>OH<sub>1</sub></p>		<p>8- Se debe recordar que los suelos OL, OH<sub>1</sub> y OH<sub>2</sub> con dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos MH<sub>1</sub>, MH<sub>2</sub> y MH<sub>3</sub>, respectivamente. Sin embargo, casi siempre que sea más cerca de la línea "A" que estos últimos, en virtud de presentar mayores índices plásticos.</p>
		<p>Más de 100%</p> <p>Limos inorgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)</p> <p>Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad.)</p> <p>Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)</p>	<p>MH<sub>2</sub></p> <p>CH<sub>2</sub></p> <p>OH<sub>2</sub></p>		
<p>Alimento orgánico</p>		<p>Fácilmente identificables por su olor, aspecto esponjoso y frecuentemente por su textura fibrosa. Todos y otros suelos altamente orgánicos.</p>	<p>P<sub>t</sub></p>		

TABLA 2-3



Límite Líquido

TABLA 2-4

Tipo	Subtipos	Símbolo de grupo	Características para su acomodo	Pruebas especificadas para la determinación de la pesos volumétricos secos máximos	Recomendaciones para su uso			
					Cuerpo de terraplén	Capa de subgrupos en terraplenos y cortes		
FRAGMENTOS DE ROCA	GRANDES Mayores de 75cm y menores de 2 m.	Fg Fgm Fgc Fgac Fgam	Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden usarse en todo el cuerpo de terraplén, acomodándose en su posición más estable, considerando que el agua salta de costado u ocasiona eduzado.  0 - 0 - 0 - 0 - 0	El proyecto deberá especificar aquellos casos en que sea posible construir por capas, todo o parte del terraplén. Los muelles de fragmentos de roca y sueltos, en que procedan éstos, después, en algunas ocasiones, ser susceptibles de compactarse con equipo especial, excepto no sea de determinar el grado de compactación. En este podrá hacerse en el cuerpo del terraplén y el proyecto fijará el procedimiento a seguir en estos casos.	No deben usarse	
	MEDIANOS Mayores de 20 cm y menores de 75cm.	Fm Fmc Fmg Fmcg Fmge	Susceptibles de acomodarse por bandas con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiendo los ángulos de la pasador mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.  0 - 0 - 0 - 0 - 0	No deben usarse		
	CHICOS Mayores de 7.6cm y menores de 20cm.	Fc Fcm Fcg Fcmg Fcm	Susceptibles de acomodarse por bandas con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiendo los ángulos de la pasador mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	No deben usarse		
SUELOS	Gruesos	Gravas	Susceptibles de compactarse con equipo especial.	PORTER	90% de Compactación.  0—0—0—0	95% de Compactación.	No deberán usarse materiales con valor relativo de segregación mayor de 5%.	
		Arenas		Porter Porter Porter SOP				
	Finos	Límite Líquido menor de 30		Porter para Ip < 6 Proctor SOP Proctor SOP Proctor SOP				Proctor SOP
		Límite líquido entre 30 y 100						
Alfomante orgánicos	Turba	PI			No debe usarse	No deben usarse		

NOTA: En cuanto a los porcentajes de compactación y de expansión de los suelos, que aparecen en el presente cuadro, se hace notar que puede haber algunas excepciones, en más o menos, que deberán ser objeto de estudios especiales y especificaciones complementarias.

### 3.- Importancia de las terracerías.

Probablemente ha de reconocerse que algo de las dificultades con que hoy se enfrenta el Ingeniero al tratar de resolver el problema del dimensionamiento de pavimentos, es debido a los enfoques que ha sido capaz de desarrollar hasta el momento para el problema, enfoques que, seguramente, será conveniente cambiar en el futuro.

Parece fuera de duda que el comportamiento estructural de una carretera no puede circunscribirse a unos cuantos centímetros superiores a unas cuantas capas situadas sobre los demás. Evidentemente ese comportamiento estructural se fragua en toda la sección, contando desde el terreno de cimentación a la carpeta o losa de concreto hidráulico, es posible que de las fallas observadas en pavimentos, hayan ocurrido tantas por mala terracería como por mala base o sub-base, y que las condiciones del terreno de cimentación puedan ser determinadas en muchos casos.

En la actualidad, el terreno de cimentación y la terracería se tratan con bastante independencia del requerimiento estructural que de ellos ha de hacerse más tarde, de manera que todos los parámetros que definen dicho comportamiento estructural quedan sin ser controlados, y así es como se considera, que la responsabilidad de la respuesta estructural de la sección está únicamente en las capas de sub-base, base y capa de rodamiento a las que se les denomina con el nombre de pavimento, sin darle importancia al terreno de cimentación y a la terracería, que pueden ser la causa de la falla del pavimento.

Por lo anterior expuesto, es fundamental, para aspirar a una buena tecnología de vías terrestres, eliminar la dualidad terracería-pavimento, sustituyéndola por el concepto monolítico-

co de SECCION ESTRUCTURAL DE LA VIA TERRESTRE. Dicha sección ha de estudiarse sin distinciones conceptuales dentro de ella, analizando todos los componentes y adecuándolos a las exigencias, de manera que la sección resista en cada nivel lo necesario.

Ya aclarada la importancia de las terracerías en una obra vial, las definiremos como: parte de la sección estructural formada por excavaciones, terraplenes o rellenos necesarios de una obra vial, con objeto de fijar los niveles y alineamientos de proyecto.

Los materiales que se utilizan para terracerías, son los que provienen de la corteza terrestre, ya sea que se extraigan de cortes o préstamos, que se utilizan en la construcción de terraplenes o rellenos, los cuales pueden emplearse solos, mezclados o estabilizados en tal forma que reúnan características adecuadas para su uso. Estos materiales se clasifican de acuerdo con lo indicado en la tabla 2.2, y como complemento la carta de plasticidad indicada en la tabla 2.3. Para obtener mejores resultados, al usar los materiales de terracerías se recomienda, de acuerdo con sus características, cumplir con lo indicado en la tabla 2.4.

#### 4.- Materiales para pavimentos.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de pavimentos constituyen uno de los aspectos principales para que éstas estructuras proporcionen con eficiencia el servicio y duración que se espera de ellas, dentro de las condiciones previstas en el proyecto.

Aunque la buena estructuración de los pavimentos guarda también estrecha relación con otros factores no menos impor-

tentes, tales como el empleo de ligantes asfálticos o hidráulicos, los procedimientos de construcción que se apliquen, etc., la consecución con éxito del objetivo citado al final del párrafo anterior, depende en buena parte de que los materiales pétreos utilizados se seleccionen y procesen siempre en forma congruente con el uso a que se les destinan, a fin de lograr de ellos, el menor costo posible la calidad que se requiera en cada caso para resistir adecuadamente los efectos impuestos por el tránsito y el medio ambiente.

En la construcción de una obra vial, es necesario indicar qué materiales se van usar, de qué calidad y de qué banco se tomarán.

En Ingeniería Civil, se llama banco de material, a todo depósito natural que se va a utilizar para la construcción de una estructura. La localización de éstos depósitos, influye determinantemente en el costo y calidad de una obra vial; de aquí que los factores que deben considerarse para seleccionar los bancos, entre otros son los siguientes: Calidad, Accesibilidad, Facilidad de Explotación, Volumen Disponible, Tratamiento y Costo.

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

- Playones de ríos.
- Depósitos.
- Mantos de roca.
- Conglomerados.

- Aglomerados.

- Zonas de pepena.

En obras de pavimentación importantes, las oficinas que realizan el diseño, localizan y estudian los bancos de materiales para la obra y anexan un inventario de éstos.

Las tablas 4.1 y 4.2, indican de acuerdo a los tipos de materiales presentados en los bancos, el equipo de construcción y el tratamiento para su empleo en carreteras, aeropistas, ferrocarriles y desde luego pavimentos de calles.

Para el uso de materiales de banco en terracerías y capa sub-rasante, se recomienda de acuerdo con sus características cumplir con lo indicado en la tabla 2.4.

**TABLA 4-1. Suelos.**

Tipo de material	Despalmo ó limpieza	Preparación	Tamaño máximo (m)	Equipo de excavación y carga	Distancia y equipo de acarreo (m).	
Aluviones	Tractor de orugas ó neumático con cuchilla frontal inclinable.	Escarificación y mano	$0.30 < x < 0.75$	Pala mecánica y/o	De 150 y menos...	Volquete ó Camión
		Escarificación	$0.075 < x < 0.30$	Cargador frontal	De 150 a 2,500	Camión ó remolque
	Drago	Ninguna	$x < 0.075$ Bajo N.A.F.	Drago de almaja ó de arrastre	Más de 2,500	"
	Tractor de orugas ó neumático con cuchilla frontal inclinable ó escrepa halada con tractor.	Escarificación	$x < 0.075$ Sobre N.A.F.	Escrepa	Menos de 150 De 150 a 2,500	Escrepa halada con tractor ó motoescrepa "
Arenas, Limos y Arcillas	"	Escarificación cuando se encuentre compacto, cementado ó duro.	$x < 0.005$	Pala mecánica, Motoelevadora, Cargador frontal.	Menos de 150 De 150 a 2,500 Más de 2,500	Camión ó Volquete Camión ó Vagoneta " ó Remolque
				Escrepa	Menos de 150 De 150 a 2,500	Escrepa ó Motoescrepa "
	Drago de arrastre ó de almaja.	Ninguna	$x < 0.005$	Drago de arrastre ó de almaja.	Menos de 150 De 150 a 2,500	Camión Camión ó Vagon
	Drago marina	Ninguna	Bajo N.A.F.	Drago marina	Conducción hidráulica de sedimentación.	

**TABLA 4-2. Equipo para ataque de bancos y transporte de material.**

Tipo de material	Despalme y limpieza	Preparación del banco	Excavación y carga			Transporte
			Tamaño máximo (m)	Equipo	Distancia (m)	Equipo
<b>ROCAS</b>						
Roca sana, superficialmente alterada.	Tractor de orugas o neumáticos, con cuchilla frontal angulable/inclinable.	Barranqueo y tronado de acuerdo al tipo de roca y el tamaño máximo para obtener.	$0.75 < X < 2.00$	Pala mecánica	Menos de 150	Volquete o camión
			$0.30 < X < 0.75$	Pala mecánica o cargador frontal	De 150 a 2,500	Vagoneta o camión
			$0.075 < X < 0.30$	"	De 2,500 a más	Camión o remolque
Roca alterada, superficialmente muy alterada	"	Barranqueo y tronado, escarificación y monso, o solo escarificación.	$0.30 < X < 0.75$	"	Menos de 150	Volquete o camión
			$0.075 < X < 0.30$	"	De 150 a 2,500	Vagoneta o camión
			$0.075 < X < 0.30$	"	Más de 2,500	Camión o remolque.
Roca muy alterada, suelo y fragmentos chatos superficiales.	Tractor de orugas o neumático, con cuchilla frontal inclinable o escrapa con tractor.	Escarificación y monso, o solo escarificación.	$0.075 < X < 0.75$	"	Menos de 150	Volquete o camión
			$0.075 < X < 0.75$	"	De 150 a 2,500	Vagoneta o camión
		Escarificación	$X < 0.075$	Escrepa	Más de 2,500	Camión o remolque
			$X < 0.075$	Escrepa	Menos de 150	Escrepa halada con tractor de orugas o motoescrepa.
$X < 0.075$	Escrepa	De 150 a 2,500	Escrepa halada con tractor de neumáticos, o motoescrepa.			

Los materiales de uso recomendable en las diferentes capas de los pavimentos son:

a) Materiales de uso probable en sub-bases y bases hidráulicas.

Probablemente los materiales que más uso tienen en sub-bases y bases hidráulicas son las gravas-arenas procedentes de ríos, las cuales generalmente deben ser sometidos a trituración parcial y cribado, y en mayor parte de los casos es necesario mezclarlas con otro material que posea ciertas características, para que completen su granulometría, mejoren su cementación y abatan su plasticidad, etc., éstos materiales se prefieren a otros, debido a lo económico que resulta tanto su extracción, como su tratamiento.

Otro de los materiales que frecuentemente se emplean son los conglomerados, y aunque su uso más común es en sub-bases,



también se emplean en bases; en ambos casos después de su trituración parcial y cribado, lo más usual es que se les agregue un material fino inerte, para reducir principalmente sus características plásticas.

La arenisca es otro de los materiales que generalmente se emplean en sub-bases; dicho material normalmente sólo se somete a tratamiento de disgregado o trituración parcial.

Principalmente en sub-bases se emplean algunos tipos de rocas alteradas, las que en la mayoría de las ocasiones se les da tratamiento de disgregado o trituración parcial. Cuando se encuentra muy alterada se utiliza en la construcción de la capa sub-rasante.

Los materiales sometidos a trituración total y cribado, como las rocas precedentes de mantos y depósitos, peneas, etc., se emplean principalmente en bases hidráulicas, pero en ocasiones, debido a la escasez de otros materiales para sub-bases se emplean en éstas.

Los materiales empleados como sub-base, deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:

1.- De granulometría. La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3. (Ver tabla "a"); la curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que atraviesa la malla No. 200 al que atraviesa la No. 40 no deberá ser superior a 0.65.

2.- De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte, tamaño máximo y peso volumétrico seco las siguien

TABLA "a"

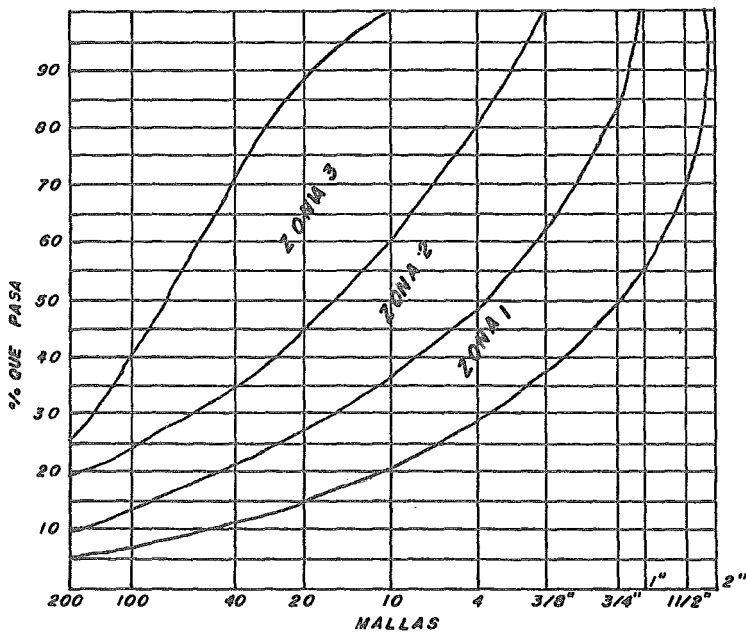


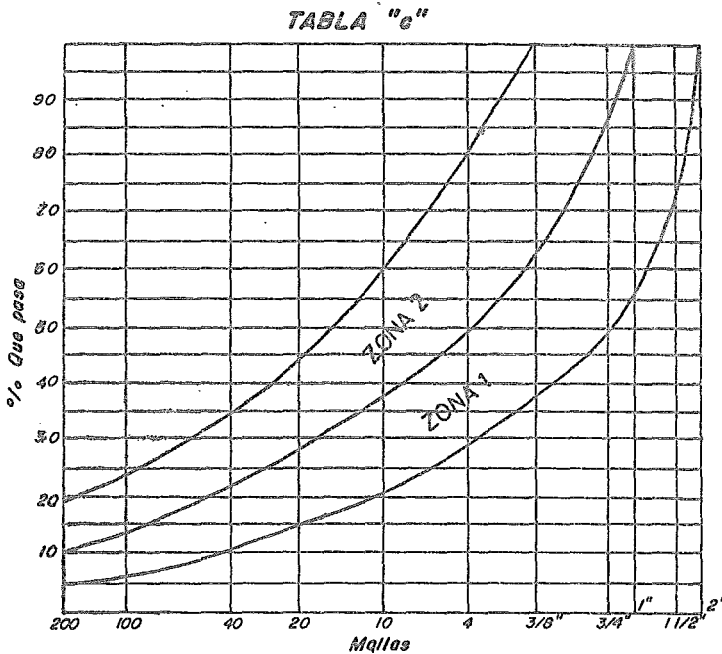
TABLA "b"

PRUEBAS	Zonas granulométricas del material		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Contracción Lineal, %	4.5 Máx.	3.5 Máx.	2.5 Máx.
Valor cementante, Kgs/cm <sup>2</sup> .	3.5 Mín.	2.5 Mín.	2.5 Mín.
Valor relativo de soporte, %	50 Mín.	50 Mín.	50 Mín.
Tamaño máximo del agregado, pulg.	2.5 Máx.	2.5 Máx.	1.5 Máx.
Peso volumétrico seco máximo, Kgs/m <sup>3</sup> .	1700, o menos en casos especiales		

tes; (Ver tabla "b").

Los materiales empleados como bases hidráulicos deberán cumplir con los siguientes requisitos (definiendo como base a la capa de materiales seleccionados que se construyen sobre la sub-bases o sub-rasante, cuando la calidad de ésta es igual a la de la sub-base y cuya función es soportar las cargas redantes y transmitir las a las capas inferiores del pavimento, distribuyéndolas de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en éstas):

1.- De Granulometría:



La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona 2, Ver tabla "c".

La curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.

2.- De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte, tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo (tentativo) las siguientes indicadas en la tabla "d".

TABLA "d"

Pruebas	Zonas granulométricas del material	
	Zona 1	Zona 2
Contracción lineal (%)	35 Máx.	2-0 Máx.
Valor cementante (Kgs./cm <sup>2</sup> )	4-5 Mín.	3-5 Mín.
Valor relativo de soporte (%)	80 Mín.	80 Mín.
Tamaño máximo de agregado (pulg.)	1-5 Máx.	1-5 Máx.
Peso vol. máx. (Kgs/m <sup>3</sup> )	1800 mín.	1,800 Mín.

b) Materiales de uso probable en bases estabilizadas.

Cuando por razones generales de índole económico se requiere emplear, en bases de pavimentos, materiales de la localidad que por sí solas no reúnan características físicas satisfactorias para éstos fines, se recurre a tratar dichos materiales adicionándoles algún producto elaborado para modificar sus propiedades originales, haciendo que alcancen los valores establecidos respecto a las normas vigentes.

Generalmente los materiales de uso probable en bases estabilizadas pueden ser los mismos que los de sub-base o bases hidráulicas, cuando dichos materiales no cumplen con las especi-

ficaciones de calidad correspondientes; en este caso se procede a la estabilización, lo cual puede ser a base de productos asfálticos, cemento portland, mezclas de cemento portland y puzolana, cal hidratada y cemento portland.

Los materiales empleados en estabilizaciones deberán llenar los requisitos que se indican en las Especificaciones Generales de Construcción en los incisos 91-03, 91-03.4 y 91-03.5, asimismo deberán cumplir con lo indicado en dichos incisos una vez que hayan sido estabilizados.

c) Materiales de uso probable en mezclas asfálticas y tratamientos superficiales.

Los materiales que se emplean con frecuencia en mezclas asfálticas son las gravas-arenas, los aglomerados, conglomerados y recas de manto de depósitos o de pepena, y algunos otros materiales que pueden considerarse como especiales.

En general, los materiales como las gravas-arenas, los aglomerados, conglomerados, para su empleo en mezclas asfálticas, es necesario someterlos a un tratamiento de trituración parcial y cribado, aunque con frecuencia, en el caso de los conglomerados y aglomerados, es necesario el lavado; las recas precedentes de mantos, depósitos o pepena, se someten a trituración total y cribado, siendo necesario en ciertos casos lavarlos para eliminar las partículas arcillosas que se encuentren adheridas al pétreo. En algunas ocasiones, a los materiales señalados anteriormente, se les incorpora otro material con objeto de mejorar algunas características físicas del material principal, como granulometría, plasticidad, etc., pues cualesquiera de los materiales pétreos que se pretenden em-

plear en mezclas asfálticas, es necesario que cumplan con las normas de calidad establecidas en las Especificaciones Generales de construcción.

Para emplearse en tratamientos superficiales, generalmente se utilizan gravas y rocas de mantos, de depósito y de península y solamente en casos muy especiales, se llegan a emplear aglomerados o conglomerados cuando éstos se presentan limpios de arcilla y con una fuerte proporción de fragmentos triturables. En ocasiones es necesario someter a lavado a los materiales antes señalados, para eliminar las partículas arcillosas o bien, el polvo, el cual en este caso es muy perjudicial, pues dificulta la adherencia del asfalto con el pétreo, como sucede frecuentemente con materiales procedentes de mantos de poca caliza.

d) Materiales de uso probable en pavimentos de concreto hidráulico.

Los materiales que tienen mayores probabilidades de emplearse en pavimentos de concreto hidráulico, son las gravas-arenas procedentes de ríos, los cuales para su empleo generalmente se someten a tratamientos de cribado con el fin de eliminar los tamaños mayores al máximo que se necesita en la grava, y separar ésta de la arena.

En ocasiones debido a las características de la región no se encuentran gravas-arenas, centrándose sólo con bolcos que tienen cantidades inapreciables de grava y arena, o con arenas con cantidades insignificativas de grava, por lo cual en éstos casos, para la obtención de los agregados, se recurre a un tratamiento de trituración total o cribado, según sea el ca

se.

Las rocas sanas tambien pueden emplearse como materiales de pavimentos de concreto hidráulico, sobre todo cuando hay escasez o no se cuenta con gravas-arenas de río, para el objeto, dichas rocas se deben someter a tratamiento de trituración total y cribado con el fin de obtener la grava y la arena, en ocasiones, es necesario llegar hasta la molenda para producir el último material indicado.

Cuando no se cuenta con los materiales antes señalados, se pueden emplear los aglomerados y conglomerados; en estos casos, el tratamiento que generalmente se requiere para su empleo es el de trituración parcial y cribado, y también por lo común es necesario el lavado.

Para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, en general, será más económico utilizar agregados pétreos procedentes de gravas-arenas de río que los obtenidos por trituración de rocas, aglomerados y conglomerados, por lo que es recomendable su uso, cuando se dispone de ellas en la región.

#### e) Casos especiales.

En ocasiones, para la ejecución de los trabajos de pavimentación no se dispone en la localidad de los materiales que tradicionalmente se utilizan en este tipo de obras, resultando más conveniente emplear materiales de tipo especial que no se usan comúnmente y que en algunos casos no llenan los requisitos especificados, pero que por su buen comportamiento en pavimentos construidos con anterioridad o bien, por razones que generalmente guarden relación con el costo y/o el programa de obra, resulta ventajoso su uso. Entre los materiales

que se utilizan en trabajos de pavimentación, que pueden considerarse dentro de un tipo especial, están, el tezontle, las escorias de fundición, los desperdicios de minas como son los materiales obtenidos del beneficio, las conchas y conchuelas de mar, el yeso, el sascab y la arcilla calcinada, y por último los materiales que no requieren tratamiento.

A continuación se mencionan los materiales y el uso que se les da generalmente en obras de pavimentación:

Tezontle.....	Sub-bases e bases hidráulicas
Sascab .....	Capa sub-rasante
Yeso .....	Bases hidráulicas
Conchuelas de mar .....	Bases hidráulicas
Escorias de fundición .....	Sub-bases y bases
Desperdicios de minas .....	Sub-bases y bases
Materiales que no requieren tratamiento .....	Sub-bases y bases

Las pruebas de laboratorio que se efectúan a los materiales que se extraen de bancos, según su utilización son las siguientes:

1.- Terracerías:

- a) Clasificación: Límite de plasticidad.  
Granulometría.
- b) Calidad:           Pese volumétrico máximo.  
                          Valor relativo de soporte.

2.- Capa sub-rasante:

- a) Clasificación: Límite de plasticidad.  
Granulometría.



- b) Calidad:           Pese volumétrico máximo.  
                          Valor relativo de soporte.  
                          Expansión.  
                          Equivalente de arena.
- c) Diseño                % de valor relativo de  
                          soporte o estabilidad y cohesión.

3.- Sub-bases y bases:

- a) Clasificación: Límite de plasticidad.  
                          Granulometría.
- b) Calidad:            Pese volumétrico máximo.  
                          Valor relativo de soporte.  
                          Expansión.
- c) Diseño:             Si se desea hacer un diseño  
                          per capas, deberán realizarse  
                          las pruebas indicadas para la  
                          capa sub-rasante.

