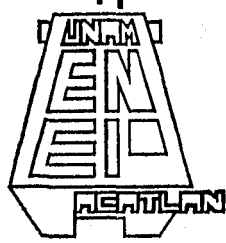


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

REVESTIMIENTO DE CONCRETO ASFALTICO PARA CANALES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
JOSE JAVIER GUZMAN MARIN



ACATLAN, EDO. DE MEXICO 09 DE ABRIL DE 1986





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/146/1986.

SR. JOSE JAVIER GUZMAN MARIN
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
Presente.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 18 de septiembre de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Revestimiento de Concreto Asfáltico para Canales", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
- II.- Propiedades del revestimiento de concreto asfáltico.
- III.- Dimensionamiento del revestimiento.
- IV.- Requisitos fundamentales por satisfacer.
- V.- Pruebas de laboratorio para fines de diseño de la mezcla asfáltica.
- VI.- Procedimiento de construcción.
- VII.- Control de calidad.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

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

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar 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 ESPERANZA"
Acatlán, Edo. de Méx., a 14 de agosto de 1986.

ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.

RECIBIDO
PROGRAMA

INDICE.

	PAGINA.
INTRODUCCION. -----	1
CAPITULO I.- Generalidades. -----	3
1.1.- Historia del uso del asfalto. -----	3
1.2.- Tipos de revestimientos asfálticos para canales. -----	5
1.3.- Comparación del revestimiento asfáltico con otros tipos de revestimientos. -----	9
CAPITULO II.- Propiedades del revestimiento de concreto asfáltico. ----	19
2.1.- Impermeabilidad. -----	19
2.2.- Durabilidad. -----	21
2.3.- Flexibilidad. -----	23
2.4.- Estabilidad en el talud. -----	24
2.5.- Resistencia a la erosión. -----	25
2.6.- Economía. -----	27
CAPITULO III.- Dimensionamiento del revestimiento. -----	28
3.1.- Concepto de pérdida unitaria por infiltración. -----	28
3.2.- Estanques de prueba en tramos reales de canal. -----	30
3.3.- Comparación de pérdidas unitarias en diferentes condiciones.-	32
3.4.- Criterio básico de diseño para dimensionar el revestimiento.-	34
CAPITULO IV.- Requisitos fundamentales por satisfacer. -----	38
4.1.- Asegurar que las filtraciones sean menores que las conside- radas como admisibles. -----	38
4.2.- Evitar la formación de grietas y fisuras. -----	39
4.3.- Asegurar la adherencia de los agregados con el cemento as- fáltico. -----	40
CAPITULO V.- Pruebas de laboratorio para fines de diseño de la mezcla asfáltica. -----	43

5.1.- Permeabilidad tipo AIX (Electricité de France). -----	43
5.2.- Fluencia en el talud (E. de F.). -----	45
5.3.- Inmersión-Compresión (Duriez). -----	50
5.4.- Flexibilidad. -----	54
5.5.- Estabilidad Marshall (Asphalt Institute). -----	56
CAPITULO VI.- Procedimiento de construcción. -----	58
6.1.- Recorte y afine de terracerías. -----	58
6.2.- Tratamiento esterilizante. -----	61
6.3.- Construcción de la base de apoyo. -----	64
6.4.- Fabricación de la mezcla asfáltica. -----	66
6.5.- Colocación de la mezcla asfáltica en la plantilla y en el talud. -----	70
6.6.- Compactación de la mezcla asfáltica. -----	76
CAPITULO VII.- Control de calidad. -----	79
7.1.- Pruebas de control en el laboratorio. -----	79
7.2.- Pruebas de control en el campo. -----	84
7.3.- Cartas de control de calidad. -----	87
7.4.- Pruebas de aceptación en estanques. -----	89
CONCLUSIONES. -----	92
BIBLIOGRAFIA. -----	94

Introducción.

Los canales son estructuras construidas por el hombre con el fin de lograr diferentes objetivos, siendo los principales: a) Satisfacer las necesidades de agua de una población o de una industria, b) Aumentar el rendimiento de una región agrícola mediante el riego, siendo éste uno de los objetivos más importantes para favorecer el desarrollo económico de México.

El agua es un elemento de mucha importancia para la subsistencia y el progreso, ésta proviene principalmente de la precipitación pluvial, por lo que se tienen muchas variaciones según la región y la temporada, así, tenemos lugares muy lluviosos o lugares muy secos, y dentro de éstos lugares, encontramos las lluvias por períodos, teniendo como consecuencia que en las épocas de sequías se originen grandes daños por su escasez. Es debido a esto que el valor del agua ha ido aumentando conforme transcurre el tiempo y por esto es necesario, en cuanto sea posible y la economía lo permita, evitar sus desperdicios inútiles.

Los tipos de revestimientos para canales más usados son los hechos con: a) Materiales arcillosos, b) Materiales arcillosos, c) Materiales asfálticos.