4.- Carpeta asfáltica.

- a) Clasificación: Límite de plasticidad.  
                          Granulometría.
- b) Calidad:            Equivalente de arena.  
                          Afinidad con el asfalto.  
                          Forma de partículas.

5.- Agregados para concreto:

- a) Calidad: Granulometría.  
Peso volumétrico suelto y compacto.  
Densidad y absorción.  
Módulo de finura.  
Materia orgánica.  
Intemperismo acelerado.  
Reactividad con álcalis.  
Resistencia estructural.

6.- Concreto:

- a) Calidad: Resistencia a la compresión.  
Resistencia a la flexión.  
Revenimiento.  
Tamaño máximo de agregado.  
Contenido de cemento.  
% de aire incluido.

Concluyendo, se puede decir, que los materiales empleados en obras de pavimentación urbana deben provenir solamente de fuentes de abastecimiento aprobadas antes de que se inicie su explotación y se usarán siempre y cuando cumplan con los requisitos señalados en las Especificaciones Generales de Construcción, señalando aquellos casos especiales, para tomar las medidas preventivas. Los criterios para la aprobación de dichas fuentes de abastecimiento deberán ser de la capacidad de producción de materiales, calidad y en la cantidad requerida

5.- Estabilizaciones.

Cuando no se encuentran en su estado natural los materiales adecuados, será necesario mejorar sus características.

Como su nombre lo indica, con éste recurso se pretende hacer más estable un suelo. Uno de los procedimientos de estabilización, es la de mezclar a un material de granulometría gruesa otro que carece de esa característica. Por último existen los recursos de estabilizar un suelo, mezclándole cemento portland, cal hidratada, asfalto o cloruro de sodio.

El Ingeniero de pavimentos, deberá recordar que la estabilización es un asunto económico. Es decir, que hay casos en que es mejor y más barato recurrir a un mejoramiento del suelo del lugar, que transportar otro material desde grandes distancias.

A continuación se presentan los siguientes casos en que se puede justificar una estabilización:

- Un suelo con sub-rasante desfavorable, o muy arenosa o muy arcillosa.
- Materiales para sub-bases y bases en el límite de especificaciones.
- Condiciones de humedad desfavorables.
- Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.
- En repavimentación, aprovechando los materiales existentes.

Las estabilizaciones en suelos, generalmente se aplican en capas de redamiento para caminos de poco tránsito y para mantener la calidad de las terracerías sobre las que se asientan las capas del pavimento, con características aceptables en todo tiempo.

Normalmente se hacen estabilizaciones con cal, cemento y asfalto en los siguientes materiales:

- a) Estabilizaciones con cal hidratada. En terracerías predominantemente arcillosas, que son capaces de absorber y retener proporciones elevadas de agua.
- b) Estabilización con cemento portland. Las terracerías arenosas ó limosas que en estado seco presentan valores de cementación casi nulos y que solamente con una determinada proporción de agua tienen resistencia, será necesario estabilizarlas con un material capaz de aglomerarlas como el cemento, que les proporciona determinada rigidez y mantener estas características evitando que la absorción del agua exceda los límites convenientes.
- c) Estabilización con asfalto. En algunos casos conviene estabilizar un material usando productos asfálticos para elaborar capas de base o sub-base. El uso de estos productos asfálticos, está limitado a suelos granulares o de partículas gruesas. Un material arcilloso es muy difícil estabilizarlo, por los grumos de esos materiales.

En general todos los tipos de estabilización deberán cumplir las siguientes especificaciones:

- 1.- El suelo estabilizado deberá tener el soporte necesario para resistir las cargas que transmitan las capas superiores del pavimento, en condiciones críticas de humedad de acuerdo con las características del drenaje.
- 2.- La mezcla obtenida deberá ser completamente homogénea.

- 3.- El suelo estabilizado se compactará con una humedad cercana a la óptima hasta alcanzar el grado máximo de compactación especificado, con objeto de garantizar la máxima resistencia.
- 4.- De acuerdo con las características físicas de cada suelo, deberá utilizarse el producto adecuado, pudiendo ser cal, cemento o emulsiones asfálticas, para obtener resultados satisfactorios.
- 5.- Cuando se emplea un producto estabilizador, habrá que tener cuidado con sus tiempos de fraguado, de acuerdo con las características del mismo.

Como conclusión podemos decir que el Ingeniero en pavimentos, deberá usar su criterio en la estabilización de suelos, ya que su uso no es caprichoso, si no un recurso para abaratar el costo de una capa de pavimento.

En lo que se refiere a la técnica de mejoramiento de un suelo por compactación, ésta es una técnica de las más eficientes y de aplicación universal.

Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas para presas de tierra, diques, terraplenes para caminos, ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, pavimentos, etc., y en ocasiones es necesario compactar el terreno natural, como en el caso de las cimentaciones sobre arenas sueltas.

TIPOS DE PAVIMENTOS

I.1 Introducción.

Los pavimentos en zonas urbanas, en esencia no son distintos a los empleados en carreteras y aeropistas, y por lo tanto la metodología desarrollada al respecto tiene aplicación a éste caso, de aquí, para el desarrollo de este capítulo entenderemos por pavimento a la capa o conjunto de capas desde la sub-rasante a la superficie de rodamiento de una obra vial, a éste conjunto de capas, se les denomina en la actualidad estructura del pavimento, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de vehículos, al intemperismo producido por agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial.

Desde tiempos ya muy remotos, se han hecho intentos de clasificar los diferentes tipos de pavimentos, en la actualidad para su clasificación, se usa la forma en que los pavimentos distribuyen a la sub-rasante la carga recibida, clasificándola en dos grupos: Pavimentos flexibles y Pavimentos rígidos.

I.2 Pavimentos flexibles.

Están formados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base, sien

do la calidad de éstas descendentes. Entendiendo cómo están formados los pavimentos flexibles podemos llegar a su definición; son las estructuras firmadas por varias capas que distribuyen la carga recibida a través de su espesor a las capas inferiores a un nivel de esfuerzos adecuados a éstas.

Dentro de ésta definición quedan comprendidos los diferentes tipos de pavimentos flexibles, como son; Pavimentos de asfalto y Pavimentos de adoquín. En las figuras I.2.a, y I.2.b, se muestran los cortes típicos de éstos pavimentos.

FIGS. I.2.a.

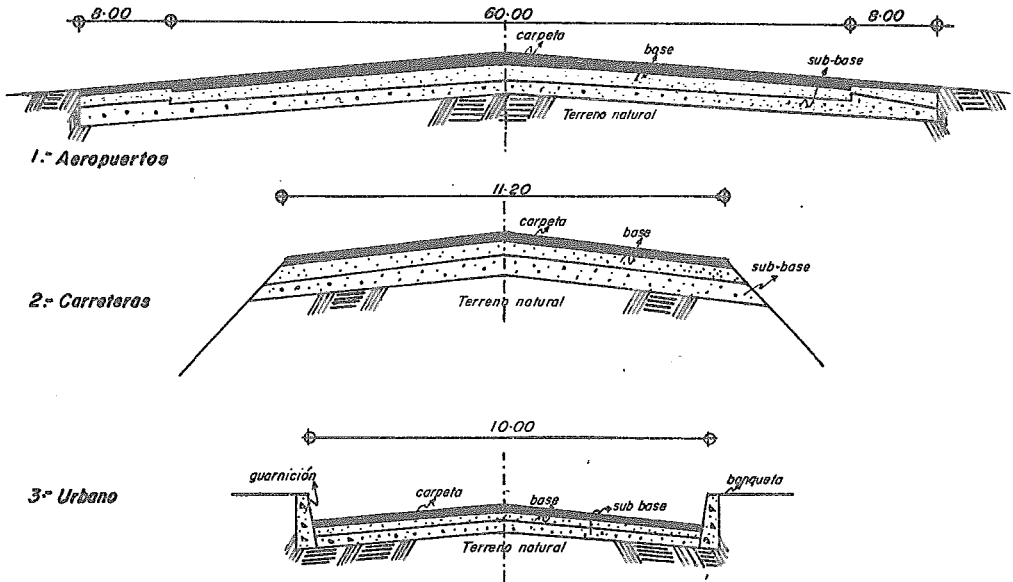
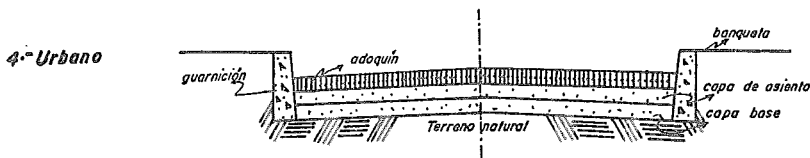


FIG. I.2.b



### I.3. Pavimentos rígidos.

Los pavimentos típicamente rígidos son los que están formados por una losa de concreto hidráulico, con un recubrimiento asfáltico o sin él, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa de material seleccionado (sub-base) . Este tipo de pavimento difiere mucho de los de tipo flexible. Los pavimentos de concreto hidráulico, reciben la carga de los vehículos y la reparten a una área muy amplia de la sub-rasante; la losa por su alta rigidez y alto módulo de elasticidad tiene un comportamiento estructural de viga, que absorbe prácticamente toda la carga, por lo que la finalidad de ésta sola es la de proporcionar una capa rígida estable, resistente al desgaste e intemperismo, prácticamente impermeable, de superficie uniforme y de textura adecuada al rodamiento..

En la actualidad, éste tipo de pavimento ha tenido un desarrollo bastante dinámico, respondiendo al adelanto tecnológico y científico correspondiente al equipo de construcción, y al gran adelanto de las estructuras de concreto. En la figura I.3.a, se muestran los cortes típicos de los pavimentos hidráulicos (rígidos).

En la tabla I.3.b, se muestra la subdivisión de los pavimentos rígidos y sus características.

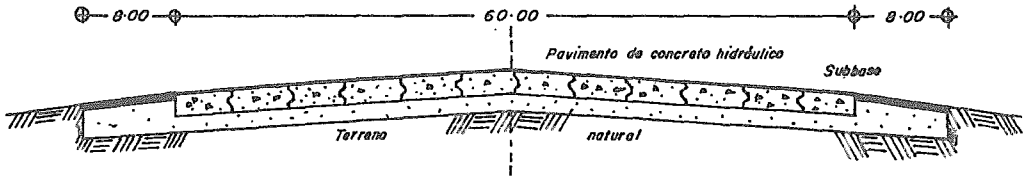
### I.4. Comparación entre pavimentos rígidos y flexibles.

Para ésta comparación, a los pavimentos rígidos se les denominará pavimentos de concreto, y a los flexibles sólo se referirán a los construidos a base de asfalto, no incluyendo en ésta comparación a los tipos flexibles construidos a base de ado

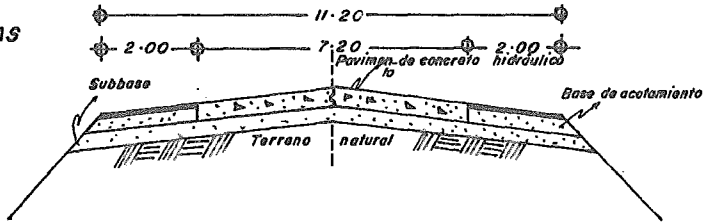


Figs. 1-3 a

1-<sup>o</sup> AEROPUERTOS



2-<sup>o</sup> CARRETERAS



3-<sup>o</sup> URBANOS

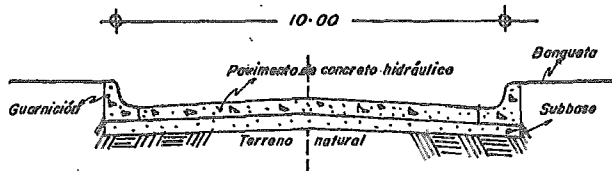


TABLA 1-3-b. Tipos de pavimentos rígidos

Siglas	N.OMBRE	CARACTERISTICAS
JCP	Pavimentos de concreto con juntas	- Caminos, Avenidas, estacionamientos, Aeropuertos. - Espaciamiento de juntas = 4.5 a 7.5 metros - No utiliza refuerzo - Espesores usuales = 20 a 30 cms. en carreteras y 30 a 56 cms aerop. - Calado siempre por lasa
JRCP	Pavimento de concreto reforzado con juntas	- Caminos, Avenidas. - Espaciamiento de juntas = 9.00 a 36.00 mts. - Porcentaje de refuerzo: 0.05 - 0.2 %, 3 - 10 lbs/s.y - Espesores: 20 a 30 cms.
CRCP	Pavimento de concreto, reforzado en forma continua sin juntas	- Caminos, Aeropuertos. - No hay juntas transversales, excepto construcción longitudinal. - Refuerzo: 0.5 al 0.7 % 18-21 lbs/s.y. - Espesores: 15 a 23 cms.
PCP	Pavimento de concreto prestresado	- Aeropuertos - Solo se utilizan juntas de expansión - Refuerzo: 0.5 al 1.0 % - Espesores: 12 a 23 cms

NOTA. Esto escrito, solo trata de los del tipo: JCP y JRCP.

quín, que más adelante se mencionarán las ventajas de éstos.

En la ciudad de México, así como en todas las zonas urbanizadas o en proceso de urbanización del país, cada día se intensifica más la construcción de pavimentos de concreto, principalmente en calles y avenidas. Esto se debe a que este material es el más indicado para tales usos, por las razones que se exponen a continuación:

- Larga duración. Se ha comprobado que los pavimentos hidráulicos tienen una duración mínima de veinte años; en el país se ha comprobado que ésta duración es el doble que la de los pavimentos de asfalto.
- Mantenimiento mínimo. Los pavimentos de concreto requieren un mantenimiento mínimo, que consiste en el oportuno calafateo de las grietas que llegaran a aparecer y a la reposición del material bituminoso, en aquellas juntas de expansión o contracción que, por algún motivo le han perdido. En cambio, los pavimentos asfálticos requieren riegos de sello, por lo menos cada tres años, necesitan un continuo y cuidadoso bacheo. Para los organismos municipales, y también para los efectos que resiste el público resulta más sencillo efectuar reparaciones en pavimentos de concreto que en los asfálticos.
- No hay consumo de energéticos. Este argumento en favor de los pavimentos de concreto no ha sido utilizado hasta la fecha. Sin embargo, en la actualidad hay que tomarlo en cuenta, los pavimentos que utilizan como materia prima el asfalto, presuponen, un alto consumo de este material y de solvente que seguramente tendría una mejor aplicación en otras ramas de la industria. El concreto

**TABLA 1-4-a ,Comparación entre pavimentos de concreto y asfalto.**

<b>Concepto</b>	<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
<b>1- Calidad de rodamiento.</b>	<i>Mayores problemas en el acabado superficial. Las juntas en entre losos suelen ser fuente permanente de problemas. Este inconveniente se atenúa notablemente en losos con acero de refuerzo, al aumentar sensiblemente el espaciamiento entre juntas.</i>	<i>Mayor facilidad para lograr una mejor superficie de rodamiento.</i>
<b>2- Funcionalidad.</b>	<i>Bajo altos niveles de tránsito este pavimento llega a ser más ventajoso. La falla más común se manifiesta por agrietamientos, los cuales no suelen afectar la funcionalidad.</i>	<i>Cuando el tránsito es intenso suele ser común la formación de baches rodados, que afectan seriamente la funcionalidad del pavimento.</i>
<b>3- Agrietamiento.</b>	<i>Es más probable que en este caso se presenten grietas no controladas. Sin embargo, estas suelen ser poca trascendencia.</i>	<i>El agrietamiento suele influir mayormente en el comportamiento del pavimento.</i>
<b>4- Resistencia al derrapamiento.</b>	<i>En ambos tipos de pavimento se requiere adoptar medidas especiales para disponer de una superficie antiderrapante. Sin embargo, la textura superficial de pavimento rígido suele ser más estable que la del pavimento de asfalto.</i>	
<b>5- Facilidad de reparación</b>	<i>Requiere alta especialización.</i>	<i>Es relativamente sencilla, sin embargo, en caminos de alto tránsito la operación del mismo se ve seriamente afectada.</i>
<b>6- Visibilidad</b>	<i>En general la visibilidad es mejor que en los pavimentos de asfalto.</i>	
<b>7- Durabilidad</b>	<i>Substancialmente mayor que la del pavimento de asfalto</i>	
<b>8- Construcción por etapas.</b>	<i>No aplicable a este tipo de pavimentos, a menos que se recurra a capas bituminosas.</i>	<i>Muy favorable</i>
<b>9- Costos</b>	<i>Los costos de construcción inicial son mayores, siendo en cambio menos los de conservación. La suma de ambos es motivo de análisis en caso.</i>	<i>Posibilidad de diferir inversiones al construir por etapas.</i>
<b>10- Confiabilidad</b>	<i>En condiciones críticas ó particularmente difíciles, ofrece mayores garantías que el de asfalto.</i>	

por el contrario, al tener como principal aglutinante cemento fabricado con calizas y arcillas y otros elementos abundantes en la naturaleza, no ocasiona con su creciente empleo ningún efecto negativo para el futuro de la raza humana.

- Pavimentos de menor espesor. Los pavimentos de concreto debido a las cualidades del material, requieren de menor espesor, para asegurar que las terracerías queden en condiciones de recibir las cargas a que estarán sujetas por efectos de tránsito.
  
- Economía de costos. Al aumentar la duración del pavimento, disminuir el costo de mantenimiento, facilitar trabajos de reparación y requerir menores espesores, los pavimentos de concreto resultan a la larga más económicos que los de asfalto.

En la tabla I.4.a, se muestra la comparación entre pavimentos de concreto y pavimentos asfálticos.

No se incluyó en la anterior comparación a los pavimentos de adoquín, queriendo aclarar, que el elemento básico la pavimentación con adoquines, es el concreto, ya que actualmente el adoquín es una pieza prefabricada de concreto de alta resistencia, aproximadamente del tamaño de un ladrillo común. A continuación se dan las ventajas que proporcionan este tipo de pavimentos:

- Altamente estéticos
- Fáciles de construir

- Fáciles de reparar
- Refrescan más el ambiente
- Se abren al tránsito inmediatamente
- Poco mantenimiento
- De coste igual a otros pavimentos
- De uso versátil
- Su construcción requiere equipo sencillo y personal no especializado.

Ya mencionadas las ventajas de los diferentes tipos de pavimentos, se llega a una nueva clasificación, que es atendiendo al tipo de material con el que se construyen:

- Pavimentos ~~construidos~~ básicamente de concreto.
- Pavimentos ~~construidos~~ básicamente de asfalto.

Así se llega a la siguiente conclusión: el concreto hidráulico en la actualidad sustituye con gran ventaja al concreto asfáltico, principalmente en zonas urbanas.

#### I.5. Pavimentos urbanos y sus características.

Ya que actualmente los pavimentos que más se usan en zonas urbanas son los pavimentos a base de losas de concreto hidráulico y los de piezas de adoquín, podemos mencionar las características de éstos, aplicados a este tipo de zonas:

- Forman una extensa red en una zona limitada.
- Diferencias en uso, cargas, necesidades, etc.
- Limitaciones geométricas (ancho, rasante, obstáculos).
- Instalaciones subterráneas.
- Presiones económicas, políticas y sociales.

Dentro de los factores que determinan la elección del tipo de pavimento urbano adicionales al económico tenemos los siguientes:

- Confiabilidad
- Limitaciones en el mantenimiento y conservación
- Equipos y prácticas de construcción
- Disponibilidad presente y futura de los materiales requeridos.

Atendiendo a lo que se ha dicho hasta este momento, sobre los diferentes tipos de pavimentos, sus ventajas y desventajas, así como sus características aplicados a zonas urbanas y los factores que determinan la elección del tipo de pavimento, los capítulos siguientes, se referirán exclusivamente a los pavimentos construidos a base de losas de concreto en zonas urbanas, utilizando para ello maquinaria especializada de construcción. Aclarando que los pavimentos construidos a base de piezas de adoquín, son motivo de otro estudio, que en éste trabajo de tesis no se incluye.

## DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

## II.1 Introducción.

El notable incremento de la población en nuestro país, se ha traducido a su vez en un crecimiento desmesurado de las áreas urbanas existentes, así como en la planeación y construcción de nuevos centros urbanos. Este fenómeno se encuentra aparejado con necesidades de orden social, económico, cultural, etc., que es necesario satisfacer muchas veces en situaciones muy adversas, fundamentalmente por la falta de recursos económicos para ello.

De ésta manera es frecuente observar el crecimiento de áreas urbanas en las que es palpable la carencia de viviendas, empleos, servicios, etc., problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente, por demandar para ello la aplicación de fuertes inversiones, que en numerosas ocasiones no pueden realizarse a nivel municipal, o bien, deben diferirse realizándose a un ritmo menor que el correspondiente a la demanda.

En el renglón de servicios municipales, destacan lo relativo a la pavimentación de calles y avenidas, no sólo por la importancia que en sí reviste desde el punto de vista urbanístico, si no por el monto de la inversión inicial requerida y sobre todo, por el correspondiente al costo de conservación y mantenimiento.

Este último aspecto, el relativo a la conservación y mantenimiento de los pavimentos de una población, debe considerarse

trascendental en el desarrollo de una área urbana, toda vez que para su ejecución puede llegar a requerir inversiones tan importantes, que sobogre económicamente al municipio, restringiendo las inversiones necesarias en otros renglones, o bien se descuide completamente, con los consiguientes problemas que ésta decisión trae consigo.

Por lo anterior, se considera fundamental en la planeación y desarrollo de áreas urbanas en general, y en el caso de los pavimentos en particular, la aplicación de técnicas racionales para la planeación y diseño de las diversas obras, así como el empleo de políticas apropiadas de financiamiento y administración de los recursos monetarios.

En lo que se refiere al caso de los pavimentos para áreas urbanas, el establecimiento de tales políticas del financiamiento y administración está íntimamente ligado al diseño de los mismos, ya que, como se verá más adelante tales aspectos constituyen uno de los factores determinantes en la elección del tipo de pavimento.

## II.2. Parámetros de diseño.

Para propósitos de diseño, el Ingeniero debe contar con la información y herramienta para lograr un diseño adecuado del pavimento.

La información de partida o parámetros de diseño presentan las condiciones bajo las cuales el pavimento debe funcionar durante su vida útil.

Los parámetros de diseño, pueden clasificarse en los grupos siguientes:



1.- Tránsito y cargas:

- Tipo de vehículos.
- Cargas por eje.
- Número de aplicaciones.
- Distribución del tránsito durante el año.
- Canalización del tránsito.

Es decir, está constituido por la información consistente en la caracterización de los diferentes tipos de vehículos que integran o integrarán el tránsito, ya que éste puede estar constituido desde unos cuantos automóviles de camiones pesados en áreas industriales, comerciales y agrícolas. Todo este rango puede encontrarse en una misma área. En el caso de rehabilitación de pavimentos se cuenta con mayor información de éste tipo; cuando se trata de proyectos de pavimentos, se tropieza con el problema de la estimación del tránsito, sobre todo en lo que concierne a la proyección del mismo hacia el futuro. Para solucionar este problema pueden tomarse modelos de situaciones semejantes.

Existen situaciones en que el tránsito tiene variaciones notables durante el año, coincidiendo por ejemplo con períodos de cosechas, de producción o turismo, que es conveniente tomar en cuenta. Asimismo, puede ocurrir que el tránsito pesado se canalice por un carril determinado, o bien que transiten vehículos cargados en un sentido y descargados en otro.

Igualmente es conveniente tomar en consideración al tránsito de construcción, que en ocasiones llega a ser el más importante en la vida de un pavimento.

## 2.- Ambientales:

- Tipo de suelo.
- Topografía.
- Régimen pluviométrico.
- Drenaje superficial y subdrenaje.
- Temperatura ambiente.

Los parámetros incluidos en este grupo son muy importantes, ya que influyen con carácter principal en el diseño de un pavimento. Es por ello necesario identificar los tipos de suelos sobre los que se construirán los pavimentos y caracterizarlos mediante las pruebas de laboratorio establecidas al respecto. En el caso de la topografía del área es también necesario tomarla en cuenta, ya que, además de estar ligada al drenaje del área, en ocasiones origina cortes y terraplenes que pueden afectar al comportamiento de un pavimento.

Como es sabido por otra parte, el agua ser pluvial o freatica, puede llegar a constituir un serio problema para un pavimento; el proyecto de un drenaje superficial adecuado, así como algunas obras de subdrenaje pueden redituar en un comportamiento exitoso. Finalmente puede decirse que la temperatura ambiente y sus variaciones deben ser tomadas en cuenta en el proyecto, ya que pueden en un momento dado constituir un aspecto vital para el mismo, por ejemplo, en estabilidad en las mezclas del concreto hidráulico por excesivo calor o por bajas temperaturas, e incluso deben ser tomadas en cuenta en el momento de la construcción, mediante recomendaciones y especificaciones apropiadas.

A diferencia de lo que ocurre en carreteras, generalmente

en pavimentos urbanos, la rasante está obligada, impidiendo movimientos de terracerías, lo que obliga a desplantar el pavimento sobre el terreno natural, cualquiera que sea su calidad y cercanía al nivel de aguas freáticas.

### 3.- De construcción:

- Control de calidad.
- Experiencia de personal.
- Disponibilidad del equipo y materiales de construcción.

Estos parámetros pueden llegar a desechar un diseño o tipo de pavimento, por ejemplo, uno de tipo rígido en una región en que no se cuenta con los recursos necesarios para producir un concreto hidráulico de calidad, o bien un pavimento flexible con carpeta de concreto asfáltico, si en las cercanías no existe una planta que lo produzca.

De ésta manera, el control de calidad debe comprender aspectos que cubren desde selección de contratistas, pasando por estudios de bancos, hasta revisión de especificaciones, tolerancias y pruebas; el control de calidad debe ejercerse por todos los participantes del proyecto y no solamente por el organismo encargado de su control.

### 4.- De diseño estructural.

- Características de la sub-rasante.
- Tipo y calidad de los materiales disponibles.
- Estabilización de suelos.
- Disponibilidad del equipo de pruebas.

En el caso de las áreas urbanas pueden presentarse situaciones un tanto distintas a las que ocurren en carreteras, ya que en ciertas formas se está obligando a emplear materiales locales, aún cuando éstos no sean de la calidad deseable, o bien puede llegar el caso en que los bancos utilizados se encuentren en proceso de agotamiento. Esto hace necesario por lo tanto, que se lleve a cabo una utilización inteligente de los materiales, incluyendo prácticas de estabilización y tratamiento de los materiales con cemento portland, o cualquier otro material que se emplea para estabilizaciones, para mejorar la calidad de los materiales locales.

#### 5.- De mantenimiento:

- Nivel de mantenimiento.
- Tipo de rehabilitación.
- Disponibilidad de fondos.
- Relación con los usuarios.

Estos parámetros están relacionados con aspectos económicos del proyecto, así como de carácter social. Consiste en evaluar cada diseño desde el punto de vista de mantenimiento que requieren para conservar un nivel de servicios durante la vida de diseño, el costo que esto significa, la disponibilidad de fondos para ello y la reacción del usuario ante el programa de mantenimiento, en el caso de áreas urbanas este último aspecto llega a ser de gran importancia.

## 6.- Operacionales:

- Control de tránsito durante la construcción.
- Control de tránsito durante el mantenimiento.
- Control de tránsito durante la reconstrucción.
- Comodidad del usuario.

Contemplan aspectos en que se ve involucrando al usuario, y su importancia aumenta a medida en que crece el tránsito , ya que en éstas condiciones la intensidad del mismo impide efectuar trabajos de mantenimiento. Se tiene así mismo el aspecto de la comodidad con que el usuario transita, lo cual debe también vigilarse, a través de la calidad de rodamiento atribuida cada año.

## 7.- Restrictivos:

- Máximos costos admisibles a niveles inicial, mantenimiento y operacionales.
- Vida de diseño.
- Lapse para la primera reconstrucción importante.
- Lapse entre reconstrucciones importantes.
- Impacto en el ambiente.

Se refieren fundamentalmente a aspectos económicos como puede verse, así como a las interferencias que se produzcan en el tránsito motivadas por el trabajo de mantenimiento. Así mismo puede señalarse a éste nivel el aspecto integral del pavimento

a una unidad arquitectónica o ambiental, como en el caso de empedrados y adoquines.

### II.3. Proceso de diseño.

De acuerdo con el diagrama del sistema conceptual, el siguiente paso es proceder al diseño del pavimento, aplicando varios de los métodos disponibles y de los cuales se tenga el suficiente conocimiento, experiencia y confianza, las normas establecidas por una comunidad para diseñar y construir sus calles, deben asegurar que los pavimentos tengan un largo período de vida útil, con poco mantenimiento. Exceso de mantenimiento que requieren los pavimentos inadecuados (tales como bacheo y aplicación periódica de capas de sello), constituyen una fuga innecesaria del dinero de los impuestos. Si la inversión se hace construyendo pavimentos adecuados de concreto hidráulico en los que se tiene período de vida útil de 50 años, y gastos reducidos, se pueden tener ahorros de dinero que se utilicen en mejoras permanentes del capital.

Los pavimentos de concreto se diseñan considerando tanto el factor económico como un largo período de vida útil. A continuación se presentan los factores relacionados con el diseño de los pavimentos de concreto para lograr el costo anual más bajo posible:

- 1.- Clasificación de calles y de tránsito (incluyendo su volumen y los pesos por eje).
- 2.- Diseño de espesor.
- 3.- Vida de diseño.
- 4.- Calidad del concreto.

- 5.- Resistencia de la sub-rasante y sus características.
- 6.- Diseño geométrico.
- 7.- Juntas.
- 8.- Especificaciones de construcción.

#### 1.- Clasificación de calles y tránsito.

Los estudios exhaustivos sobre tránsito que se hagan dentro de los límites de la zona en estudio pueden proporcionar la información necesaria para el diseño de pavimentos urbanos. Una forma práctica de abordar el problema consiste en establecer un sistema de clasificación de calles. Las calles de características similares tienen esencialmente la misma densidad de tránsito y la misma intensidad de carga por eje. En éste escrito, se utilizan las siguientes clasificaciones de calles:

##### - Calles residenciales ligeras.

Estas calles no son de gran longitud y sus ramales pueden ser cerradas o retornos. Las calles residenciales dan servicio a un tránsito generado por unas cuantas casas o lotes (20 ó 30). Los volúmenes de tránsito son bajos, menos de 200 vehículos por día (vpd), de 1% a 2% de tránsito comercial pesado (camiones de dos ejes y seis ruedas o mayores). Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tándem de 16.3 ton., y de 9 ton., máxima sobre eje sencillo.

##### - Calles residenciales.

Estas calles tienen en sus ramales el mismo tipo de tránsito que las avenidas residenciales ligeras, pero dan servicio

a más casas (60 a 140), incluyendo a aquellas que se encuentren en calles cerradas. En ciudades con un patrón de urbanización del tipo de rejilla, el tránsito consiste generalmente de vehículos que sirven a los hogares y ocasionalmente algún camión pesado. Los volúmenes de tránsito varían de 300 a 700 vpd., con 1% a 2% de tránsito comercial pesado por día (VCPPD).

- Calles colectoras residenciales.

Los colectores residenciales reciben todo el tránsito de las calles residenciales de una área y lo distribuyen a los sistemas de calles mayores. Pueden ser de gran longitud y dar servicio a 140 y 300 hogares o más, y tener volúmenes de 700 y 1500 vpd., con 1% a 2% de tránsito comercial pesado.

- Calles colectoras.

Son las que sirven a varios ramales y pueden tener varios kilómetros de longitud. Pueden servir a rutas de autobuses y a maniobras de camiones en una determinada área, aunque no lo hagan a través de rutas. Los volúmenes de tránsito varían de 2000 a 6000 vpd., con 3% a 5% de tránsito comercial pesado. Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje sencillo de 10.8 ton., y sobre eje tandem de 17.2 ton., máximo.

- Arterias.

Las arterias llevan tránsito desde y hace vías rápidas y sirven a movimientos mayores de tránsito en áreas metropoli-



litanas que no cuentan con servicio de vías rápidas. Las rutas de autobuses numeradas van comúnmente sobre arterias. Para propósito de diseño, las arterias están divididas generalmente en arterias menores, arterias y finalmente en arterias mayores, dependiendo del tipo y capacidad de tránsito. Es posible que una arteria menor tenga menos carriles y lleve menos volumen total de tránsito, sin embargo el porcentaje de camiones pesados que la transiten sea mayor que el de una arteria de seis carriles.

- Vías rápidas.

Las vías rápidas se diseñan para mover grandes volúmenes de tránsito a velocidades relativamente altas, para las que se justifican diseños extensos y meticulosos que no se incluyen aquí.

- Calles comerciales.

Estas calles constituyen una categoría especial. Proporcionan acceso a tiendas, y al mismo tiempo sirven al tránsito en los distritos céntricos de negocios. Estas calles se congestionan frecuentemente. Las velocidades de tránsito son bajas, sin embargo, sus volúmenes de tránsito son relativamente altos con un porcentaje bajo de peso de camiones.

- Calles industriales.

Estas calles, dan acceso a las áreas o parques industriales. El volumen de tránsito puede estar en los rangos más bajos, pero el porcentaje de camiones con ejes pesados es relativamente alto.

Las clasificaciones de calles que aquí se describen, no tienen forzosamente que corresponder a las clasificaciones

empleadas en cualquier área metropolitana, sólo se dan a conocer para indicar en forma general los volúmenes y los pesos per eje aproximados de los vehículos que utilizan la clasificación de calles dadas anteriormente. Estas clasificaciones se resumen en la tabla II.3.1., los valores son razonables con el conocimiento de los patrones locales de tránsito.

**TABLA II. 3.1, Clasificación de calles y espesor del pavimento.**

Clasificación de calle	Vpd, o T.da ambos sentidos	Lotes N.º	Vehículos comerciales pesados, 2 ejes, 6 ruedas o mayores.		Espesor del pavimento (cms.)	Máxima carga per eje (ton.)	
			%	No. al día		Tándem	Sencillo
Residencial ligera	200	20-30	1-2	3-5	12.7-15.20	16.3	9
Residencial	300-700	60-140	1-2	5-11	12.7-15.20	16.3	9
Colector residencial	700-1,500	140-300	1-2	11-23	15.2-17.8	16.3	9
Colector	2,000-6,000		3-5	80-240	15.2-17.8	17.2	10.8
Arteria menor	3,000-7,000		10	300-700	17.8	20.8	15.8
Arteria	6,000-13,000		5-7	360-780	20.3	25.4	13.6
Arteria mayor	14,000-28,000		5	700-1,400	20.3-22.8	29.4	18.1
Comercial	11,000-17,000		3-5	440-680	20.3	25.4	13.6
Industrial	2,000-4,000		15-20	350-700	22.8	29.4	18.1

## 2.- Diseño de espesor.

Para elaborar un diseño completo es necesario conocer las cargas por eje de vehículos pesados que se esperan durante el período de vida de diseño, así como la resistencia a la tensión por flexión del concreto hidráulico y el valor de soporte de la sub-rasante. A continuación se delinearán tres métodos de diseño.

- Método de diseño 1.

Se utiliza la tabla II.3.1., para determinar el range de espesor del concreto que normalmente se emplea en cada tipo de calle.

- Método de diseño 2.

Para este método de diseño, se proporcionan seis gráficas de diseño; que fueren desarrolladas para una clasificación de calles como se indica a continuación:

Gráfica 1 y 2 para calles residenciales ligeras, residenciales y colectores residenciales.

Gráfica 3 para colectores.

Gráfica 4 para arterias menores.

Gráfica 5 para arterias y calles comerciales.

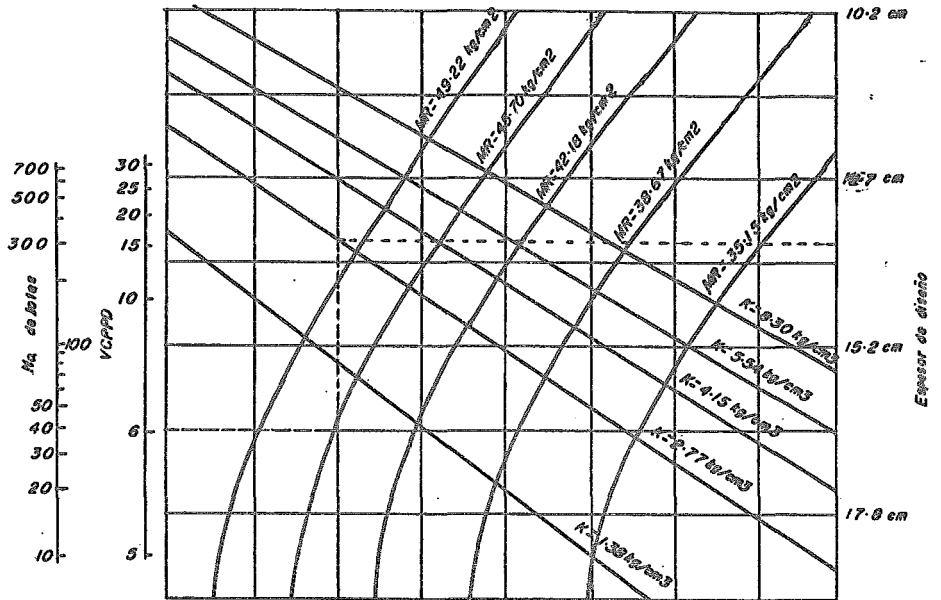
Gráfica 6 para arterias mayores y calles industriales.

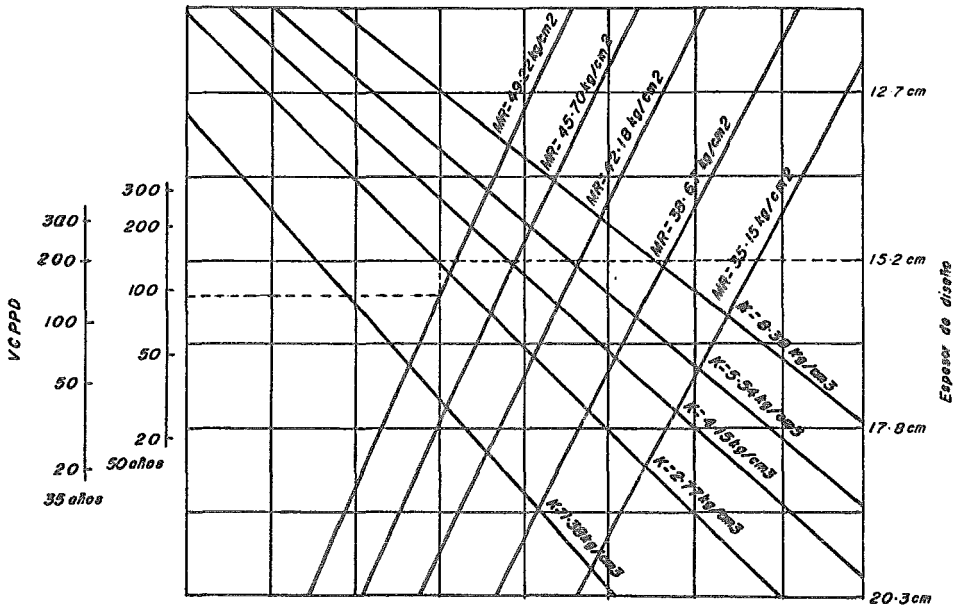
Utilizando la gráfica correspondiente, se procede de la siguiente manera:

a) Encontrar si los pesos máximos por eje, que se muestran en la tabla II.3.1, corresponden a los que operan en la localidad. Los valores de la tabla son razonables, pero probablemente son más pesados que los que se prevén generalmente.

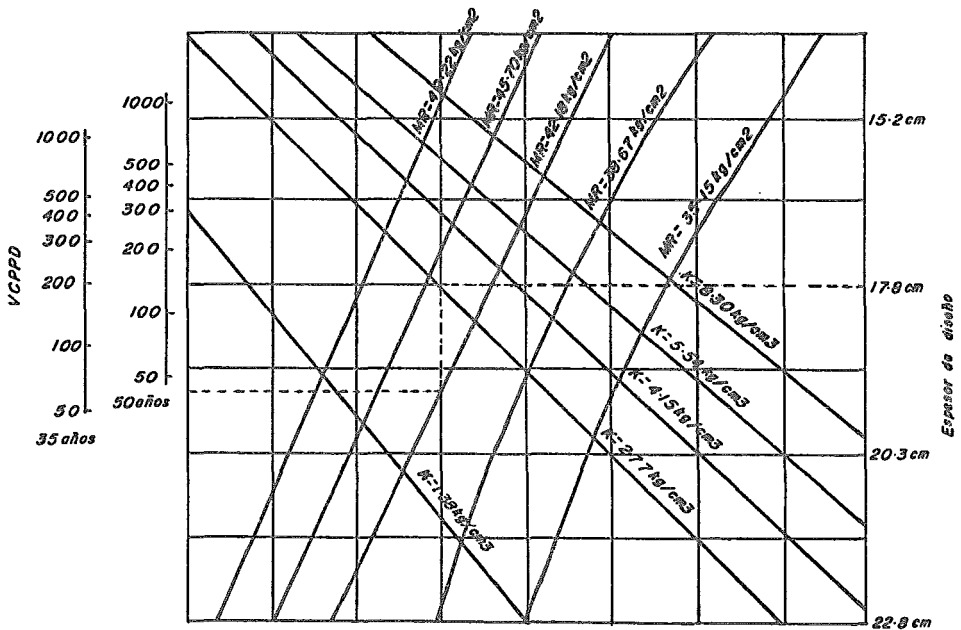
b) Decidir acerca del período de vida de diseño de la calle.

c) Estimar el porcentaje medio por día de vehículos comerciales pesados que podrían circular en ambos sentidos durante la vida del diseño. Si no se cuenta con esta información, deberá hacerse un censo de tránsito de camiones pesados. Si no se hace ningún censo, se puede usar la información sobre tránsito de la tabla II.3.1, como guía.

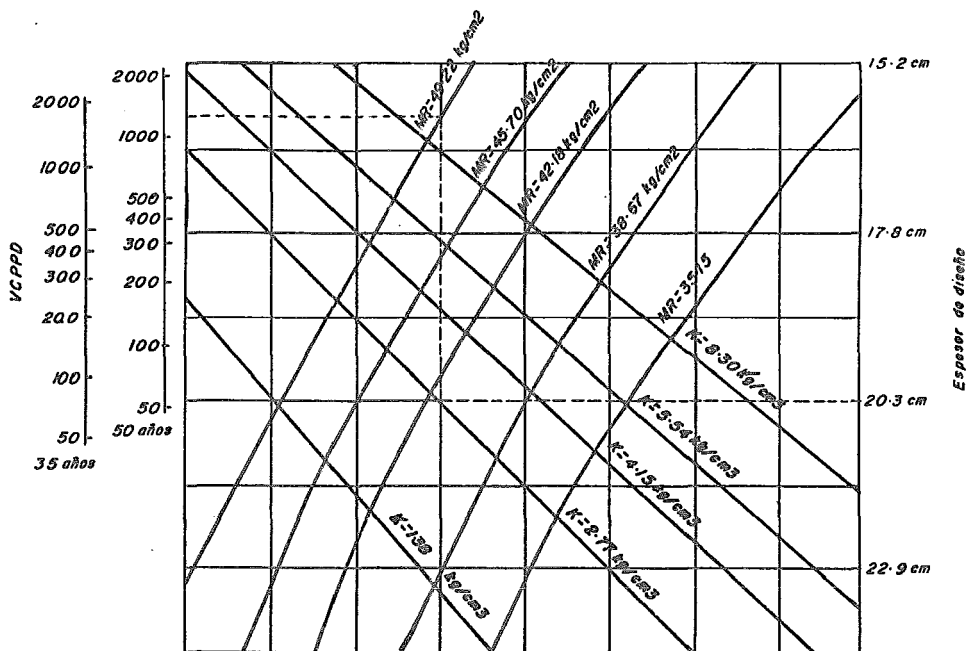




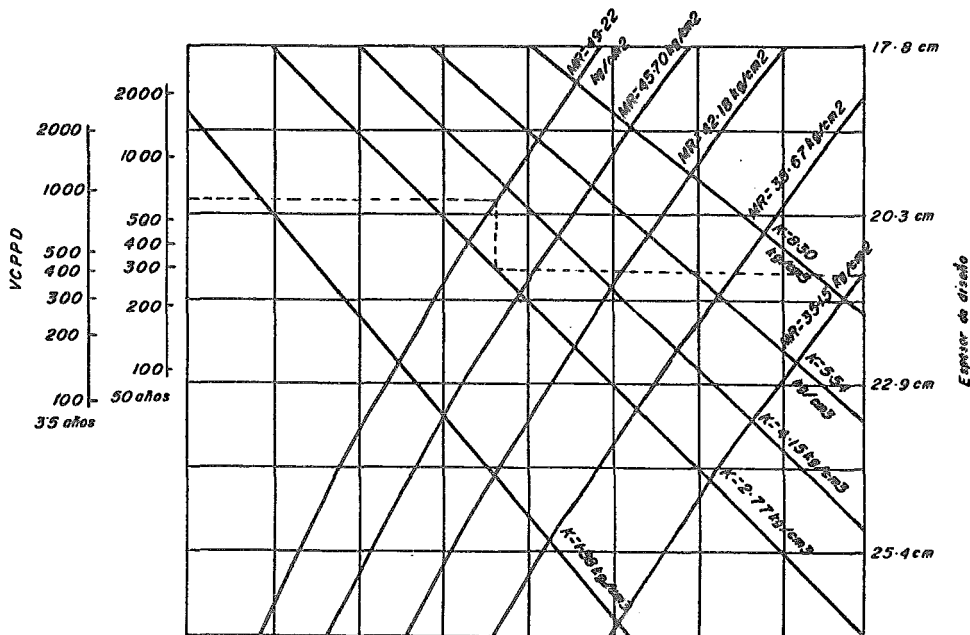
Gráfica No. 3 Gráfica de diseño del espesor para calle colectoras para períodos de diseño de 35 y 50 años



Gráfica No. 4 Gráfica de diseño del espesor para arterias menores para períodos de diseño de 35 y 50 años



Gráfica No. 5 Gráfica del espesor para arterias y calles comerciales para períodos de diseño de 35 y 50 años



Gráfica No. 6 Gráfica del espesor para arterias mayores y calles industriales para períodos de diseño de 35 y 50 años

concreto para cualquier período de vida que se desea; sin embargo frecuentemente resulta difícil predecir cambios en el tránsito. Para caminos y calles densamente transitadas, el tránsito futuro puede tener una influencia considerable en el diseño. Por otra parte, los cambios en el tránsito de calles residenciales y poco transitadas, generalmente tienen escaso significado para el diseño. Es común utilizar un período de cincuenta años como base en el diseño de pavimentos, especialmente para las calles clasificadas como residenciales, ya que rara vez se someten a reorganización o realineación. Para los diseños, que aquí se presentan se utilizaron períodos de vida de diseño de 35 y 50 años.

#### 4.- Calidad del concreto.

Lo referente a la calidad del concreto se tratará en el capítulo III, (Características del concreto y materiales que intervienen en su elaboración).

#### 5.- Características y resistencia de la sub-rasante.

Debido a su rigidez, el pavimento de concreto tiene una resistencia a la flexión y una capacidad de carga notable. Por tanto las presiones debajo del pavimento de concreto son muy leves y se distribuyen sobre áreas relativamente extensas. Esta cualidad del concreto de distribuir cargas pesadas, hace innecesario construir sub-rasantes resistentes de gruesas capas de piedra triturada o grava. En vista de lo anterior, se

pueden construir pavimentos de concreto económicos, que tendrán un buen comportamiento, en casi todos los suelos.

Los suelos de la sub-rasante deben ser de material y densidad uniformes para que el pavimento tenga un comportamiento satisfactorio. Las zonas blandas que aparezcan durante la construcción deberán excavar y compactarse con el mismo tipo de material que se encuentra en la sub-rasante adyacente. No se puede obtener un soporte uniforme simplemente retacando material granular extra sobre la zona blanda.