Las pérdidas por infiltración que puede presentar un canal ocasionan daños, entre los que se encuentran: a) Pérdida de un porcentaje de agua aprovechable que representa una verdadera pérdida de dinero. b) Daños ocasionados al terreno, como lo son: b.1.) Acenso de humedad en el terreno, b.2.) Ensalitramiento de las tierras, b.3.) Empantanamiento. c) Daños causados al canal mismo.

Siendo el asfalto un material sumamente impermeable, su uso es particularmente recomendable en zonas en que el agua es muy escasa y no se pueden tolerar pérdidas por infiltración, aceptándose únicamente las que son producidas debido a los efectos de evaporación.

El asfalto es un producto derivado del petróleo por lo que su obtención está relativamente asegurada puesto que nuestro país es petrolero. En el caso del concreto hidráulico no sucede lo mismo, ya que aunque existen plantas cementeras dispersas en toda la República, muchas veces su producción no es suficiente para satisfacer una determinada demanda, por lo que encarece o atrasa la aplicación del revestimiento de un canal. Tomando en cuenta éste aspecto, así como las propiedades del concreto asfáltico, se debe pensar en éste como una de las alternativas más viables para el revestimiento de canales.

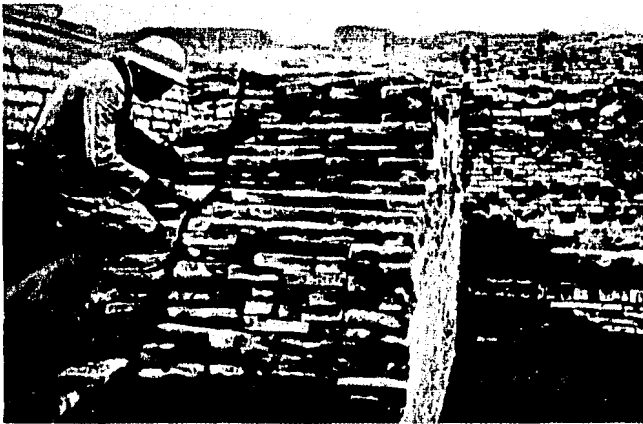
CAPITULO I.- Generalidades.

1.1.- Historia del uso del asfalto.

El uso del asfalto como material de construcción se remonta a varios siglos en la antigüedad, se habla que en Mesopotamia se utilizó antes del cuarto milenio A.C. mientras que en el Valle Indus, en el siglo quinto A.C.. Fué también utilizado en el Medio Oriente para los pozos, estanques y sanitarios.

En el año 450 a 300 A.C., los egipcios utilizaron ampliamente el asfalto como argamasa en la construcción de pirámides y en el embalsamamiento de sus cadáveres, y cuando la civilización griega influenció a la egipcia combinándose conocimientos, en especial los de medicina, se recurre al uso del asfalto en la elaboración de medicamentos así como de lacas y barnices.

Se sabe que también se utilizó en una grán escala para consolidar e impermeabilizar los terraplenes de las redes de irrigación de las que dependía la vida de la gente. Un grán número de éstas obras se encuentran intactas hoy en día.



RESERVA DE AGUA DE MOHENJO DARO, 3000 A.C.

En épocas de los faraones de Egipto, el asfalto fué utilizado como mortero para cementar rocas colocadas en las márgenes del Río Nilo, con el fin de protegerlas contra los efectos de la erosión. Estas estructuras hidráulicas, así como otras muchas más, - constituyen los primeros ejemplos del uso que el hombre ha dado al asfalto.

No es sino hasta el año de 1802 cuando se le da un uso más técnico en Francia, empleándose roca asfáltica (arenisca ó caliza impregnada de asfalto en forma natural o triturada) para pavimentar suelos, puentes y andadores.

El uso del asfalto ha aumentado continuamente en los últimos cincuenta años. En lo que respecta a la pavimentación de caminos, su uso ha sido más extenso que el de cualquier otro material. En cuanto a revestimiento de canales y de cauces de avenidas su uso ha aumentado substancialmente en los últimos 30 años. El uso tan extenso que se le ha dado al asfalto, ha resultado en un desarrollo de tecnología moderna del mismo.

En los Estados Unidos, el uso del asfalto como material de revestimiento para canales, ha sido grandemente impulsado por la investigación y experimentación llevada a cabo por el U.S. Bureau of Reclamation (USBR) desde el año de 1946. Al inicio de ese año el USBR decidió iniciar un programa en el que el principal objetivo era desarrollar revestimientos de bajo costo para canales en el que se idearon, desarrollaron y probaron diferentes tipos de revestimientos asfálticos. El programa de revestimientos de bajo costo para canales todavía continúa y muchos datos actuales sobre revestimientos de canales son resultado de dicho programa.

1.2.- Tipos de revestimientos asfálticos para canales.

1.- Revestimientos de pavimento asfáltico.