El valor de soporte de la sub-rasante se expresa como valores de "K", o módulo de reacción de la sub-rasante, y se determina mediante pruebas de placa o mediante correlación con otros suelos de los cuales se conocen los valores de "K". Para el diseño de calles, generalmente se utilizan los siguientes valores de "K", de la tabla II.3.5a:

*TABLA II.3.5-a*

<i>"K"</i> <i>hgs/cm<sup>2</sup></i>	<i>"K"</i> <i>lb/in.<sup>2</sup></i>	<i>Tipo de suelo</i>	<i>Calificación</i>
2-77	100	<i>Limos y Arcillas</i>	<i>Satisfactorio</i>
5-54	200	<i>Suelos arenosos</i>	<i>Bueno</i>
8-30	300	<i>Grava arenosa</i>	<i>Exalante</i>

Aunque en la mayoría de las calles metropolitanas no se requieren sub-bases en los pavimentos de concreto. En el caso de pavimentos de vías rápidas o arterias por las que transita una cantidad de camiones pesados (entre 100 y 200 vcppd en ambos sentidos, o más), se necesitan sub-bases para evitar que el material fino de la sub-rasante sea extraído por bombeo. A continuación se presenta una guía para el diseño de sub-bases en



pavimentos de concreto, tabla II.3.5.b. :

**TABLA II.3.5.b.**

<i>Tipo de suelo de cimentación</i>	<i>Espesor recomendado</i>
<i>Alto soporte: Arenas</i>	<i>4 - 6 pulg.</i>
<i>Mediano soporte: Limas y arcilla limosa</i>	<i>6 - 9 pulg.</i>
<i>Bajo soporte: Suelos arcillosos activos</i>	<i>8 - 12 pulg.</i>
<i>Requisito de esfuerzo</i>	
<i>Tipo de sub-basa a utilizar</i>	<i>Esfuerzo recomendado (28 días)</i>
<i>Estabilización con cemento</i>	<i>400 - 700 psi, compresión</i>
<i>Estabilización con cal</i>	<i>100 psi, mínimo</i>
<i>Estabilización con asfalto</i>	<i>20 psi, mínimo</i>

## 6.- Diseño geométrico.

### - Servicios

La práctica común en los nuevos ramales, indica que las instalaciones de servicio se coloquen a la derecha del ramal, fuera del área pavimentada para facilitar el mantenimiento y la instalación de nuevos servicios. Se deben evaluar las necesidades presentes y futuras, y tomar provisiones para satisfacerlas. La planeación previa puede evitar que en el futuro se tengan que levantar secciones ya pavimentadas para aumentar las instalaciones de drenaje u otro tipo de instalaciones.

### - Guarniciones integrales.

Una de las formas más prácticas y económicos de construir pavimentos de concreto para las calles metropolitanas, es hacer las con la guarnición integrada a la sección. Una guarnición integrada se construye junto con el pavimento en una sola operación. La construcción de guarniciones integrales ofrecen al diseñador un factor de seguridad adicional debido al engrosamiento de la sección de la orilla del pavimento. Las ventajas inherentes y la economía de la construcción integral de su guarnición, hacen recomendable su consideración para pavimentos de calles en zonas urbanas.

- Anchos de calles.

Los anchos de calles varían de acuerdo al tránsito que va a soportar. El ancho mínimo que se recomienda, excepto en casos poco comunes, es de 7.5 m., con una pendiente transversal máxima de 2 cm., por metro. Es deseable que los anchos y pendientes de un mismo carril sean constantes.

Normalmente, los carriles de tránsito tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros, porque la experiencia demuestra que los conductores tienden a rebasar en carriles anchos, ocasionando accidentes.

Los carriles de estacionamiento tienen normalmente un ancho de 2.13 a 2.44 metros. Uno de 2.13 se utiliza en los lugares donde predominan los automóviles de pasajeros, el carril de 2.44 metros es para dar acomode a camiones. No se recomienda carriles de estacionamiento de 1.83 metros de ancho. En las grandes avenidas, los carriles de estacionamiento tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros y también se pueden usar como carriles de tránsito o retorno.

En las calles en las que se prohíbe estacionarse, generalmente se destina un carril de 0.61 metros de ancho a lo largo de la guarnición, como espacio no transitable.

## 7.- Juntas.

Las juntas deben diseñarse cuidadosamente y construirse de manera que se asegure su buen funcionamiento. Con excepción de las juntas de construcción, que dividen el trabajo de pavimentación en jornadas convenientes, las juntas en pavimentos se usan para mantener la tensión dentro de los límites de seguridad y evitar la formación de grietas irregulares.

### - Juntas longitudinales.

Las juntas longitudinales se colocan para controlar agrietamientos longitudinales. Generalmente se espacian para hacerlas coincidir con las marcas de los carriles, a intervalos de 2.44 a 3.66 metros. El espaciamiento de las juntas no deberá ser mayor de 3.96 metros, a menos que la experiencia local haya demostrado que los pavimentos se desempeñan satisfactoriamente. La profundidad de las juntas longitudinales deberá ser por lo menos igual a la cuarta parte del espesor del pavimento más 1.25 cm.

La mayoría de los pavimentos con guarnición integral de las calles en zonas urbanas, se sostienen mediante el relleno detrás de las guarniciones, lo que elimina la necesidad de usar juntas fijadoras longitudinales hechas con varillas o tornillos de tensión.

### - Juntas transversales.

Las juntas transversales de contracción se usan para controlar el agrietamiento transversal. Las juntas de contracción liberan, esfuerzos de tensión que ocurren cuando la losa se contrae, esfuerzos de alabeo causados por diferenciales de temperatura y contenidos de humedad de la losa.

La mayoría de las juntas de contracción se construyen per

medio de aserrado después de que el concreto endurece, ya sea moldeado a mano, e insertando un material prefabricado dentro del concreto plástico. La selección del método se basa, generalmente, en las condiciones ambientales que prevalecen durante la construcción, las características del agregado y los costos de operación. En cualquier caso la profundidad de la junta de contracción, deberá ser igual a la cuarta parte del espesor del pavimento.

La malla de acero o alambre, que normalmente se emplea, sólo sirve para sostener las orillas de las grietas fuertemente unidas. Las cantidades de acero que se emplean en esta práctica, no aumentan notoriamente la resistencia estructural del pavimento. Si las juntas transversales de contracción se espacian adecuadamente; no aparecerá agrietamiento intermedio, y la distribución de acero se deberá emitir. Por lo tanto, es necesario determinar el espaciamiento de las juntas de contracción que controle el agrietamiento; generalmente, éste es de 4.57 a 6.1 metros, la mejor guía es la experiencia obtenida en calles que se encuentren en servicio.

Se recomienda que la separación entre junta y junta transversal no sea uniforme, esto se hace con objeto de reducir las posibilidades de vibración en los vehículos. También se recomienda que estas juntas no se coloquen perpendiculares al eje de la calle, la inclinación no debe ser mayor que 0.1 pies por cada 12 pies de longitud, esto se hace con el fin de que las ruedas del vehículo no pasen simultáneamente por la junta.

La necesidad de contar con dispositivos de transferencia de carga en las juntas de contracción, depende de las condiciones de la sub-rasante y del servicio al que esté destinado el pavimento.

Cuando se espacian correctamente las juntas transversales de contracción, no necesitan juntas de dilatación, excepto en obje-

tos fijos e intersecciones asimétricas, teniendo en cuenta que:

- a) El pavimento se construye con materiales de características de expansión normales.
- b) Las juntas de expansión se espacian a intervalos cortos que evitarán la formación de grietas intermedias.
- c) El pavimento se construye cuando la temperatura ambiental está por arriba del punto de congelamiento.

Si el pavimento se construye en clima frío, o si se utilizan materiales de características expansivas anormales, se hacen necesarias las juntas expansivas o de dilatación espaciadas a intervalos de 183 a 244 mts.

Los elementos pasajuntas cuando se empleen deben ser del diámetro adecuado al espesor de la losa y se colocan a la mitad de dicho espesor. En la tabla II.3.7., se muestran las especificaciones para aceros empleados en pasajuntas.

Los pasajuntas transversales se elaboran con varilla lisa y los pasajuntas longitudinales con varilla corrugada. Los pasajuntas de dilatación, tienen las mismas características que los transversales, solamente se debe incluir un casquillo, que por lo menos garantice 2.5 cm., de holgura para que la varilla entre y salga.

## 8. Especificaciones de construcción.

No importa qué tan meticulosamente se diseñe una estructura, no podrá desempeñar la función que de ella se pretende a menos que se tomen las precauciones en su estructuración, para asegurar la calidad de mano de obra en el resultado final. Para ésto se necesitan las especificaciones correctas.

**TABLA II.3.7. Especificaciones para aceros en juntas de pavimentos.**

<b>TRANSFERENCIA DE CARGAS</b>							
<b>Espesor del pavimento</b>		<b>Diametro barra</b>		<b>Longitud barra</b>		<b>Espaciamiento barras</b>	
<i>In.</i>	<i>Mm.</i>	<i>In.</i>	<i>Mm.</i>	<i>In.</i>	<i>Mm.</i>	<i>In.</i>	<i>Mm.</i>
6	150	3/4	19	18	460	12	300
7	175	1	25	18	460	12	300
8	200	1	25	18	460	12	300
9	225	1 1/4	31	18	460	12	300
10	250	1 1/4	31	18	460	12	300
Se recomienda utilizar grado 70 o mayor (4,900 kg/cm <sup>2</sup> )							
<b>EVITAR SEPARACION</b>							
<b>Tipo y grado de acero</b>		<b>Esp. pavimento</b>	<b>Long. mín.</b>	<b>Anchos carril</b>			
Barras No. 4 Grado 40		<i>Mm.</i>	<i>Mts.</i>	3.05 mts.	3.35 mts.	3.66 mts.	
		155	0.63	1.22	1.22	1.22	
		180	0.63	1.22	1.22	1.22	
		205	0.63	1.22	1.12	1.02	
		230	0.63	1.09	0.99	0.89	
		255	0.63	0.97	0.89	0.81	
Se recomienda utilizar varilla corrugada del grado 40 o sea 2,800 kg/cm <sup>2</sup>							

## CAPITULO III

### CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

#### III.1 Introducción.

La utilización del concreto hidráulico para pavimentos está muy extendida en todas las ramas de la construcción, ya sea en caminos, aeropuertos, fábricas, obras portuarias, obras hidráulicas, urbanizaciones, etc.

Continuamente se están requiriendo mayores volúmenes de pavimentos de concreto hidráulico ante todo en áreas expuestas a excesivo desgaste por tránsito intenso y pesado o materiales corrosivos. El pavimento de concreto hidráulico puede soportar excelentemente todas las condiciones de tráfico intenso pesado, materiales químicos corrosivos y dañinos a otros tipos de pavimentos, sin afectar su calidad y durabilidad. Sin embargo como el concreto hidráulico es de sencillo manejo, muchos constructores abusan de los procedimientos de colocación inadecuados, obteniendo como resultado pavimentos de mala calidad y de poca durabilidad.

Si observamos las normas que establecen las especificaciones para la fabricación y colocación del concreto hidráulico en pavimentos, seguramente obtendremos resultados en economía y calidad tanto a corto como a largo plazo. Un pavimento de concreto hidráulico que se construya respetando y cumpliendo con las especificaciones, prácticamente no tendrá costos adicionales de conservación o mantenimiento durante su vida de proyecto.

En este capítulo se tratará de establecer un método adecuado de trabajo para la pavimentación de losas de concreto hidráulico que cumple con las normas de especificaciones en fabricación y colocación para obtener resultados óptimos en calidad, costo y

duración máxima.

Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es el de describir la maquinaria indispensable para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico en zonas urbanas, presentando por un lado, el equipo necesario para la elaboración del concreto y por otro, el relacionado con la colocación de éste; quedando como indiscutible que dichas actividades no podrán ser llevadas a cabo si no se cuenta con el equipo apropiado para el desarrollo de cada una de ellas.

### III.2. Características del concreto y materiales que intervienen en su elaboración.

En esta parte se tratarán los materiales naturales y artificiales que se emplean en la elaboración de concretos hidráulicos, así como las características de éste.

#### III.2.1. Características de los agregados y adicionantes.

El concreto estará constituido de cemento Portland, agregado fino (arena), agregado grueso (grava), agua y en ocasiones se requerirán aditivos.

1.- Cemento. El cemento Portland es el producto que se obtiene de la pulverización del clinker, el cual está constituido esencialmente por silicatos de calcio hidráulico adicionado de lo siguiente: agua y/o sulfato de calcio no tratado, y se podrán adicionar otros materiales en el proceso de fabricación del cemento, siempre que no afecte las propiedades químicas y físicas



del mismo.

En obras de pavimentación se emplea por lo regular cemento Tipo I, de Resistencia Normal para condiciones generales y tipo II, de Resistencia Rápida cuando se desee adquirir la resistencia a cortas edades. Cualquiera de los dos tipos que se emplee deberá satisfacer los resultados físicos y químicos que se fijan en las Especificaciones Generales de Construcción, indicadas en los incisos 96-02.4 y 96-02.5.

2. Arena. La arena que se usa en la elaboración del concreto deberá reunir los siguientes requisitos.

a) De Granulometría: Tabla III.2.1.2.a.

**TABLA III-2-1-2.a.**

<i>Malla</i>	<i>% Que pasa</i>
<i>3/8"</i>	<i>100</i>
<i>No. 4</i>	<i>95-100</i>
<i>16</i>	<i>46-80</i>
<i>50</i>	<i>10-30</i>
<i>100</i>	<i>2-10</i>

b) De Características físicas: Tabla III.2.1.2.b.

**TABLA III-2-1-2.b.**

<i>Concepto</i>	<i>Especificaciones</i>
<i>Densidad aparente</i>	<i>2.45 mín.</i>
<i>Modulo de finura</i>	<i>2.32 a 3.45</i>
<i>Grumos de arcilla</i>	<i>1.0 % máx.</i>
<i>Sanidad (porada de peso an 5 ciclos en sulfato de sodio).</i>	<i>10 % máx.</i>
<i>Materia orgánica</i>	<i>1 a 2 (color A.S.T.M.)</i>
<i>Pelvo, que pasa malla 200 (%).</i>	<i>3.0 % máx.</i>

3. Grava. El agregado grueso deberá consistir de grava natural a piedra triturada y deberá reunir los siguientes requisitos:

a) De Granulometría; Tabla III.2.1.3.a.

**TABLA III.2.1.3.a.**

MALLAS	% Retenidos acumulativos, tamaño máximo de agregado			
	2"	1 1/2"	1"	3/4"
2"	0 - 5			
1 1/2"		0 - 5		
1"	30 - 65		0 - 10	
3/4"		30 - 65		0 - 10
1/2"	70 - 90		40 - 75	
3/8"		70 - 90		45 - 80
No. 4	95 - 100	95 - 100	90 - 100	90 - 100

b) De Características Físicas; Tabla III.2.1.3.b.

**TABLA III.2.1.3.b.**

Concepto	Especificaciones
Densidad aparente	2.45 mín.
Absorción	5 % máx.
Grumos de arcilla	0.25 % máx.
Partículas suaves	5 % máx.
Sanidad (pérdida de peso en 5 ciclos con sulfato de sodio).	12 % máx.
Desgaste de los Angeles (500 revoluciones).	45 % máx.
Polvo, que pasa la malla No. 200, (1%)	1.0% máx.

4. Agua. El agua que se empleé para el mezclado no deberá con tener cantidades perjudiciales de gas carbónico libre, limo, ma-  
teria orgánica, álcalis, aceites y sales. Generalmente bastará  
con que el agua sea potable para poder emplearse.

5. Adicionantes. Los adicionantes son sustancias que se le  
añaden al concreto en cantidades adecuadas para mejorar ciertas  
propiedades y obtener un concreto de mejor calidad. Esto no quie  
re decir que los adicionantes suplan las deficiencias de las mez  
clas, ya que generalmente en pavimentos de concreto cuando se  
emplean materiales de buena calidad y mano de obra adecuada, muy  
pocas veces es necesario usarlos.

De acuerdo con las condiciones de cada obra y cuando se juz-  
gue conveniente se utilizará por escrito el uso de algún adicio-  
nante recomendado por el laboratorio, los cuales pueden ser:

- Acelerantes. Se emplean con objeto de que se produzca con  
mayor rapidez el fraguado del cemento y el concreto alcan-  
ce un porcentaje considerable de su resistencia a edades  
cortas.
- Retardantes. Estos adicionantes se emplean cuando se re-  
quiere un tiempo mayor para la colocación del concreto,  
con objeto de retardar el tiempo de fraguado del concreto.
- Incluidores de aire. Para mejorar la trabajabilidad del  
concreto sin que se vea afectada su resistencia, se em-  
plea un agente incluidor de aire, cuyas cualidades y efi-  
ciencia hayan sido investigadas por el laboratorio.

Los adicionantes mencionados anteriormente, deberán cumplir  
con las Especificaciones Generales de Construcción que se indi-  
can en los incisos 96-08 a 96-09.7.

### III.2.2. Características del concreto.

Las mezclas para pavimentar se diseñan:

Para proporcionar una durabilidad satisfactoria bajo las condiciones a las que se someterá el pavimento, y para producir la resistencia deseada a la flexión.

Ya que los esfuerzos críticos en pavimentos de concreto se deben a la flexión más que a la compresión, la resistencia a la flexión expresada como MR, se utiliza en el diseño de pavimentos de concreto. Bajo condiciones promedio, el concreto con un MR (ASTM c78, cargados en los tercios del claro) de 38.5 Kg/cm<sup>2</sup> a 49 Kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, es el más indicado.

En áreas afectadas por heladas, los pavimentos de concreto sujetos a muchos ciclos de congelamiento y deshielo, deben protegerse contra sales descongelantes.

Cada metro cúbico de concreto contendrá 310 Kg., de cemento, con una tolerancia de 2%, y la relación agua-cemento expresada en peso no deberá exceder de 0.53 en climas moderados. En áreas donde se presenten frecuentes heladas y deshielos y donde la aplicación de agentes de sedimentación son comunes, la relación agua-cemento no deberá exceder de 0.50, con un contenido de cemento mínimo de 333 Kg., por metro cúbico.

El revenimiento deberá ajustarse entre 2.5 y 7.5 cm.

El concreto deberá contener los siguientes porcentajes de aire indicados en la tabla III.2.2.

### III.2.3. Propiedades y características del concreto y sus constituyentes, para su colocación con máquina automática.

*TABLA III.2.2.*

<i>Tamaño máximo de agregado ( cm.)</i>	<i>Aire contenido (%)</i>
3.75	5 ± 1
1.9 a 2.54	6 ± 1
0.95 a 1.25	7.5 ± 1

1. Cemento. Las propiedades y sus características son las indicadas en la sección III.2.1.

2. Arena. La arena se debe cribar y graduar; un exceso de fines, hará que la mezcla se vuelva pegajosa y difícil de afinar, obliga que se le incorpore cemento adicional. Las partículas redondeadas de arena darán una mejor trabajabilidad que las mezclas de concreto con agregado angular.

3. Grava. El tipo de éste agregado, para trabajar con máquinas automáticas, son los redondos o semiredondos. Estos tipos requieren la mejor cantidad de arena y de cemento, para producir una mezcla con trabajabilidad aceptable. Se usará material triturado cuando el redondeado no sea fácil de conseguir. El agregado triturado puede ser angular, aunque este tipo requiere mayor cantidad de cemento y arena.

El tamaño máximo de agregado para la colocación de concreto con las máquinas automáticas, debe ser de 1/2 a 1/3 del tamaño o espesor de la losa por colar. Si las partículas son elongadas, el tamaño deberá reducirse hasta 1 1/2 máximo. Tamaños menores de agregado, producen esfuerzos en el concreto que tienden a

dejar marcas. Por esta razón, la calidad de la grava (gravilla 4.8 mm a 9.5 mm) debe ser cuidadosamente controlada, debiéndose hacer las mezclas de las gravas por separado.

4. Aditivos. La utilización de aditivos puede efectuar un cambio deseable en el contenido de agua e en la trabajabilidad de la mezcla del concreto. Los aditivos, sin embargo, son esenciales. Un ejemplo es el inclusor de aire, que de un 2% a un 6% de más trabajabilidad a la mezcla. El inclusor de aire, además tiene las ventajas de hacer que la losa de concreto sea más impermeable, que se reduzcan las fugas, que aumente la resistencia al deterioro causado por congelación y que disminuya en un 6% el cemento requerido, siempre que se use un 6% de aire. El inclusor de aire permite mayores ahorros, que el uso de otro tipo de aditivos.

#### 5. Propiedades y proporciones para la mezcla de concreto.

El concreto debe tener trabajabilidad; ésta se define como la cualidad de una mezcla especificada de concreto, para utilizarla con facilidad. Sus propiedades son: manejabilidad sin segregación; facilidad para que se descargue de los camiones y se transporte por canalones; fricción en los canalones; cómo se acomoda el concreto en las esquinas y alrededor del acero de refuerzo; facilidad de consolidación, en el fraguado, y para afinar, terminar o pulir; escurrimiento del exceso de agua y libertad de adoptar una forma. Para lograr economías al pavimentar con colocadora, se requiere una mezcla con buena trabajabilidad, que frague y sea fácil de afinar. En la tabla III.2.3.5., se muestran las diferentes proporciones utilizadas para concretos colocados con máquinas automáticas de pavimentación continua.

Es importante la dosificación adecuada para obtener un concreto manejable, que permita buenos acabados, no presente fisuramientos, al mismo tiempo que satisfaga la resistencia especificada.

Por lo que hace al revenimiento, el de cinco centímetros es el recomendable en las colocadoras de concreto. No obstante en algunas ocasiones la colocadora puede extender material con revenimiento hasta de 1.27 cm. o 12.7 cm. En éste caso la pavimentación requerirá trabajo adicional en el terminado. La uniformidad en el revenimiento es muy importante para una buena producción.

**TABLA III. 2.3.5**

Tipo de Concreto	Tipo de Agregado	Proporciones de un saco de 50 kg.					
		Máximo de agua		Agregados			
		Gl.	Lts.	Finos		Grosos	
				Lb.	Kg.	Lb.	Kg.
Simple	Grava redondeada	5.89	22.3	218.22	98.2	431.11	194.0
Simple	Grava triturada	6.45	24.4	236.00	106.2	395.55	178.3
Simple	Escoria triturada	7.03	26.6	258.66	116.4	506.66	138.0
Aire incluido	Grava redondeada	5.23	19.8	188.88	85.0	431.11	194.0
Aire incluido	Grava triturada	5.84	22.1	212.00	95.4	396.22	178.3
Aire incluido	Escoria triturada	6.48	24.5	231.11	104.0	506.66	138.0

NOTAS: Las proporciones están encaminadas a producir concreto que contenga 335 kg. de cemento por m<sup>3</sup>, con revenimientos de 4 a 7.5 cm, propio para su colocación normal con máquina. Se considera que el contenido de aire es de 1% para concreto normal y de 5.5 para mezclas con aire incluido.

### III.2.4. Descripción del equipo para fabricación y acarreo del concreto.

1.- Equipo de fabricación. Para la fabricación del concreto hidráulico es recomendable usar plantas de concreto integradas con silo para cemento, compartimientos separados para cada tamaño de agregado. En caso de usar cemento envasado, deberá disponerse de bodegas para almacenarlo en cantidades suficientes para garantizar una producción de concreto continua sin interrupciones.

Además deberá tener un sistema de alimentación para cemento envasado. Es indispensable el equipo de dosificación que incluye telvas pesaderas, básculas y controles de dosificación. El cemento deberá pesarse en telvas separada y no en forma acumulativa con los agregados. Además dispondrá de dispositivos con controles electrónicos.

Es necesario contar con un sistema de alimentación de agua, base de hidrómetro para su exacta dosificación.

El tamaño de la báscula deberá ser el adecuado para hacer la pesada de una revoltura completa en una sola operación.

El equipo de pesade deberá ser capaz de efectuar mediciones precisas y uniformes de todos los materiales dosificados en la planta. La precisión del equipo de pesade deberá unificarse periódicamente durante la operación de la planta.

2.- Equipo de transporte. Para transportar el concreto al sitio de colado se necesitan equipos que garanticen la entrega del concreto de buena calidad, sin segregación y sin pérdida de humedad.

Se pueden distinguir dos tipos de transporte según la distancia de acarreo.



Para distancias hasta de 3 Kilómetros y en caminos parejos se pueden usar camiones de volteo de 5 a 6 m<sup>3</sup> que tengan caja en buen estado y selle perfectamente la puerta de descarga; es conveniente cubrir la caja con una lona para evitar la evaporación del agua del concreto. Normalmente no hay problema de segregación para esta distancia debido al bajo revenimiento del concreto que se utiliza en los pavimentos.

Para distancias mayores conviene usar equipos especializados en el acarreo de concreto, básicamente en un camión con caja en forma de media pera que puede estar equipado con un agitador dentro de la caja y vacía la caja mediante volteo (dumcrete).

Después de cada viaje de concreto es necesario lavar las cajas de los camiones de acarreo para evitar cualquier material adherido o seco. Esto sirve de limpieza y lubricación de la caja y ayuda a la descarga del siguiente viaje de concreto con más facilidad.

Con frecuencia se usan las ollas revolventoras montadas en camión (moto-revolventoras) para el transporte del concreto. Sin embargo este procedimiento no es recomendable ya que éste equipo maneja concretos con revenimiento mayores al recomendado en pavimentos de concreto hidráulico.

### III.3. Equipo especializado para la construcción.

### III.3.1 Generalidades sobre máquinas para pavimentación.

Los volúmenes crecientes y las especificaciones de construcción, cada vez más rígidas, así como los incrementos en los costes, han traído como consecuencia el desarrollo de nuevos sistemas y métodos para la construcción de pavimentos.

Un método que permite lograr económicamente los objetivos de calidad, abatimiento de los costes y gran producción, es el consistente en el empleo de máquinas automáticas, o semiautomáticas, cuyo desarrollo y metodología se han asentado en los últimos años, gracias a las innovaciones y gran desenvolvimiento de los sistemas eléctricos e hidráulicos sin los cuales estas máquinas no habrían logrado el desarrollo que actualmente tienen.

Su empleo en nuestro país, es relativamente reciente, utilizándose principalmente en afinamiento y revestimiento de canales para tiege a base de concreto hidráulico.

El principio del funcionamiento de esta clase de máquinas, está basado en un sistema hidráulico, que funciona a altas presiones, lo que permite, que determinados elementos de la máquina tengan movimientos sumamente rápidos, tanto en sentido vertical como en sentido horizontal.

Por lo general éste tipo de máquinas, lo forman los siguientes elementos:

- Estructuras de soporte.
- Elementos de apoyo.
- Elementos de translación.
- Sistema hidráulico y de control.

La estructura de soporte, es el elemento que sirve de apoyo

a todos los componentes que forman la máquina. Consiste en algunos casos, en un puente y en otros lo forman un tractor. Por la función que desempeñan debe ser sumamente rígido y para fines prácticos indeformable. Esta estructura generalmente se apoya en cuatro gatos hidráulicos, los que a su vez se apoyan en los elementos de translación de la máquina, que pueden ser de orugas o neumáticos. En la estructura de soporte se apoyan, según sea el caso, los elementos que realizan la operación a la que está destinada la máquina y que podrán ser dispositivos de corte y mezclado (cuchillas, gusanos, cortadores, etc.) en el caso de que se trate de afine y colocación de bases o subrasantes, o bien una forma deslizante en el caso de colocación de concreto hidráulico.

Cuentan estas máquinas con su planta de fuerza motriz, que es un motor de combustión interna, el cual mueve a varias bombas hidráulicas las que a su vez hacen funcionar los diversos motores y pistones que permiten a la máquina realizar los movimientos que requiere su funcionamiento.

Dichos movimientos se realizan automáticamente por la acción de órdenes que le transmite el sistema electrónico, con que están equipadas estas máquinas, órdenes que, son indicadas mediante sensores que siguen una referencia previamente fijada, tanto en alineamiento horizontal, como en nivel o espesor.

En forma simplificada, el funcionamiento de éstas máquinas puede describirse como sigue:

Mediante unos dispositivos llamados sensores, los que generalmente son de contacto y cuyo componente principal es un micro switch ajustable, mediante estos sensores que están provistos de una varilla, que va rozando ligeramente la referencia previamente fijada (un hilo tensado, una superficie

previamente construida, etc.) y a través de la acción del citade micro switch, se va haciendo contacto en un polo o en otro del mismo, según la superficie o dirección que sigue la máquina, estas señales son pasadas al sistema electrónico de que como se dijo están provistas estas máquinas y de ahí, parten las órdenes, generalmente cambios de polaridad a diversas válvulas que operan mediante un solenoide y son estas válvulas las que regulan o intervienen en el paso del fluido hidráulico que mueve los motores y pistones citados anteriormente.

### III.3.2. Equipos de colocación, compactación y terminación.

Estos pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Equipos con cimbra deslizante.
- Equipos con cimbra estacionaria.

#### III.3.2.1. Equipos con cimbra deslizante.

1.- Pavimentadora. La colocadora de concreto o pavimentadora, es una forma o cimbra deslizante constituida por un cajón de un metro por un metro de sección transversal, montado sobre cuatro gatos hidráulicos y cuatro pares de brazos que van unidos a las crugas metrices. El cajón aloja un sistema que efectúa la distribución del concreto a lo largo de la forma. Esta máquina está provista de una plancha metálica, que tiene un sistema vibratorio constituido por una barra; el sistema vibratorio está colocado a todo lo largo de la plancha.

La potencia necesaria la suministra un motor diesel.

La máquina contiene un sistema de control hidráulico que

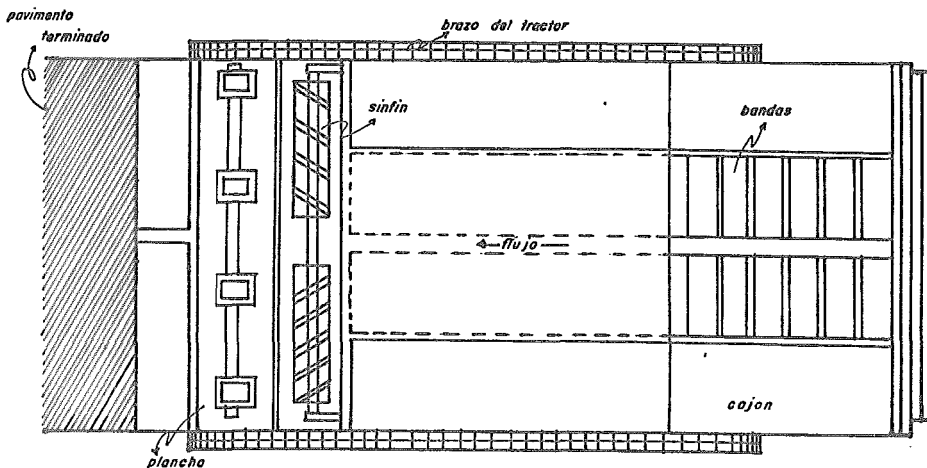
acciona dos tránsitos de cadena y cuatro gatos elevadores en cada uno de los vértices de la máquina que controlan los niveles de colocación.

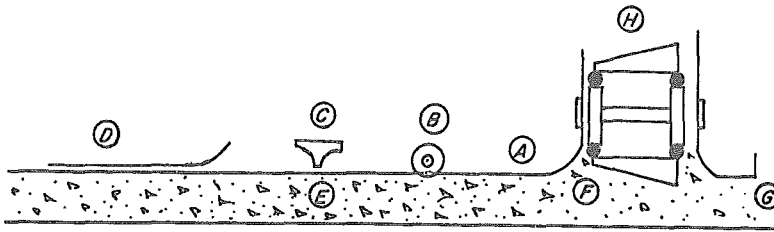
Tienen una transmisión de banda y cadena para el sistema de repartición y motores que mueven al vibrador, un machete ranurador longitudinal, un rayador transversal accionado mediante un gate hidráulico y una banda, optativa, de admisión del concreto.

El sistema automático de control consta de cinco sensores eléctricos, cuatro para controlar el alineamiento, de los cuatro sensores de nivel, dos son para controlar la parte derecha de la máquina, una adelante y otra atrás, y los otros dos para la parte izquierda.

Lo anteriormente mencionado se ilustra brevemente en las figuras III.3.2.1.a.

FIGURAS III.3.2.1.a.





- A. Plancha metálica para dar espesor deseado.
- B. Concreto fresco
- C. Rayador
- D. Plancha de acabado final.
- E. Losa de espesor deseado.
- F. Concreto almacenado dentro de la forma.
- G. Terracería afinada.
- H. Palatas distribuidoras de concreto.

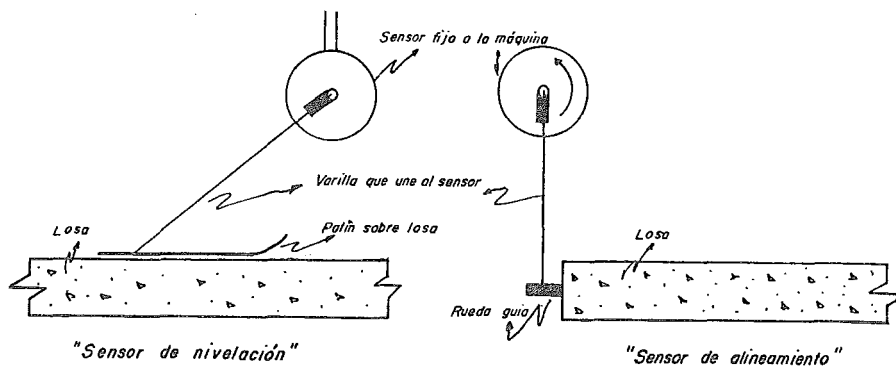
La operación de la máquina se efectúa desde un tablero general accionando una serie de interruptores y botones, los ratos para levantar o bajar la máquina pueden accionarse manualmente o en forma automática por medio de los sensores.

Los sensores van guiando o van dando el nivel a la máquina, de acuerdo a una o dos líneas de hilo previamente colocadas con un alineamiento y nivel determinado. La guía puede darse a los sensores, también colocándolas sobre el viso afinado donde se va a colar la losa, sobre el concreto colado o el que va colocando la máquina, teniendo en estos casos forma de patín. Ver figuras III,3.2.1.b.

Este tipo de maquinaria se diseñó para adaptarse a diferentes anchos de calles, agregando o quitando secciones modulares de cajón (5.60, 7.50, 9.20, 11.00, 12.10, 12.70 metros), además se utilizan para revestir canales.

Con esta máquina puede lograrse que el concreto adonde el ancho y espesor deseado.

FIGURAS III.3.2.1.b.



2.- Extendedora y terminadora de sub-bases. Aunque la mayoría de los trabajos, se utiliza para la construcción de sub bases el sistema tradicional de mezclado y tendido con moteconformadora, también se puede emplear una pavimentadora semejante a la descrita anteriormente. Este tipo de máquina, puede mezclar el material, acamellonarlo y tenderlo.

La ventaja de este sistema, sobre el tendido y afine con moteconformadora es que los niveles finales no dependen de la habilidad del operáador y se logran precisiones de 3 a 5 milímetros con respecto al nivel de proyecto.

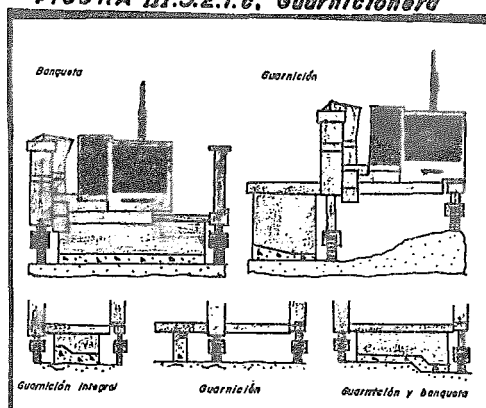
3.- Insertadora de juntas. Está montada sobre una estructura auto-propulsada, y forma las juntas transversales introduciendo una cinta plástica en una ranura formada por un cortador, además tiene un dispositivo vibratorio y una plancha que cierra y termina la junta, este sistema está suspendido de la estructura, y se mueve transversalmente al eje de la calle. La insertadora de juntas avanza atrás de la pavimentadora de

concreto hidráulico.

4.- Tube Finisher. Es una máquina terminadora a base de un tubo de aluminio suspendido de una estructura móvil, que tiene sensores automáticos de nivel y alineamiento, como en el caso de la pavimentadora de concreto. Además de tubo de aluminio, está dotada de tanques de agua, espreas de recife y un dispositivo accionado por gates hidráulicos que sujetan una manta de Yute que sirve para dar una superficie antiderrapante al pavimento.

5.- Guarnicionera. Funciona de manera semejante a la colocadora de concreto y se puede utilizar también para la construcción de banquetas. Ver figura III.3.2.1.c.

**FIGURA III.3.2.1.c. Guarnicionera**





### III.3.2.2. Equipos con cimbra estacionaria.

Existe una gran cantidad de equipos para pavimentación que utilizan cimbbras de formas estacionarias.

Es posible adaptar los equipos con cimbra deslizante al sistema de cimbra fija, con pequeñas adaptaciones.

En seguida, se describen algunos de los equipos que pueden utilizarse para la pavimentación con cimbra estacionaria fija.

1.- Equipos de colocación y compactación. El primer equipo sería un conjunto de tendido y compactado con las siguientes características: tener amplitud suficiente para trabajar en anchos de 5 a 6 m., al frente un extendedor o repartidor de concreto que acomoda a éste a un nivel adecuado para su compactación por vibrador, como segundo elemento básico deberá estar provisto de una batería de vibrado de alta frecuencia de 10,000 v.p.m., para el vibrado profundo, al igual que en el caso del equipo con cimbra deslizante.

Este equipo deberá ser autopropulsado, la operación de sumergir y emerger los vibradores se hará por medio de controles hidráulicos.

El equipo está equipado con unidades de alumbrado para trabajos nocturnos, al igual que el equipo con cimbra deslizante.

2.- Equipo de vibrado superficial y de acabado. El llamado rodillo vibratorio clary es un equipo que puede utilizarse para éstas producciones con mucho éxito, consta de 3 rodillos de 6 m., de ancho, dos colocados al frente separados 5 cm., y uno separado 1m., en la parte posterior. Los rodillos motrices son los dos posteriores, el rodillo de enfrente hace el trabajo de acabado y vibrado superficial por su forma de colocación y gi-

re.

El rodillo acabador tiene una excentricidad ajustable a  $1/8$ "  $1/4$ " y gira a alta velocidad haciendo efecto de vibrado y acabado. Los rodillos de translación mueven el conjunto hacia adelante y atrás permitiendo las pasadas que sean necesarias sobre la superficie de concreto para dejarle terminado dentro de tolerancia.

Otro equipo de vibrado y acabado superficial puede ser un equipo montado sobre chasis de estructura de 6 m., de ancho con ruedas, que puede caminar sobre la cimbra o piso de concreto según las necesidades, este tipo es autopropulsado y consta de los siguientes elementos de acabado:

- Tiene una regla de madera de 6m., de largo y sección de 3" X 12" reforzada en su base con ángulo de fierre, ejecuta movimientos vibratorios verticales acomodando el concreto previamente por el peine de vibraciones de alta frecuencia del equipo de adelante arreglando pequeñas equedades.

- En la parte posterior se encuentra una regla vibratoria fija de aluminio de 6 m., de ancho y acción de apoyo de 20cm., ésta hace el trabajo de terminación. Todos los controles de esta máquina son eléctricos y requieren de una planta de luz para su funcionamiento. Esta máquina está equipada con un eje y llantas para su fácil transportación.

Para volúmenes mayores de 50 m<sup>3</sup>/hr., conviene utilizar máquinas integradas con todos los elementos al estilo de las pavimentadoras de cimbra deslizante:

3.- Equipo de terminación final. Puede ser una máquina que conste de una estructura que se apoye a los lados de la losa de la línea de pavimento y sirva de sostén a un tubo dispuesto dia-

gonalmente con respecto al eje de la línea de pavimento y permita su ajuste a manera que se apoye sobre el concreto terminado y al hacer un movimiento de translación sobre la superficie fresca corrija las pequeñas imperfecciones que pueden dejar las máquinas acabadoras, y a la vez sirva para cerrar las pequeñas fisuras de fraguado superficial que pudieran presentarse en la superficie del concreto.

- Bandoe, cepillo de cerda. Para volúmenes menores se puede recurrir al sistema de bandoe, que logra mediante una banda de 20 a 25 cm., de ancho y una longitud del ancho de losa más 1.50 m., y mediante un movimiento con pequeños surcos de 1 a 3 mm.

Otro procedimiento puede ser terminado mediante el cepillo de raíz, que al pasar sobre la superficie terminada deja surcos similares al del bandoe. En la figura III.3.2.2, se muestra el equipo para colocación, compactación y terminación con cimbra estacionaria fija.

4.- Equipo de aserrado de juntas. Se utilizan máquinas cortadoras, que están provistas de discos de diamante para concreto fresco de 1/8" y 1/4".

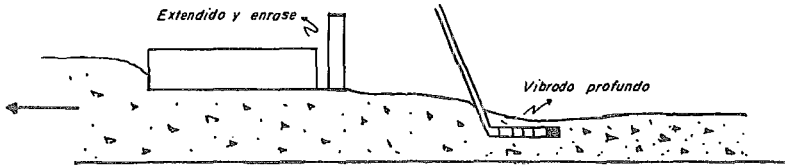
5.- Equipo para aplicación de sellos de juntas. Este equipo, se describe posteriormente.

6.- Equipo para aplicación de curado. Para la aplicación de películas de curado puede usarse equipo de aspersión manual o mecánico, similar al que se usa para aplicar insecticidas.

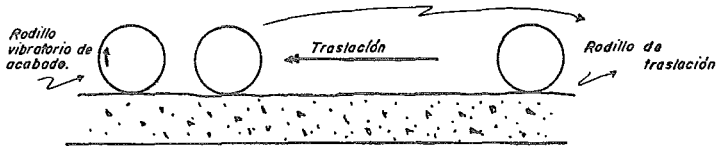
Ya descrito el equipo utilizado en la pavimentación, el siguiente paso es el de la selección de éste. En la sección III.4.1. se describen los factores para ésta selección.

**FIGURA. III.3.2.2, Equipo para pavimentación con cimbra Estacionaria fija.**

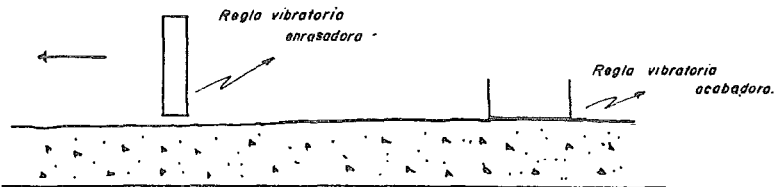
**1. Equipo de extendido y vibrado profundo**



**2. Equipo de vibrado y terminado superficial.**



**a) Equipo Clary.**



**b) Equipo maggines.**

### III.4. Procedimiento de construcción.

#### III.4.1. Selección del equipo.

Para seleccionar el equipo deberá valorarse, los diferentes factores que intervienen en la realización de la obra.

Se pueden enunciar de la siguiente forma:

- Volumen de obra a ejecutar.
- Programa de obra.
- Disponibilidad de todos los materiales necesarios, materiales inertes, cemento, varillas, pasajuntas, etc.
- Factores climatológicos.
- Trabajar en uno o varios turnos.

Se procede de la siguiente manera: conocido el volumen de la obra a ejecutar y el tiempo de entrega de obra, se revisan las disponibilidades de materiales, si alguno de estos no está disponible en la medida que se requiere habrá que modificar el plazo de entrega de la obra.

Suponiendo que se tienen los materiales para cumplir con el programa de obra, en seguida se analizan las condiciones climatológicas para evaluar el tiempo posible de trabajo que pueda tenerse dentro de programa de obra.

Como último se determina los turnos de trabajo. En general es conveniente trabajar dos turnos. Como en el colado de losas no conviene suspender los trabajos ya que al parar las actividades, tiene que hacerse una junta de construcción con varillas pasajuntas. Estas juntas de construcción son muy lentas y caras.

Decidido en número de turnos, conocemos el volumen de obra que tenemos que manejar por hora, lo cual nos permite decidir

el equipo que se ajuste a las necesidades del trabajo.

Se solucionarán los equipos de tendido, vibrado y curado que más se ajusten al programa estudiado y estén balanceados entre sus diferentes elementos.

### III.4.2. Secuencia de trabajo utilizando equipo con cimbra deslizante.

La secuencia adoptada en la pavimentación de calles, comprende de cuatro fases generales; la preparación de la terracería, la preparación de la cimbra, la pavimentación y finalmente la afinación. Cada fase se subdivide en varios puntos los cuales se aplican en forma seriada.

1.- El procedimiento a seguir en la primera fase es el siguiente:

Ya colocadas las líneas del nivel topográfico, posteriormente se procede a la formación de la terracería, que en capítulos anteriores se definió como parte de la sección estructural formada por excavaciones, terraplenes o rellenos necesarios de una obra vial, que se construye con objeto de fijar los niveles y alineamiento de proyecto.

Las terracerías, deberán formarse, conformarse y afinarse por medios mecánicos, dejándolas libres de bordos y depresiones.

El trato que se le da a la terracería después de estar formada, es el de conformarla, el equipo a emplearse para la compactación, dependiendo de las características del terreno, en términos generales deberá ser el siguiente:

Para suelos limosos: Compactadora de rodillos lisos, para suelos arcillosos: Compactadora pata de cabra, para suelos are-

nosos: Rodillos Vibratorios, para zonas de trabajo reducidas; Apisonadoras de impactos, trineos, o similares.

Con objeto de que el suelo alcance la humedad óptima de compactación, con auxilio de camiones pipa se incorpora agua al material.

Previamente a la compactación, se afina la terracería, esto se logra a base de motoconformadora o motoescrepa. Finalmente se sacan las pruebas de compactación para verificar el grado alcanzado, y si son correctas se sigue con la construcción de la sub-base.

Dentro de la primera fase, se encuentra la construcción de la sub-base. En la actualidad se utilizan dos procedimientos para la construcción de capas base y sub-base. Uno es el convencional de mezclado y tendido con motoconformadora, el proceso es el siguiente: Depositado el material seleccionado, en el sitio en que será utilizado (esto se logra a base de camiones de volteo con una capacidad de 5 a 8 m<sup>3</sup>), con auxilio de camiones pipa se incorpora el agua al material útil y se mezcla con una motoconformadora para obtener una revoltura uniforme, con la humedad óptima de compactación previamente determinada, el material se tiende y se afina con motoconformadora; posteriormente al tendido y afine se procede a la compactación por medio del equipo adecuado según el material a compactar, finalmente se sacan las pruebas de compactación.

En caso que se trate de mezclar dos o más materiales, es conveniente hacer el mezclado en seco, posteriormente se incorpora el agua necesaria.

El segundo procedimiento, se realiza utilizando equipo especializado para el mezclado, tendido y afine, como el descrito en la sección III.3.2.1. El método consiste en tirar un camellón de material de mejoramiento y encima de éste otro material de triturado; otra posibilidad es tirar un solo camellón

con los dos o más materiales mezclados enfrente de la máquina, utilizando para la mezcla una planta estabilizadora como la que se muestra en la figura III.4.2.1.a.

En este segundo procedimiento, en una primera pasada, la máquina distribuye y mezcla el material a través del gusano distribuidor, en su parte central lo carga en sus bandas de transporte y luego lo saca por la banda de descarga. Al salir se forma un camellón de material Homogeneizado y bien distribuido; en una segunda pasada, la máquina extiende el material acamellonado en el espesor requerido, operación que efectúa haciendo girar las paletas del gusano y dirigiendo el flujo del material en un solo sentido. Posteriormente entra en acción un rodillo compactador, cuidando que el material quede bien compactado, y un poco arriba de la línea de sub-rasante. En una tercera pasada, la máquina afina el material compactado, dejando una línea idónea, con los niveles transversales y longitudinales especificados en el proyecto. Por el rendimiento de la máquina, se puede decir que sustituye el trabajo de cuatro moteconformadoras.

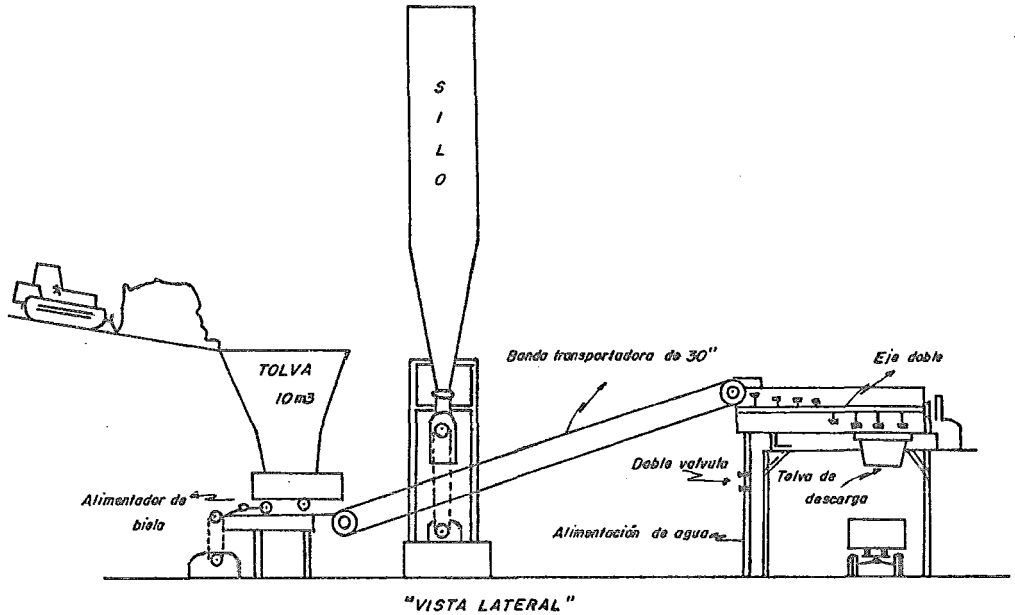
Para este tipo de máquinas, se recomienda que la sub-base sea más ancha que la superficie de concreto a colocar; conviene excederse en 1.50 m., de cada lado, ello permite el tránsito de la máquina de pavimentación y posteriormente, que se aloje la guarnición integral.

Para dar por terminada la sub-base, se verifica que el alineamiento, sección, compactación, espesor y acabado, se encuentran de acuerdo con lo fijado en el proyecto, dentro de las tolerancias fijadas en la tabla III.4.2.1.b.

Deberá presentarse atención, a los lugares donde existen instalaciones de drenaje, agua potable y en general a los servicios públicos, los cuales se construyen antes de efectuar la pavimentación



**FIGURA III-4-2-a, PLANTA ESTABILIZADORA**



**TABLA III-4-2-1-b.**

CONCEPTO	TOLERANCIA
Ancho de la sección, del eje a la orilla	$\pm 10$ cm.
Pendiente transversal	$\pm 1/2$ %
Nivel de la superficie	$\pm 1$ cm.
Profundidad de las depresiones, colocando una regla de 3 m., de longitud, paralela normalmente al eje de la calle	1 cm., máximo
<p>Espesores: El valor absoluto de la diferencia entre los espesores reales y de proyecto al 90 % de las determinaciones, deberá ser igual o menor al 20 % del espesor del proyecto.</p> <p><math>(e_r - e) \leq 0.2e</math></p> <p>donde <math>e</math> es espesor de proyecto</p> <p><math>e_1, e_2, \dots, e_N, e_r =</math> espesores reales encontrados al ubicar los sondeos y nivelaciones</p>	

Posteriormente terminada la sub-base, y dentro de la primera fase de construcción, tiene un riego de impregnación, cuya función es la de impermeabilizar la superficie de la sub-base, así como para protegerla de los efectos perjudiciales del tránsito de los equipos de construcción. Por lo regular se utiliza un producto asfáltico rebajado tipo FM-1, en proporciones de 1.5 lts/m<sup>2</sup>, aplicando por una petrolizadora. Con esto se determina la primera fase de la secuencia de pavimentación.

## 2.- Preparación de cimbras.

En esta segunda fase, el limitar cualquiera de los anchos a la colocación del concreto, por las especificaciones de vialidad, debe tratarse en forma especial la frontera que marca la junta constructiva en la losa ya terminada. Por lo tanto, se debe obtener y preparar dicha junta, para que al trabajar en conjunto los esfuerzos se transmitan eficientemente.

La forma machihembrada se ha puesto en práctica para la liga de los diferentes tramos de concreto, dado que por necesidad de la construcción, tiene que existir una diferencia en tiempo de espera por ligar un concreto con otro. La forma de las cimbras laterales machihembradas, también conocidas como cimbras con llave, se logra de las siguientes formas:

Una es la cimbra lateral de madera, la cual se habilita con dos piezas de madera, un tablón (la descripción se refiere para un espesor de losa de 21 cms.) de 20.32 X 38.10, y una duela pegada al centro de 7.26 X 2.54 cms., con dos de sus aristas achaflanadas. Este tipo de cimbra requiere una intensa labor de mantenimiento desde su primer uso, ya que hay que rehabilitar de inmediato para poder aprovechar sus ocho o diez usos siguientes.

La segunda es la cimbra metálica, la cual presenta dos perfiles; uno tubular y estructural. Esta cimbra esta diseñada con un perfil de caja de 5.08 X 2.54 cm., con espesor de 0.16 cm., el cual forma un bastider de 20 X 30 cm. Este bastider se revisa por un lado, con una lámina #6, doblada con forma de llave. La mano de obra con esta forma es rápida, dado que se trata y se reduce únicamente a la colocación. Aunque al colocarla, la lámina se protege, su esbeltez y poco espesor genera problemas de resistencia al maltrato y a los golpes que recibe de la colocadora en movimiento.

La cimbra metálica con perfil estructural, ha dado la solución de durabilidad y rapidez en la colocación. Sin embargo se aclara que la forma resulta pesada, debido a que utiliza una placa doblada de 0.48 cm.; los dobles obedecen al espesor de pavimento 50.8 cm., y a un asiento de contacto de 50.8cm., con teniendo en la parte peraltada un doblez de 5 x 5 cm. El detalle de la llave se logra con una placa doblada de 0.32 cm., de espesor. La placa se atermilla a la estructura de la frontera. Con este tipo de cimbra se tiene previsto un amplio número de usos, dado que no se presentan daños considerables a través de sus usos.

Ya obtenidas las cimbras laterales, éstas se engrasan. Es decir, las cimbras de madera o metálicas, se preparan con aditivos, pintura, diesel o grasa. Esto las hace más duraderas. Después de un colado, una brigada especial debe limpiarlas y engrasarlas debidamente, para que estén a la disposición. El objeto de aplicar dicho material, es romper la adherencia con el concreto; en el caso de la cimbra de madera, la aplicación de diesel es para protegerla contra la interperie.

El siguiente paso es el de determinar la posición de los niveles y alinear la cimbra.

Tan importante como el equipo y la maquinaria para colocar, es contar con los datos topográficos de primera; esta información garantiza que el pavimento se coloque correctamente en cuanto a nivelación y alineamiento. Independientemente de la nivelación de la sub-base, se coloca otra nivelación que servirá para dar referencia a la posición de la cimbra. Frecuentemente se encuentra que dichas sub-bases que serán apoyo de la losa, se encuentran arriba y abajo del nivel establecido esta irregularidad se corrige con excavaciones de afine o en caso contrario calzando la cimbra. Lo que se debe obtener en cuanto a nivel, es que éste sea el proyectado de la rasante.

El paso siguiente es el de la colocación de los pasajuntas. Las varillas deberán sujetarse firmemente en su posición mediante un arreglo soldado para soporte y espaciamento de los mismos, o bien, se pueden colocar con máquina. La mitad de la longitud de estos pasajuntas se prepara con pintura y/o asfalto, para romper la adherencia con el concreto y permitir que exista el movimiento de losas. Este procedimiento de colocación de pasajuntas es similar para los diferentes tipos de pasajuntas.

Para cualquier tipo de pasajuntas deberá garantizarse el adecuado alineamiento vertical y horizontal, bien sea mediante arreglos aprobados para la colocación de juntas, o bien colocándolos con máquina.

Ya colocados los pasajuntas y determinado el nivel y alineamiento de la cimbra, el siguiente paso, es el de la colocación a nivel de la línea guía para sensores. Terminando con éste paso la fase número dos del proceso constructivo.

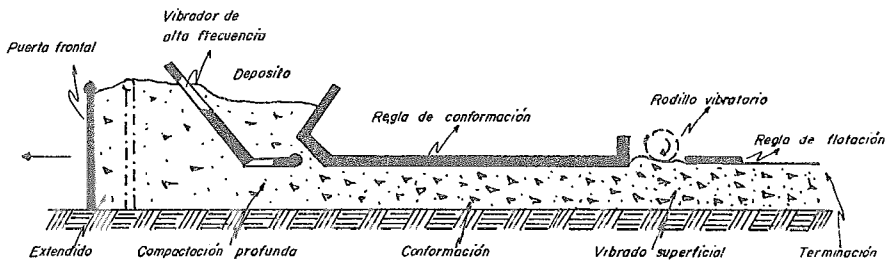
3.- La tercera fase comienza, con la revisión mecánica de la

colocadora de concreto, la insertadora y la terminadora.

Una vez nivelada la colocadora de concreto, se ponen los cuatro interruptores de control en posición de automático y se mete en línea la máquina, es decir, poner en posición correcta la máquina para transitar y aceptar concreto. La superficie en la cual se va a trabajar, previamente se humedece.

La pavimentadora de cimbra deslizante, sigue el proceso de pavimentación indicado en la figura III.4, 2.3.a.

*FIGURA III.4.2.3. a., Proceso de pavimentación.*



Como se puede apreciar en la figura, este equipo está diseñado para extender, transportar, consolidar y terminar el concreto fresco en una sola pasada. El resultado es un concreto bien consolidado y homogéneo, que requiere un mínimo de trabajo manual para dar el acabado y las tolerancias de la superficie de rodamiento. La máquina que fué descrita en la sección III.2.1., deberá vibrar el pavimento de concreto en todo su espesor y ancho, movimiento que se logra aplicando los vibradores de tipo interno con los cuales viene equipada ésta.

El tren de pavimentación deberá ser operado lo más continuo posible, y todas las operaciones de mezclado, transporte, des-

carga y distribución, deberán estar sumamente coordinados para alcanzar un progreso uniforme.

Cuando se necesite parar la pavimentadora, deben también detenerse los elementos de vibración.

Posteriormente a la colocadora de concreto, le sigue la insertadora de juntas longitudinales y transversales. Las juntas longitudinales, están hechas o mejor dicho, se hacen a base de un tubo de inserción de una cinta plástica, que se encuentra colocada en la pavimentadora, y que ésta alinea, tensa y vibra inmediatamente antes que la plancha de acabados empiece su función de terminado.

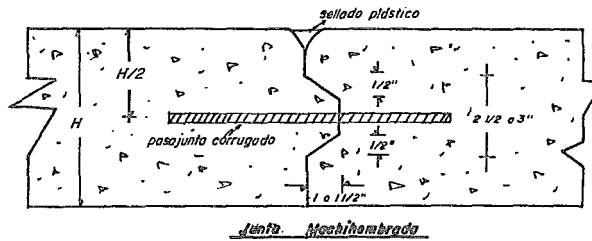
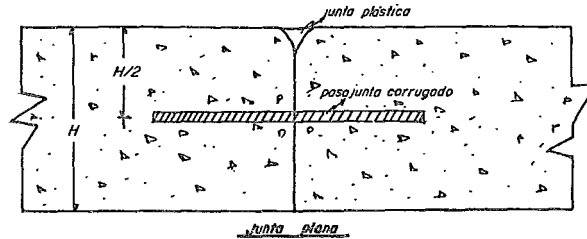
La colocación de juntas transversales, se hace utilizando una máquina como la descrita en la sección III.3.2.1 (insertadora de juntas), la cinta plástica es introducida a base de un cortador, el cual tiene un vibrador conectado, éste facilita la introducción de la cinta y el confinamiento del concreto, se logra el terminado por medio de una plancha de terminación.

Las ventajas principales de este sistema, son que el concreto puede permanecer homogéneo alrededor de la junta, sin desplazar ni segregar a los agregados gruesos, además la fracturación irregular por debajo de la cinta plástica, dando una superficie de falla resistente, la cual hace posible una adecuada transmisión de esfuerzos, anulando el empleo de elementos pasajuntas; se proporciona una superficie de rodamiento más uniforme, eliminando la vibración en los vehículos, y se evitan los problemas causados por bajas temperaturas. Como sucede con las películas gruesas de hielo, que son capaces de deteriorar la superficie al fracturar las aristas de la junta y la superficie de rodamiento. Comparativamente, el sistema permite un mejor control de calidad a menor costo de las juntas ranuradas con disco, donde el factor tiempo es determinante.

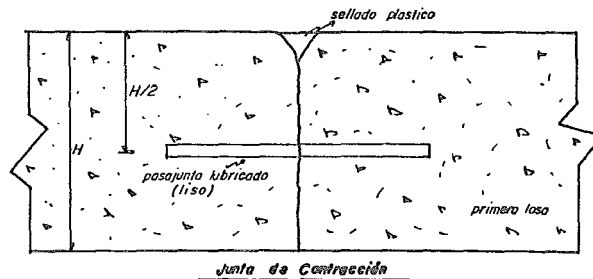
Otro procedimiento de la junta longitudinal es la de —  
 construirla en forma machihembrada. En las figuras III.4.2.  
 3.b., se muestran los cortes típicos de las juntas ya termi-  
 nadas.

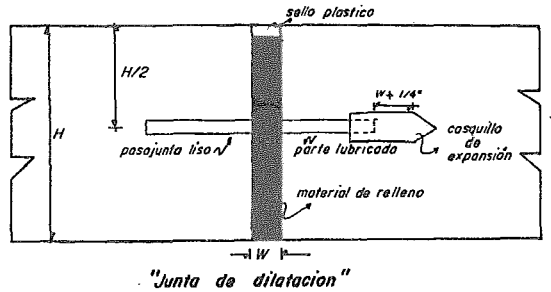
FIGURAS III-4-3-b, TIPOS DE JUNTAS

—JUNTAS LONGITUDINALES



—JUNTAS TRANSVERSALES





El siguiente paso dentro de la tercera fase, es el de la terminación. Para esto, se utiliza una máquina como la descrita en la sección III.3.2.1 (tube finisher).

El procedimiento de trabajo que efectúa esta máquina consiste en caminar para adelante y para atrás, con el tubo rozando la superficie de concreto fresco. De éste modo se uniforman las depresiones y se borran las huellas de herramienta manual y otras. En ocasiones es necesario incluir algo de rocío de agua, para facilitar el acabado. Finalmente con el Yute se da la pasada que marcará al concreto, y que permitirá que al fraguar, la superficie tenga más agarre y propiedades antiderrapantes.

4.- Afinación. Esta última de las operaciones, se inicia con la preparación de las guarniciones integrales. Luego se coloca el nivel topográfico para guarniciones, y se termina con la colocación y acabado del concreto en éstas. El proceso de colocación y acabado se logra por medio de la máquina guarnicionera mostrada en la sección III.3.2.1., el procedimiento de colocación, compactación y terminación es similar al de las losas de concreto en pavimento.

Esta misma máquina procede a la construcción de banquetas,



siendo el procedimiento similar que para guarniciones.

Para dar fin a la tercera y cuarta fase, se procede al curado del concreto.

Inmediatamente que se hayan concluido las operaciones de acabado final, y después de que se hayan evaporado las películas de agua de la superficie, o tan pronto como la consistencia de la mezcla lo permita, debe cubrirse y curarse la superficie del concreto recientemente colado, aplicando uno de los métodos que se mencionan a continuación:

- Curado con membrana. Inmediatamente después que ha desaparecido la película de agua de la superficie del concreto, ésta debe cubrirse uniformemente con el material de curado de membrana líquida, por medio de una máquina de aspersión aprobada, en cantidades no menores de 0.27 lts/m<sup>2</sup>. Con el fin de garantizar una consistencia y una dispersión uniforme del pigmento en el material de curado, éste debe ser agitado en el envase original antes de pasarlo al equipo rociador y debe mantenerse agitado durante toda la aplicación. En zonas irregulares o en tramos del pavimento en donde resulte impráctico el uso de máquinas de aspersión, la distribución del material de curado puede hacerse por medio de equipos adecuados de aspersión manual. Las caras laterales de la losa deben cubrirse con el material de curado dentro de los primeros 60 minutos posteriores a la remoción de la cimbra. Cualquier área de la membrana aplicada que se dañe dentro del período de curado especificado, debe reponerse inmediatamente.

- Mantas de algodón o Yute. La superficie y los bordes del pavimento deben cubrirse totalmente con éstas mantas las cuales antes deben mojarse con agua completamente. Las mantas deben quedar en íntimo contacto con la superficie, pero no deben colocar-

se hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente, para evitar que se adhiera o se incorporen al mismo. Deben mantenerse completamente húmedas y su posición correcta durante todo el período de curado especificado.

- Papel impermeable. Tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente como para que el papel impermeable se incorpore a él, se cubre toda la superficie del pavimento con este material. Las hojas del mismo deben traslaparse 30 cm. El papel impermeable debe tener un ancho suficiente para que se pueda traslapar y además cubrir completamente los lados de la losa una vez que hayan sido removida la cimbra, a menos que se cuente con tiras adicionales de papel para este último propósito. El papel debe colocarse y mantenerse en íntimo contacto con la superficie y los lados del pavimento durante todo el período de curado. El papel que se daña y que no pueda ser parchado o reparado en forma efectiva, debe desecharse. Este material debe aplicarse solo sobre una superficie húmeda, si la superficie se observa seca debe humedecerse con una aspersión de agua lo suficientemente fina para no causar daño al concreto fresco.

- Cubierta de polietileno blanco. La superficie y los lados del pavimento deben cubrirse enteramente con tela de polietileno blanco, el cual se debe colocar cuando la superficie de concreto está todavía húmeda. Si la superficie del concreto se observa seca, debe mojarse mediante una fina aspersión de agua antes de colocar la cubierta. Las hojas de polietileno adyacentes deben traslaparse 45 cm., y tener contra pesos encima para mantenerlas en contacto con la superficie del pavimento. La cubierta debe ser de una dimensión tal que se prolongue más allá de los bordes del pavimento y alcance a cubrir por completo los lados de la losa, una vez

que se haya removido la cimbra. La cubierta de polietileno debe permanecer en su lugar durante el período de curado especificado, y debe especificársele un espesor mínimo de 0.10 mm., para su adecuado manejo.

De no hacerse un curado efectivo, se puede perder hasta un 20% de resistencia.

Se da por terminado la terminación de las losas de concreto hidráulico al verificar el alineamiento, perfil, espesor, anchura y acabado, de acuerdo a las estipulaciones del proyecto, y considerando las siguientes tolerancias indicadas en la tabla III.4.2.4.a.

*TABLA III.4.2.4.a.*

<i>Concepto</i>	<i>Tolerancia</i>
<i>Ancho de la superficie, del eje a la orilla</i>	$\pm 1.00$ cm
<i>Pendiente transversal</i>	$\pm 5$ %
<i>Profundidad máxima de las depresiones observadas, colocando una regla metálica de 3 m. de longitud paralela al eje y transversalmente</i>	0.5 cm.
<i>En el 80% como mínimo del número total del espesor determinado, el espesor real debe ser igual o mayor que el espesor del proyecto.</i>	$or \geq e$
<i>En el 20% como máximo del número total de los espesores determinados, el espesor real debe ser mayor o igual que el espesor del proyecto. Meno de medio centímetro</i>	$er - 0.5$ cm.

### III.4.3. Secuencia de trabajo utilizando equipo con cimbra estacionaria fija.

#### 1.- Trabajos previos.

- Preparación sub-base. Los niveles de la sub-base deberán estar dentro de las tolerancias que marcan las especificaciones. Por lo que habrá que tener especial cuidado en la ejecución de ésta etapa de trabajo. La construcción de la sub-base se realiza siguiendo los métodos descritos para los trabajos con cimbra deslizante.

- Preparación de cimbras. Deben utilizarse cimbras capaces de soportar las cargas impuestas por el equipo de construcción. Normalmente se utilizan formas de 3 m., de largo, y un ancho de base igual a 0.75 del peralte, pero no menor de 20 cm. La lámina que se usa para que soporte equipo de construcción pesada tiene un espesor mínimo de 8,0 mm.

Estas cimbras deberán estar provistas de sistemas adecuados de sujeción que le permita permanecer en su sitio una vez colocadas y soportar, sin giros ni asentamientos apreciables a simple vista, el impacto y las vibraciones del equipo de acabado, y de compactación del concreto.

Es importante que la sub-base sobre la que colocarán las formas de cimbra esté perfectamente compactada y nivelada a manera que la forma se apoye perfectamente en toda su base y longitud uniformemente. El nivel y el alineamiento deberán ser chequeados por la cuadrilla de topografía y cualquier falla deberá ser corregida de inmediato una vez rectificadas su buena colocación se procederá a fijar la forma mediante pijas lo suficientemente largas y fuertes que aseguren que queden sólidamente fijadas a la sub-base y alineadas libres de todo movimiento en cualquier dirección.

Las formas no deberán estar desviadas más de 0.60 m., de su línea de proyecto en cualquier punto.

Las formas deberán estar perfectamente limpias antes de proceder al colado de las losas.

## 2.- Colado, compactación y curado del concreto hidráulico.

- Colado para depositar el concreto a su posición final con un mínimo de segregación y sin dañar la sub-base. Aclarando que el equipo de producción y acarreo del concreto es el mismo que el descrito para cimbra deslizante.

En la sección III.3.2.2.1., se han explicado los equinos que se recomiendan para estos trabajos de colocación del concreto. Básicamente consisten en un cajón de recepción que distribuye el concreto a todo lo ancho de la losa con los espesores adecuados sin dañar la sub-base. Con este tipo de tendido se logran rendimientos de 20 m<sup>3</sup>/hr.

- Compactación. Se logra mediante el uso de vibradores de alta frecuencia, se colocan sobre una barra con separación de 75 cm., centro a centro, a todo lo ancho de la losa de concreto, solamente deben trabajar cuando están sumergidos en la masa de concreto y nunca fuera de él. También para esto es posible utilizar varios vibradores de alta frecuencia operados individualmente.

- Vibrado superficial. Este se logra por medio de los equipos de vibrado y terminado superficial. Este se logra mediante el equipo clary, que haciéndole pasar sobre la superficie de concreto fresco, hacia adelante y hacia atrás, dando las pasadas que sean necesarias sobre la superficie para dejarla terminada dentro de tolerancia.

Para mejor entendimiento ver figura III.3.2.2.

- Textura final. La textura final se logra por los dos procedimientos indicados en la sección III.3.2.2. El escobillado se hace pasando sobre la superficie terminada una escoba de raíz dejando marcados pequeños surcos de 1 a 3 mm., de profundidad, dejando una textura adecuada y antiderrapante del concreto.

- Curado del concreto. El curado del concreto recientemente colado, se logra aplicando uno de los métodos mencionados en la sección III.4.2 (Curado del concreto.).

- Remoción de las formas de cimbra. Las formas se descimbrarán entre 6 y 8 horas después del colado. Este tiempo puede tener variaciones de acuerdo con las condiciones de temperatura, humedad y viento en cada lugar.

Al remover las formas hay que tener muy en cuenta no dañar las esquinas de las losas.

Estas formas de cimbra, se prepararán por una brigada especial para su utilización posterior.

### 3.- Construcción de los diferentes tipos de juntas.

- Dispositivos para transmisión de carga. De acuerdo con las necesidades constructivas, las pasajuntas, se dividen de acuerdo a la posición en que se localizan. El procedimiento para su colocación es el indicado en la sección III.4.2.2., así mismo deberán cumplir con las especificaciones indicadas en la misma sección.

- Juntas de expansión. Normalmente son juntas de construcción que se utilizan cuando la dirección del pavimento cambia, como pudiera ser el caso del entronque de las calles pavimentadas con concreto reciente, con otras calles pavimentadas con concreto de más edad. Su construcción es sencilla por tratarse de una junta entre dos concretos de diferente edad, con separación de dos centímetros, relleno de celotex impregnado de asfalto en toda su altura.

- Juntas de construcción. Esta se construye por medio de aserrado del pavimento despues que el concreto haya endurecido. El aserrado de la junta se hace entre 6 a 8 horas de haber colado el concreto.

Para el corte se usan dos espesores de disco, uno de 3/16" y otro de 1/4". El primero para aserrar una profundidad de 1/5 del espesor de la losa, y el segundo para ampliar la junta a cinco milímetros de espesor por treinta milímetros de profundidad. Este sistema es el más adecuado, de los que se utilizan con cimbra fija.

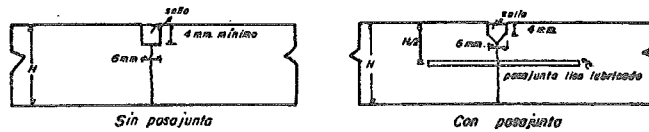
- Juntas de construcción transversal. Este tipo de juntas se construye para fin de jornadas o alguna interrupción imprevista, se procede como sigue: se prepara una forma de cimbra para fin de jornada o de tapón. Se dejan perforaciones y apoyes para colocar las varillas de transmisión de carga. Cuando se termina la jornada de colado se coloca el tapón descrite anteriormente, de preferencia se hace coincidir este tipo de junta con una junta de construcción, se nivela y fija igual que cualquier forma de cimbra, y se colocan las barras de acero liso según proyecto, bien engrasado y se termina el colado.

- Juntas longitudinales. Su construcción es la unión de una losa con otra. La cimbra que se usa lleva un machimbre para transmitir carga. Por lo regular se coloca varilla corrugada como elemento de sujeción.

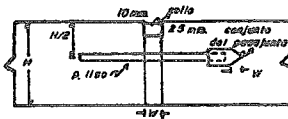
Para mayor claridad de este tipo de juntas ver figuras III.4.3.3.

**FIGURAS III. 4.3.3, Juntas tipo ranura**

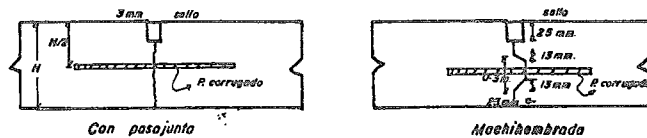
*"Juntas de contracción tipo ranura"*



*"Junta de expansión"*



*"Junta longitudinal"*





#### 4.- Sellado de las juntas de construcción.

Una vez terminado el colado de losa y aserrado de las juntas se procede al sellado.

- Productos empleados. Para sellar las juntas en losas de concreto se necesita un producto que debe resistir la acción del agua, aceite, minerales, gasolinas, etc.

En general son productos selladores del tipo termoplástico a base de alquitranes, mica activa, hule sintético clorinado y plastificantes estabilizadores. En su forma original es un líquido espeso negro con un peso específico de 1.4 kg/lt. Para su aplicación debe calentarse hasta 140 grados centígrados. Una vez frío se transforma en un cuerpo plástico con apariencia de hule blando de gran elasticidad que se produce por la formación de una red compleja de moléculas de hule sintético dentro de la masa. Las estructuras moleculares de hule se forman al calentarse el producto y se van completando poco a poco durante unos 90 días después del colado. Este producto tiene una elevada adherencia en superficies secas y limpias.

- Formas de aplicación. Con objeto de retirar las impurezas alojadas en las ranuras deben limpiarse perfectamente éstas, retirando todo cuerpo extraño y como operación final se aplicará un chiflón de aire para dejar perfectamente limpias las juntas sin adherencia de polvo antes de aplicar el sello.

- Aplicación de sello. El material puede calentarse en la misma máquina aplicadora, que está provista de un recipiente de doble fondo para evitar un calentamiento local excesivo. Teniendo el producto la temperatura adecuada para su colocación (140 gra-

dos centígrados), a esta temperatura es un líquido bastante delgado, que fluye fácilmente sin hacer burbujas, que toma la forma de la sección que contiene y que penetra en fisuras, porosidades e intersticios, aumentando su anclaje y mejorando su adherencia intrínseca.

La colocación del producto se hace colando el material fundido dentro de las juntas ya preparadas, empleando un vertedor (boquilla), de dimensiones adecuadas. Debe procurarse no llenar totalmente la sección de la junta, dejándose de 3 a 5 mm., libres para que al dilatarse el concreto no expulse el sello de la misma.

- Restauración de las juntas. Las juntas que tengan abocardamientos, fracturas o cavidades con anchos mayores de 2 cm., deberán ser restauradas antes de proceder al sellado.

La restauración consiste en reproducir nuevamente la forma original de la junta con productos epóxicos o similares.

Cuando se trata de pegar concreto nuevo con viejo se usará resina epóxica y en caso de resanes pequeños se usará el mortero epóxico o similares. Posteriormente se aplicará el producto de sellado.

Se da por finalizada la terminación de las losas de concreto hidráulico, al verificar el alineamiento, perfil, espesor anchura y acabado, de acuerdo a las estipulaciones del proyecto, y considerando las tolerancias indicadas en la tabla III.4.2.4.e.

### III.5. Control de calidad.

#### III.5.1. Esquema del control de calidad.

El tipo de programa de control de calidad necesario para establecer que el concreto, cuando se produce y hasta después de su incorporación en la obra, cumple con los requisitos de las especificaciones dependerá de la naturaleza y magnitud de la obra. En trabajos pequeños puede satisfacerse sólo una cantidad limitada de muestreo y prueba, pero en obras mayores es importante utilizar un control de calidad basado en conceptos estadísticos.

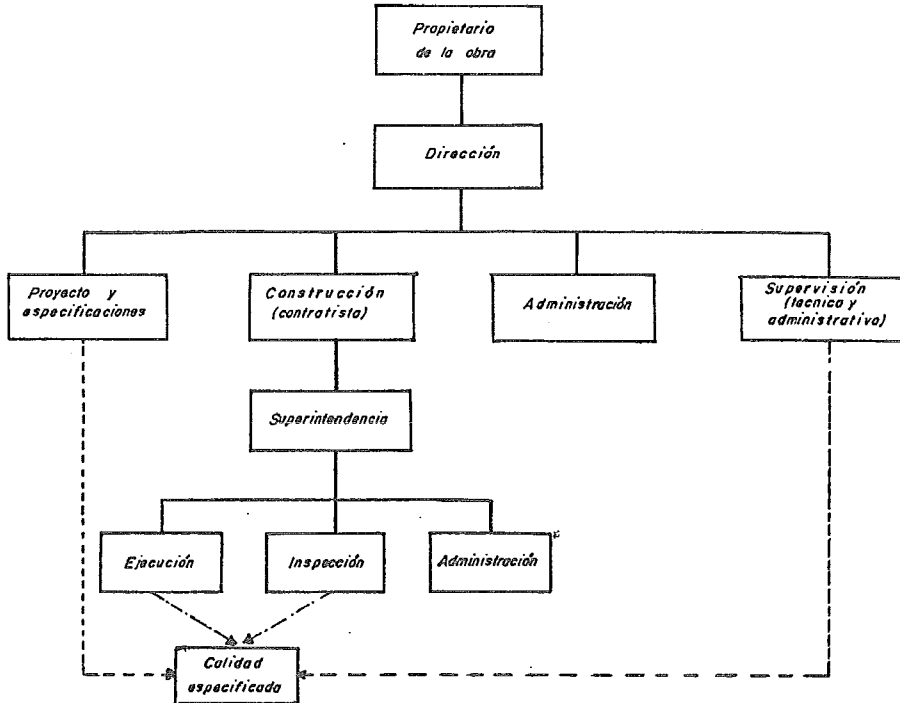
En la figura III.5.1.a., se presenta un modelo de organización durante la construcción de las obras, en donde se observan los principales factores que deben concurrir para que el concreto alcance la calidad especificada.

En términos generales, puede admitirse que existen dos medios fundamentales para ejercer el control del concreto, cuyos objetivos se complementan:

- El control interno o autocontrol, que forma parte de la organización responsable de producir el concreto.
- La supervisión externa que, aunque puede seguir diferentes modalidades, normalmente constituye una fiscalización que procede directamente del propietario de la obra.

En la figura III.5.1.b., se indican las etapas de que suele constar el proceso global para producir concreto, y en ella se indica también la ubicación que es asignable al control interno y a la supervisión externa.

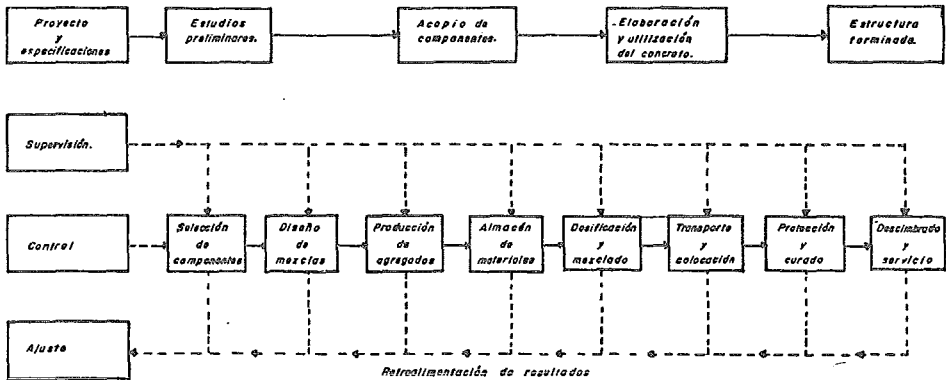
**FIG. III.5.1.a. Factores que concurren para obtener la calidad especificada de una obra.**



Conviene observar que el ejercicio de control debe ser simultáneo con el desarrollo del proceso, por lo que sus actividades requieren ser permanentes y rutinarios en el curso de cada etapa.

Como consecuencia directa de las actividades de control, se obtiene resultados que deben confrontarse con los correspondientes valores especificados. De esta confrontación pueden emanar acciones correctivas, cuando las discrepancias encontradas ex -

**FIG. III.5.1.b, Esquema de los procesos de supervisión, control y ajuste, durante la producción de concreto.**



ceden a las diferencias tolerables. La acción de confrontar y co rregir constituye lo que en términos prácticos se conoce como "retroalimentación" de resultados.

Con el propósito de hacer la retroalimentación más oportuna y eficaz, existe la convicción permanente de que el control del concreto debe sostenerse en la realización de pruebas y determinaciones cuyos resultados sean de preferencia obtenidos inmediatamente, o bien a corto plazo.

### III.5.2. Ejercicio del control.

El control de calidad de los productos manufacturados nor-

malmente se apoya en tres actividades:

- Control de calidad de las materias primas.
- Supervisión del proceso completo de fabricación.
- Verificación total del producto terminado.

Aunque en el caso del control del concreto subsisten estas actividades fundamentales, existe sin embargo un aspecto propio que lo distingue del control de las manufacturas comunes, el cual se refiere al tiempo que necesita transcurrir, después de concluido el proceso de fabricación, para que el producto pueda considerarse verdaderamente terminado. Es obvio que esta característica del concreto constituye un inconveniente para el control porque en ese lapso de espera, que corresponde al período de endurecimiento y adquisición de propiedades, la construcción de la obra continúa y los datos que se obtienen de la verificación final del concreto pueden ser totalmente extemporáneos para su oportuna aplicación en la misma, con el objeto de prevenir posibles fallas.

Con el propósito de atenuar esta desventaja, se han desarrollado pruebas rápidas para analizar la composición del concreto conforme sale de la mezcladora. Con ello se pretende mejorar la uniformidad del concreto en su elaboración, verificando y ajustando las proporciones de sus componentes, y anticipar las propiedades del concreto endurecido aplicando el razonamiento de que el uso de materias primas de buena calidad, mezcladas correctamente y en proporciones justas debe coincidir a un producto que finalmente alcance sus cualidades potenciales.

Para completar los resultados de las pruebas rápidas en que se analiza la composición del concreto recién elaborado, también se preparan especímenes en los que se determina la resistencia

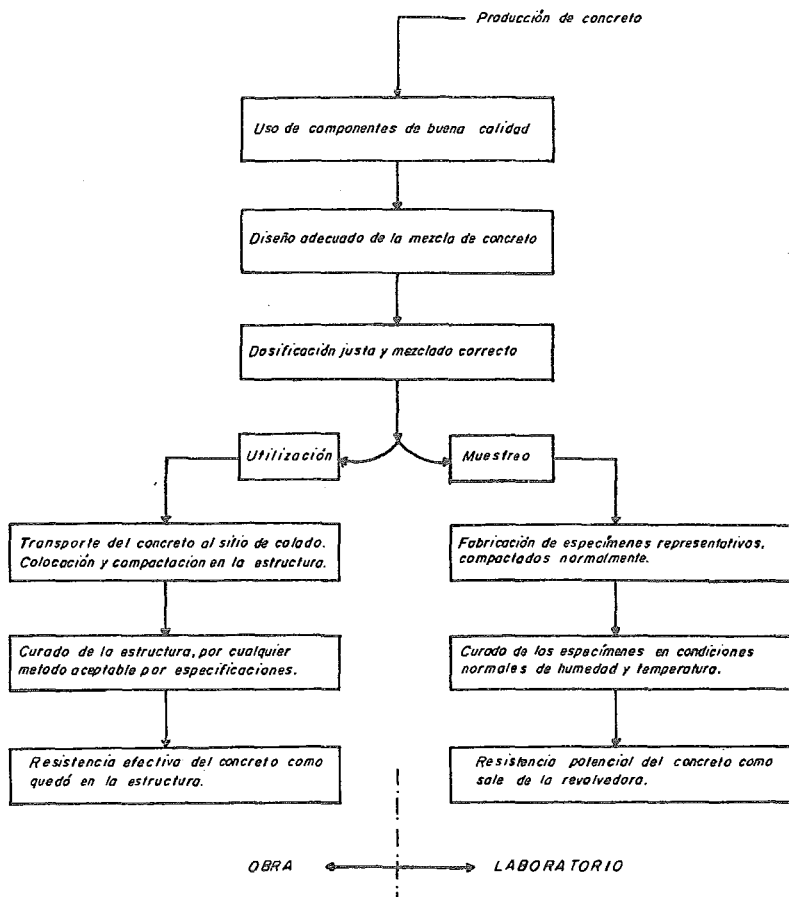
del concreto endurecido a diversas edades. Estos especímenes pueden elaborarse en diferentes partes de la obra y recibir distintas clases de curado, según la aplicación que se intente dar a sus resultados, como se indica en la tabla III.5.2.a.

**TABLA III.5.2.a. Diferentes objetivos y condiciones para la obtención y ensayo de especímenes representativos del concreto en una obra.**

<i>Lugar de muestreo</i>	<i>Condición de curado</i>	<i>Edad de prueba</i>	<i>Utilización de resultados</i>
<i>A la descarga de la revolvedora.</i>	<i>Acelerado.</i>	<i>Entre 6 y 48 horas aprox., según método de prueba utilizado.</i>	<i>Pradición y juicio de la resistencia probable del concreto a la edad de proyecto (normalmente 28 días).</i>
<i>"</i>	<i>Normal de laboratorio.</i>	<i>3,7 ó 14 días.</i>	<i>Evolución de la resistencia inicial del concreto en curado normal y extrapolación para estimar la resistencia a edades posteriores (28 ó 90 días).</i>
<i>"</i>	<i>"</i>	<i>28 y/o 90 días.</i>	<i>Confrontación de la resistencia del concreto en curado normal, contra la resistencia de proyecto especificado. Verificación del cumplimiento de especificaciones de resistencia.</i>
<i>En el sitio de colado.</i>	<i>"</i>	<i>"</i>	<i>Confrontación de las resistencias del concreto muestreado en las condiciones inmediatas anteriores a su colocación, contra la del mismo concreto muestreado a la descarga de la revolvedora. Indagación de causas, si existen diferencias objetables.</i>
<i>"</i>	<i>Igual que la estructura representada</i>	<i>Primeras edades, según el caso.</i>	<i>Observación de la evolución inicial de la resistencia del concreto, curado como la estructura, para definir el tiempo en que ésta puede descimbrarse.</i>

Aunque el ensaye de los especímenes representativos del concreto recién elaborado es el procedimiento generalmente admitido para verificar su resistencia como producto terminado, debe recordarse que la resistencia potencial del concreto como sale de la mezcladora no necesariamente coincide con la del mismo concreto ya colocado en la estructura, esto, se hace notar en la figura III.5.2.b.

**FIG. III.5.2.b., Diferencia entre el tratamiento que recibe el concreto en obra y el que se da a los especímenes.**





En el caso de la producción del concreto, para delimitar el control de calidad propiamente dicho, puede considerarse que éste termina al entregar el concreto a la salida de la mezcladora y que la toma de especímenes en ese momento sirve para dejar constancia de su resistencia potencial. A partir de entonces, el control del proceso debe continuar por conducto de la inspección y la supervisión, con la finalidad de asegurar que el concreto recibido se transporta, coloque, compacte, proteja y cure conforme lo establecido en las especificaciones.

Si todas estas actividades se realizan satisfactoriamente, y si el ensaye de los especímenes a la edad prevista confirma la obtención de la resistencia requerida, entonces no debe existir motivo para poner en duda la calidad final del concreto en la estructura. Por otra parte, si existe evidencia de incumplimiento de algunas de las condiciones anteriores, puede ser necesario verificar el estado real del concreto colado, mediante alguno de los procedimientos que existen para éste objeto (auscultación de la estructura con ondas ultrasónicas y la extracción y ensaye de corazones, que son los de uso más generalizado).

Cabe señalar, que en las últimas etapas del proceso y general de control, que corresponden al uso del concreto en la estructura, las deficiencias suelen detectarse mediante la vigilancia y observación directa del inspector y/o del supervisor, por lo que las acciones correctivas correspondientes pueden ser prácticamente inmediatas. Esto resulta afortunado, porque una vez colocado el concreto en la estructura cualquier acción puede ser incómoda y costosa.

### III.5.3. Pruebas de control en obra.

El control del concreto en obra se ejerce normalmente haciendo uso de todas aquellas pruebas e inspecciones que puedan aportar datos y resultados útiles per juzgar y corregir lo siguiente:

- La calidad de los constituyentes.
- El procedimiento de desificación y mezclado.
- Las características del concreto recién elaborado.
- Los medios y procedimientos con que se transporta, coloca, compacta, protege y cura.
- ✓ La resistencia del concreto en estado endurecido.

Considerando que los materiales que se reciben ya elaborados (cemento, aditivos) deben cumplir su propio proceso de control y verificación de calidad, entonces las pruebas y otras actividades que puede realizar quien controla el concreto en obra, se describen a continuación:

#### A.- Agregados.

- Control de limpieza (limo, arcilla, materia orgánica) y composición granulométrica.
  - a) Durante la etapa de explotación de bancos.
  - b) Durante el proceso de clasificación y lavado.
- Control de propiedades que sean decisivas para la calidad de los agregados, de acuerdo con la naturaleza de las rocas constitutivas: sanidad, peso específico, forma de partículas (en caso de trituración).
- Control de segregación y posible contaminación de los

agregados ya clasificados, en el curso de las operaciones de descarga, transporte y almacenamiento en patios. Precauciones para un buen drenaje del agua de lavado e de lluvia en los patios de almacenamiento, principalmente para la arena.

#### B.- Desificación y mezclado.

- Corrección del proporcionamiento teórico, de acuerdo con los cambios de humedad y granulometría en los agregados.
- Verificación del funcionamiento y precisión del equipo en que se desifican los componentes del concreto, mediante revisiones y calibraciones rutinarias.
- Certificación previa de las cantidades de materiales que deben componer cada revoltura de concreto y vigilancia permanente en su aplicación.
- Determinación del tiempo óptimo de mezclado, mediante pruebas de eficiencia a la revolvedora.

#### C.- Concreto recién elaborado.

- Control de fluidez en las mezclas al salir de la revolvedora, mediante la conocida prueba de revenimiento.
- Determinación del peso volumétrico, el contenido de aire y la temperatura del concreto recién mezclado.
- Análisis de muestras de concreto tomadas a la descarga de la revolvedora, para verificar su composición.
- Elaboración de especímenes adecuados para determinar la resistencia a la compresión y a la flexión, del concreto endurecido, tanto en curado acelerado, como en curado normal, a diversas edades.

D.- Utilización del concreto.

- Prevención de la segregación del concreto en el curso de su traslado al sitio de colado y durante su colocación.
- Verificación del revenimiento, la temperatura y el contenido de aire del concreto al llegar al sitio de colado.
- Vigilar la compactación que experimenta el concreto en su composición definitiva dentro de la estructura.
- Atención a las posibles manifestaciones de asentamiento y sangrado en el concreto recién colado y protección contra la pérdida prematura de humedad a través de las superficies expuestas del mismo.
- Elaboración de especímenes adecuados en el sitio de colado para verificar la resistencia del concreto en las condiciones inmediatas anteriores a su colocación en la estructura.
- Elaboración de especímenes en el sitio de colado, que al ser curados en condiciones iguales que la estructura, sirvan para definir el tiempo de descimbrado, de acuerdo con su resistencia alcanzada.
- Vigilancia para que se aplique correctamente el curado especificado en la estructura.
- Supervisión del retiro de cimbra soportante y no soportante en la estructura, a las edades y por los procedimientos autorizados.

E.- Concreto endurecido.

- Obtención de la resistencia a compresión y flexión en especímenes sometidos a curado acelerado. Aplicación de estos resultados para predecir y juzgar el nivel de la resistencia potencial del concreto como se entrega al salir de la mezcladora.
- Obtención de la resistencia a compresión y flexión en especímenes de concreto sometidos a las mismas condiciones de curado de la estructura. Utilización de estos resultados para definir la edad en que puede autorizarse el retiro de cimbras.
- Obtención de la resistencia a compresión y flexión, a edades tempranas en especímenes de concreto sometidos a curado normal de laboratorio. Extrapolación de sus resultados para estimar y juzgar el nivel probable de la resistencia del concreto a una edad posterior en esas condiciones de curado.
- Obtención de la resistencia a la compresión y flexión del concreto, a la edad especificada para alcanzar la resistencia del proyecto, en especímenes sometidos a curado normal de laboratorio. Análisis estadísticos de los resultados para verificar el cumplimiento de las especificaciones de concreto de la obra.
- Ejecución de pruebas en la estructura, tendientes a establecer su condición real, cuando existen motivos para dudar de la calidad del concreto colocado.

Posteriormente a lo anterior se utilizan los resultados aplicando métodos estadísticos.

### III.5.4. Utilización de los resultados.

La información que se obtiene como consecuencia de la ejecución de las pruebas y verificaciones anteriores, tiene utilidad para el control de la producción de concreto en la medida que es confiable y oportuna. De ser así, puede utilizarse con seguridad y eficacia para retroalimentar el proceso de producción, esto es, hacer llegar la información obtenida hasta la etapa del proceso donde se originó la prueba, a fin de que, si se destaca algún incumplimiento, pueda corregirse en el menor tiempo posible.

La confiabilidad que inspira el resultado de una prueba depende básicamente de tres factores: "quién", "cómo", y "con qué" se realiza. El factor "quién" se refiere al personal de la obra que ejerce el control del proceso de producción de concreto; el "cómo" corresponde a los procedimientos y métodos que se utilizan para ejecutar las pruebas; el "con qué" se relaciona con los equipos e instrumentos de prueba disponibles, tanto en el laboratorio como en el campo.

Esta dependencia conduce a tres requerimientos esenciales, que debe cumplir todo servicio de control de calidad, a fin de que pueda considerarse capaz de emitir resultados confiables:

- Capacitación y calificación apropiada del personal.
- ↘ Utilización de métodos de prueba normalizados.
- Certificación de los equipos e instrumentos de prueba.

La oportunidad de los resultados, durante el control del concreto, se relaciona con la etapa del proceso en que se realiza la prueba y con el tiempo que tarda su ejecución.

En terminos generales, las actividades para el control del proceso de producción del concreto pueden dividirse en dos grupos; según se realicen antes o después de la colocación del concreto en la estructura. Las pruebas cuyos resultados se obtienen y transmiten antes de la colocación del concreto, tienen carácter preventivo porque permiten evitar la elaboración, y/o la utilización, de concretos potencialmente deficientes. Por lo contrario, las que producen resultados posteriores a la colocación son más bien de índole comprobatorio y solamente pueden ayudar a tomar medidas aplicables al concreto ya colocado en la estructura, o bien al concreto que debe producirse posteriormente.

En la tabla III.5.4., se representa un resumen de las actividades usuales para controlar la producción de concreto, ordenadas progresivamente conforme a la etapa del proceso y al tiempo en que se obtienen resultados.

Para que el ciclo de actividades consistentes en probar, confrontar, corregir y volver a probar se complete con oportunidad, es necesario que dentro del sistema exista una expedita comunicación bidireccional para transmitir y acatar instrucciones. De lo contrario, puede desvirtuarse el propósito de las pruebas rápidas, si se demora demasiado en la ejecución de las acciones correctivas que de ellas emanen.

Con esto se concluye lo referente al control de calidad, para obras construidas básicamente de concreto hidráulico.

TABLA III-5.4, Ordenamiento de pruebas y verificaciones usuales para el control de calidad del concreto

ETAPA DEL PROCESO EN LA PRODUCCION DEL CONCRETO	PRUEBAS Y VERIFICACION, EN ORDEN DE EJECUCION Y DURACION			
	INMEDIATAS <i>menos de 1 hora</i>	CORTO PLAZO <i>entre 1 y 24 horas</i>	MEDIANO PLAZO <i>entre 1 y 7 días</i>	LARGO PLAZO <i>más de 7 días</i>
<b>Obtención y habilitación de agregados:</b> -Explotación selectiva del banco o cantera  <b>Acondicionamiento (lavado, cribado, trituración)</b>  <b>Almacenamiento preliminar</b>	Limpieza  Limpieza  Segregación	Granulometría  Granulometría, forma de partículas  Drenaje	Materia orgánica, densidad.  Materia orgánica, densidad.  Contaminación	Sanidad  Sanidad  Contaminación
<b>Acapic de agregados habilitados:</b> -Transportación -Almacenamiento definitivo	Segregación Segregación	Drenaje	Contaminación	Contaminación
<b>Elaboración del concreto:</b> -Ajuste de la proporción de agregados -Dosificación de los ingredientes -Operación de mezclado -Despacho de revaulturas  -Verificación del concreto fresco y endurecido (en especímenes)	Humedad Verificación de datos Tiempo de revaultura Revenimiento, temperatura  Análisis rápido; peso volumétrico; contenido de aire	Granulometría Calibración Homogeneidad  Análisis normal; resistencia acelerada	Calibración Uniformidad  Resistencia acelerada y en curado nor.	Uniformidad  Resistencia normal y pruebas especiales.
<b>Utilización del concreto:</b> -Transportación -Recepción de revaulturas -Colocación en los moldes -Verificación en la estructura	Segregación; contaminación Revenimiento; temperatura  Segregación Compacción; acabado	Sangrado; curado	Descimbado; defectos	Reparación; calidad en la estructura.



## CAPITULO IV

### CONSERVACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

#### IV.1. Introducción.

Se entiende por conservación de pavimentos, al conjunto de trabajos necesarios para mantener a éstos en condiciones aceptables de transitabilidad, procurando que su superficie de rodamiento mantenga la geometría adecuada, así como la rugosidad deseable de impermeabilidad especificada, sin descuidar la estabilidad del conjunto de capas que forman al pavimento.

Hay dos tipos de conservación de pavimentos: conservación preventiva y conservación correctiva.

La conservación preventiva tiende a prevenir o retardar las fallas.

La conservación correctiva se aplica cuando han ocurrido las fallas en un pavimento, y se dan los pasos para localizar y definir el tipo de falla y su causa, para que posteriormente se repare.

#### IV.2. Protección de concreto.

Si los pavimentos de concreto están formados exclusivamente por la losa de concreto, la mayoría de las fallas de éstos se localiza en la losa que los forma. Por lo tanto, el pavimento de concreto hidráulico se deberá proteger antes y después de la apertura al tránsito.

1.- Protección del pavimento terminado, antes de la apertu-

ra al tránsito, tanto el del público como el del personal empleado.

Esta protección debe incluir personal de vigilancia para encausar el tránsito, colocación y mantenimiento de señales, luces, barricadas y puentes o pasos sobre el pavimento.

Cualquier daño al pavimento, que ocurra antes de su apertura al tránsito, debe repararse o bien debe reemplazarse la zona afectada.

Otro tipo de protección del pavimento, antes de la apertura al tránsito, es el de protección contra lluvia, que le puede causar daños muy serios, si la losa de concreto no ha endurecido lo suficiente. Deberá disponerse en todo tiempo de los materiales necesarios para la protección de la superficie del concreto sin endurecer. Tales materiales consistirán en yute, mantas de algodón, papel de curado y hojas de plástico, los cuales son los más adecuados para este objetivo. Además cuando se utilice el procedimiento de pavimentación a base de cimbras deslizante, deberá tenerse un plan aceptable para la protección de la superficie y los bordes del pavimento para casos de emergencia. Cuando la lluvia sea inminente, todas las operaciones de pavimentación deben detenerse y el personal tomará las medidas necesarias para la adecuada protección del concreto sin endurecer.

## 2.- Protección del pavimento a la apertura al tránsito, y limitaciones debidas a la construcción.

El pavimento terminado debe protegerse contra daños que pudieran originarle las operaciones de construcción y el tránsito, hasta la aceptación final del trabajo.

A fin de ser expedida la construcción cuando se pavimentan carriles intermedios o carriles para cerrar los tramos, puede permitirse la operación del equipo de trabajo sobre carriles ya cons-

truidos, siguiendo las recomendaciones que se citan más adelante. Las cargas de los vehículos no deben exceder a la carga por eje considerada para el diseño.

En ningún caso podrá permitirse el tránsito del camión re-  
volvedora, el equipo de acarreo o las pavimentadoras en carriles  
recientemente pavimentados, hasta que el concreto haya sido cu-  
rado durante cuatro días por lo menos y siempre y cuando tenga  
ya una resistencia mínima a la flexión de 38,7 kg/cm<sup>2</sup>. Deben se-  
llarse, o protegerse en otra forma, las juntas transversales y  
longitudinales, antes de permitir el tránsito de cualquier vehí-  
culo de construcción.

A otros equipos de construcción, como niveladoras de sub-ba-  
se, máquinas para acabados de concreto o similares, podrá permi-  
tirseles moverse por las orillas del pavimento construido cuando  
el concreto tenga por lo menos una edad de 72 horas, y haya al-  
canzado una resistencia mínima a la flexión de 28 kg/cm<sup>2</sup>. Todos  
los bordes de la losa deberán protegerse contra daños posibles.

Los pavimentos que soportan el tránsito del equipo de cons-  
trucción deben mantenerse limpios, eliminando inmediatamente  
cualquier derrame de material o de concreto que haya caído so-  
bre ellos.

Debe evitarse el tránsito sobre el pavimento, colocando y  
manteniendo barreras y señales, hasta que el concreto tenga por  
lo menos la edad de 14 días o más tiempo, si es necesario, para  
que alcance una resistencia adecuada. No debe permitirse ningún  
tránsito sobre el pavimento hasta que las juntas hayan sido se-  
lladas.

Cualquier parte del pavimento que sea dañada por el tránsito  
del equipo de construcción o cualquier otra causa, antes de la  
aceptación final de la obra, deberá ser reparada o reemplazada.

Por lo que se mencionó anteriormente, el programa de conservación de pavimentos, empieza durante la etapa de su construcción, quedando sin discusión que las medidas tomadas hasta la aceptación final de la obra, son medidas conservativas preventivas.

### 3.- Programas de conservación posteriores a la construcción del pavimento.

Este tipo de programas, son de caracter correctivo, ya que se aplican cuando han ocurrido las fallas en un pavimento.

A continuación se mencionan en el orden de importancia el tipo de fallas en pavimentos de concreto hidráulico.

- Grietas por adición de agua.
- Abultamiento por mal acabado.
- Superficie antiderrapante.
- Sangrado.
- Deficiente curado.
- Compactación inadecuada del concreto.
- Grietas plásticas.
- Grietas duras o estructurales.

Los trabajos fundamentales para contrarrestar este tipo de fallas de los pavimentos de concreto, son los siguientes:

- Sello.
- Bacheo.
- Sobre carpeta asfáltica o sobre carpeta de concreto hidráulico.

Con objeto de formular adecuadamente los programas de con-

servación en los tres tipos de restauración, deberá ejecutarse un censo que contenga la siguiente información:

- Edad de los pavimentos para fines estadísticos.
- Estado de conservación de la superficie de rodamiento. (indicando tipo de superficie e ir actualizando estos datos anualmente).
- Indicaciones apertadas por el laboratorio.
- De preferencia deberán irse efectuando estudios de evaluación de los pavimentos mediante pruebas no destructivas para conocer en detalle su grado de deterioro y las causas de ello y así jerarquizar su conservación y/o reparación.

Todos los datos anteriores deberán contener, la localización del tramo de estudio y el área en m<sup>2</sup>.

Por lo anterior expuesto, se puede decir, que la conservación de tipo correctivo, se efectúa durante la vida de servicio del pavimento en estudio.

APLICACIONES EN ZONAS URBANAS

V.1 Introducción.

Hasta la fecha no ha sido muy amplio el uso de pavimentos de concreto hidráulico en zonas urbanas, esto es debido a su costo inicial, y en donde se han construido, en la mayoría de los casos se han utilizado procedimientos manuales de construcción.

Refiriéndonos a la utilización de equipo especializado para la construcción de este tipo de pavimentos, en la sección V.2, mencionaremos las zonas en donde se han construido utilizando los métodos constructivos descritos en el capítulo III.

V.2. Aplicaciones.

La utilización de equipos especializados solo es económicamente costeable cuando exista un volumen suficiente de obra que permita amortizar la inversión del alto costo de adquisición de la maquinaria.

Se pueden mencionar las siguientes aplicaciones importantes de pavimentos de concreto hidráulico en zonas urbanas:

- Desarrollo Urbano del Río Tijuana. (Cimbra Deslizante).
- Repavimentación de Acanulco Guerrero. (Cimbra Fija).

Brevemente mencionaremos los trabajos realizados en el Desarrollo Urbano del Río Tijuana, que por la magnitud de éstos,

es la obra más importante de éste tipo realizada en la República Mexicana:

Al canalizar el Río Tijuana, se rescató una superficie utilizable de 1,600,000 m<sup>2</sup>., en donde se ha desarrollado la ciudad de Tijuana.

Se pavimentó con concreto hidráulico una superficie aproximada de 700,000 m<sup>2</sup>., en 50 Kilómetros de longitud.

El proyecto vial consistió en dos vías rápidas paralelas al canal: una avenida rápida principal con dos carriles de circulación de 14.00 m., de ancho cada uno, camellón de 12.00 m., banqueta de 6.00 m., de ancho y guarniciones integrales; otras calles longitudinales y transversales; construyéndose varios en troques para la distribución del tránsito. Véase lámina V.a, y V.b, (sección de calles y sección del pavimento respectivamente).

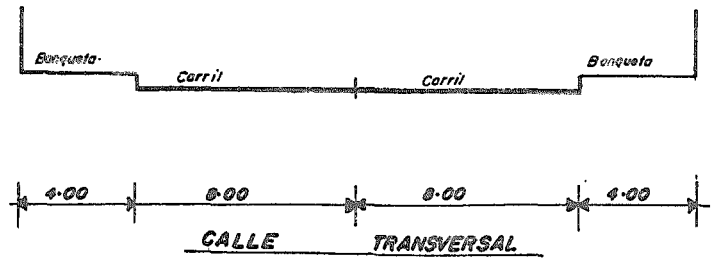
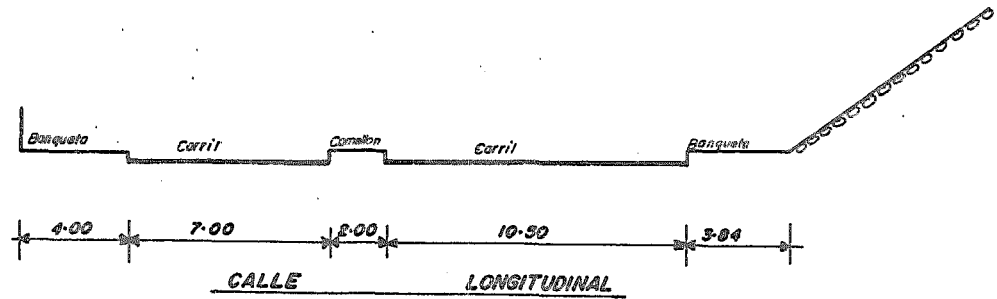
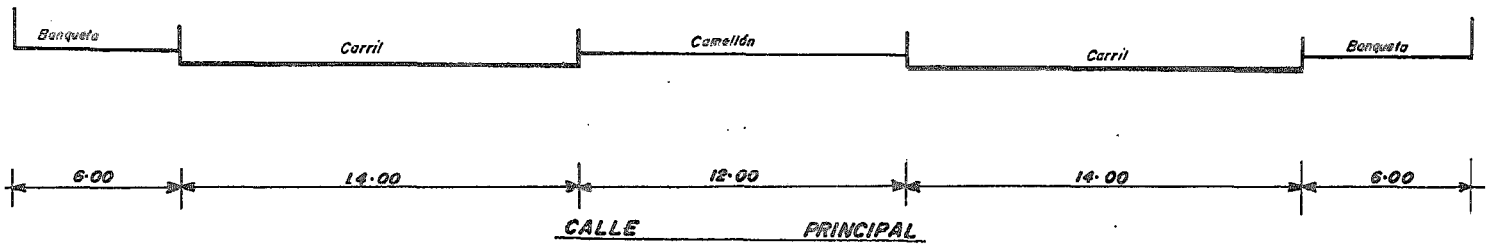
Las terracerías se formaron con material del lecho del río, con una capa de 50 cms., de espesor, formado por 35 centímetros de material arenoso y los últimos 15 cms., fueron de granito alterado obtenido de un banco a 7 Kilómetros de la zona de trabajo; a ésta capa se le dominó capa sub-rasante.

Sobre la sub-rasante se construyó una capa sub-base de 15 cm., de espesor, con un riego de impregnación de un producto asfáltico equivalente al FM-1.

En éste caso se utilizó para la formación de la sub-base, una mezcla formada en un 80% de material conglomerado gravo-arenoso y en un 20% de material cementante que un granito alterado.

Sobre la sub-base impregnada se construyó la losa de concreto hidráulico, con un espesor de 21 cms., en calles principales y 18 cms., en calles secundarias, utilizando concreto de 45 kg-cm<sup>2</sup> (MR), 1 1/2" de tamaño máximo de agregado, revenimiento de

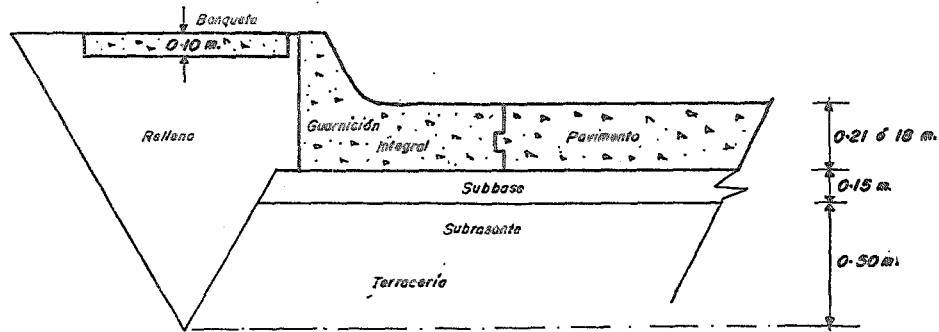
LAMINA V-a. SECCION DE CALLES





LAMINA V-b.

SECCION DEL PAVIMENTO



4 a 6 cms., y 5 a 6 % de aire incluido.

Las juntas longitudinales, cuando no fueron machihembradas, consistió en una inserción de cinta plástica de 2" de ancho; y las juntas transversales se formaron por una banda de 2" x 0.020", insertadas a 9 mm., de la superficie terminada del concreto. La separación de juntas no fue uniforme (5.18, 4.88, 4.57 y 4.27 metros ), así mismo éstas no fueron perpendiculares al eje de la calle.

Se utilizó el curado con membrana impermeable.

Por las características propias de la construcción (variaciones de temperatura, variaciones de marcas de cemento, etc.,) fué necesario tener un control de calidad estricto.

Se utilizaron Cartas de Control de Producción diaria, con el fin de localizar problemas y tomar oportunamente una acción correctiva ( Ver tablas V.c ).

Estas cartas pueden contener:

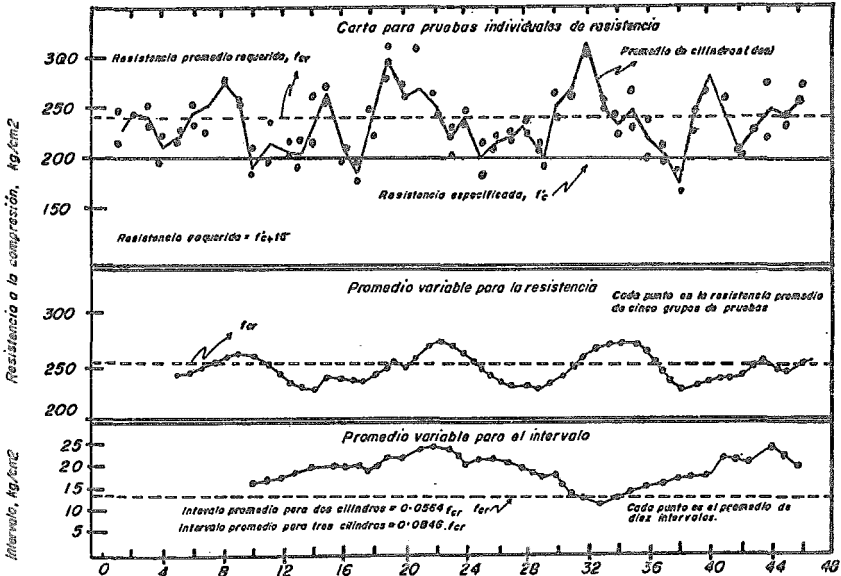
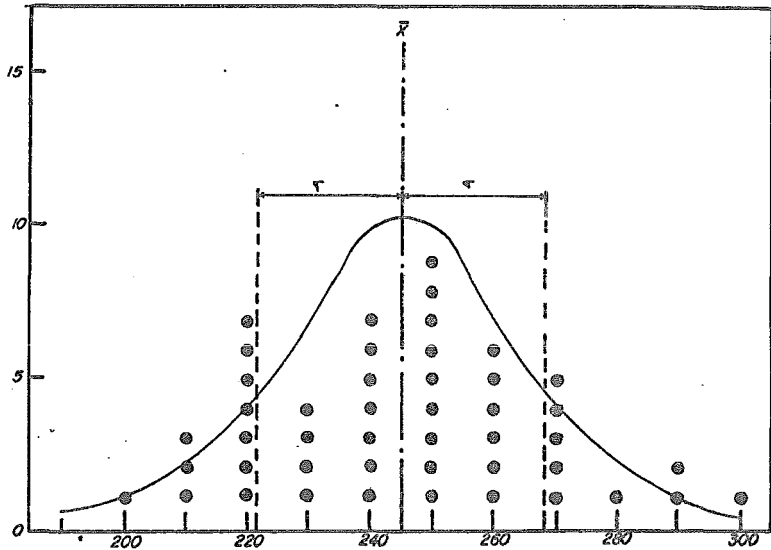
- Resultados de resistencia
- Pesos volumétricos del concreto
- Revenimientos
- Contenido de aire.

Este tipo de control además de que garantizó el cumplimiento de las especificaciones, las correcciones efectuadas representaron en algunos casos ahorros considerables en el consumo de cemento.

Descritos los trabajos realizados en la Urbanización del Río Tijuana, queda claramente entendido, que todo lo referente a la selección de materiales, tipo de pavimento, diseño, procedimiento constructivo, etc., está ampliamente tratado en el contenido de

los capítulos que forman éste trabajo de tesis.

**TABLAS Y c, Cartas de control de calidad para el concreto.**



## C O N C L U S I O N E S

1.- Un pavimento urbano, en esencia, no es distinto al de una carretera o aeropista, y por lo tanto la metodología desarrollada al respecto tiene aplicación a éste caso. Sin embargo debemos reconocer claramente que los parámetros que intervienen en el diseño asusan diferencias importantes que deben tomarse en cuenta apropiadamente. Por ejemplo el tránsito, aún cuando los vehículos son iguales a los carreteros, su distribución suele ser bastante diferente; en consecuencia los datos estadísticos que se disponen en nuestro país, a propósito de carreteras, no pueden ser aplicados a zonas urbanas, careciéndose en éste sentido de la información básica ya que hasta la fecha no existe ningún organismo coordinador de éste tipo, y la aplicación de modelos desarrollados en otros países para áreas urbanas no deja de ser riesgoso. De ahí la necesidad de llamar la atención en éste punto sobre la necesidad de que reunamos esfuerzos para reunir información necesaria para la solución racional de éste problema.

2.- Es público y notorio que nuestros pavimentos urbanos, como regla general se encuentren en muy malas condiciones, ya que su vida útil suele ser muy reducida, lo cual debe preocuparnos seriamente a los ingenieros, ya que quizás seamos los profesionales que mayor influencia y responsabilidad tenemos en este aspecto.

Son múltiples las causas de ésta situación; quizás las más importantes sean las siguientes:

- a) Falso concepto de la economía. Queremos a toda costa construir pavimentos baratos, sin caer en la cuenta de que ésto, como regla general, conduce a una actitud nefasta,

aún cuando en apariencia tratamos de justificarla aduciendo falta de recursos económicos, lo cual no deja de ser un sofisma.

- b) Cierta falta de conciencia en la importancia que tiene la aplicación de la tecnología apropiada, tanto en el proyecto como en la construcción del mismo. A menudo los pavimentos son construidos sin ningún estudio previo, siguiendo el juicio personal de algún ingeniero, no siempre suficientemente calificado, o incluso de algún subprofesional que aplica su propia intuición.
- c) En los mejores casos, cuando se llega a disponer de un proyecto adecuado, el control de calidad durante la obra, suele mucho que desear, con el consiguiente demérito.
- d) Reglamentación inadecuada para la construcción de fraccionamientos.
- e) Falta de comunicación entre técnicos y planificadores con economistas.

3.- Las razones para utilizar equipos especializados para la pavimentación en zonas urbanas son las siguientes:

- a) Producción. Aumentar la producción de las actividades de colocación, ya que es recomendable la utilización de estos equipos cuando se requiere una producción de colocación de 20 m<sup>3</sup>/hr a 50 m<sup>3</sup>/hr (cimbra fija), y más de 50 m<sup>3</sup>/hr (cimbra deslizante).
- b) Calidad. Se obtiene mejor calidad de los trabajos, que es compatible con el costo.

- c) Costo. Se eliminan altos costos de sobrecolación de concreto, logrado por la capacidad de las máquinas para anegarse a tolerancias estrictas.
- d) Versatilidad. La versatilidad de las navimentadoras para adaptarse a diferentes anchos y espesores de pavimento.

4.- Se debe estudiar, sobre todo en obras de gran magnitud la elección y utilización de los recursos materiales, económicos y humanos para obtener máxima productividad y economía, de acuerdo a las condiciones particulares de cada trabajo, investigando la tecnología que pudiera ser aplicable, adecuándola a nuestro medio y hallando el equilibrio, no con un espíritu innovador por la misma innovación sino por las ventajas que pueda traer el abatir costo e incrementar la productividad.

## B I B L I O G R A F I A

- Mecánica de suelos, tomo I y 2-----Juares Badilla  
y Rico Rodriguez.  
Ed. Limusa.
- La Ingeniería de Suelos en vias  
terrestres-----Alfonso Rico y  
Hermilo del Cas-  
tillo. Ed. Limusa.
- Instructivo para el diseño de -  
pavimentos-----Roberto Magalle-  
nes y Guillermo  
prado. I.G. UNAM.
- Especificaciones para pavimentos-----D.D.F.
- Manual de pavimentos-----Moncayo, Jesus.  
P. IMCYC.
- Adoquines de concreto-----ACI, P. IMCYC
- Prácticas recomendables para la  
construcción de pavimentos y -  
bases de concreto-----ACI-316-74, P.  
IMCYC.
- Control de calidad del concreto-----ACI-704, P. IMCYC.
- Prácticas recomendables para el  
curado del concreto-----ACI-308, P. IMCYC
- Especificaciones generales de -  
construcción-----SOP, parte cuarta.
- Especificaciones generales de -  
construcción-----S.O.P, parte octava.
- Diseño de pavimentos de concre-  
to en ciudades-----P. IMCYC, 1976.
- Especificaciones para pavimentos  
de concreto-----P. IMCY, 1976.

- Conceptos sobre pavimentadoras y su  
forma de trabajo-----Manuel Moreno, España  
1976.
  
- El concreto sustituye con ventaja a  
los pavimentos de asfalto-----P. IMCYC, 1974.
  
- Diseño y construcción de pavimentos I y II---F.I D.E.C. UNAM.
  
- Pavimentos de concreto-----Avitia, G. Rodolfo,  
P. IMCYC, 1977.
  
- Desing of funcional pavements-----W.C. Yang, P. IMCYC.
  
- Principles of pavement design-----E.F. Yoder, P. IMCYC.