Los revestimientos de pavimento asfáltico, o de superficie dura, comprenden: concreto asfáltico mezclado en caliente, concreto asfáltico mezclado en frío, macadam asfáltico y mortero asfáltico aplicado neumáticamente. Con excepción del concreto asfáltico mezclado en caliente, las otras clases de revestimientos no han llegado a tener un uso extenso para el control de filtraciones y no se recomiendan debido a sus desventajas inherentes, como lo son los altos costos de instalación y mantenimiento, rápido deterioro y campo estrecho de aplicación. El revestimiento de concreto asfáltico mezclado en caliente es el tipo más popular y util.

A.- Revestimientos de concreto asfáltico mezclado en caliente.

Estos revestimientos consisten de una mezcla de cemento asfáltico y agregados minerales (pétreos) graduados, calentada a una alta temperatura para su colocación. Además de usarse como material de revestimiento de superficie para canales, también se puede utilizar como material para recubrir revestimientos de concreto deteriorados. Los requisitos para el revestimiento básicamente son: que sea estructuralmente adecuado, de alta impermeabilidad y que tenga suficiente tenacidad para soportar las operaciones de limpieza.

B.- Revestimientos de concreto asfáltico mezclado en frío.

Estos revestimientos son semejantes a los revestimientos en caliente, en el sentido de que el asfalto y los agregados se mezclan en la obra y se compactan en el lugar. Sin embargo, el producto asfáltico que se usa en la mezcla es un cemento asfáltico rebajado con un solvente, o consiste de una emulsión, y se coloca como una mezcla en frío. Se necesita largo tiempo y condiciones favorables de clima para la eliminación de solventes (curación).

Las mezclas frías son más fáciles de colocar que las calientes, pero tienen varias desventajas cuando se usan para revestimientos de canales. Algunas mezclas frías permanecen suaves por un período de tiempo indefinido, en tanto que otras se contraen durante la curación, produciendo numerosas grietas. Esta clase de revestimiento tiene baja resistencia a la erosión y pobre estabilidad. La adherencia entre los agregados y el asfalto es pobre y es probable que ocurra deterioro con la edad.

En general las mezclas en caliente se pueden usar en casi todos los casos en los que se podría considerar el uso de las mezclas frías y son las preferidas, debido a sus mejores características y comportamiento.

C.- Macádam Asfáltico.

Los revestimientos de macádam asfáltico consisten de una capa de agregado relativamente grueso, de graduación abierta, penetrada con alguna clase de asfalto. El macádam construido con cemento asfáltico catalizado y soplado proporciona un macádam más permanente y de clase superior, con mejor estabilidad que otros tipos de revestimientos asfálticos. Las emulsiones asfálticas y los asfaltos rebajados que se usan comunmente para penetrar, no proporcionan tan buena adherencia entre el asfalto y los agregados y son menos estables en los taludes laterales del canal.

El macádam asfáltico, si se usa solo, no es material práctico para revestimiento impermeable de un canal. Sin embargo, se puede usar para obtener un revestimiento poroso, resistente a la erosión y que permita el libre drenaje del agua de la subrasante, para prevenir subpresiones hidrostáticas destructoras. Por lo tanto, su uso es particularmente adaptable al revestimiento de cauce de avenidas y cunetas de drenaje. También se puede usar el macádam -

como cubierta protectora para revestimientos de membrana de asfalto, eliminando de ésta forma una parte de la sobreexcavación requerida para una cubierta de tierra y grava, resultando así una cubierta más resistente a la erosión.

D.- Revestimiento de mortero asfáltico aplicado neumáticamente.

Este tipo de revestimiento se construye rociando neumáticamente una mezcla de arena fina y emulsión asfáltica sobre la subrasante, a veces se agrega una pequeña cantidad de cemento Portland a la mezcla.

El mortero asfáltico esencialmente es un tipo de revestimiento de mezcla en frío, que tiene algunas desventajas del revestimiento de concreto asfáltico de mezcla en frío. Requiere equipo especial, trabajadores hábiles y lenta aplicación, resultando altos costos que no favorecen su uso general. No se recomienda como revestimiento para canales, excepto en casos especiales.

2.- Revestimiento de membrana asfáltica expuesta.

Los revestimientos de membranas asfálticas expuestas comprenden los tipos prefabricados y los tipos contruidos en el lugar, por medio de rociadores que se llaman membranas de impregnación. De los tipos que han sido utilizados y experimentados hasta la fecha, los más gruesos, prefabricados, tienen algunas aplicaciones en revestimientos para canales.

A.- Revestimientos de membrana asfáltica prefabricada. Estos revestimientos se usan en canales pequeños o en tramos relativamente cortos de grandes canales, donde el uso del concreto asfáltico, o de otros materiales asfálticos, requerirá de personal habilidoso y de equipo especial.

Se manufacturan dos tipos generales de materiales asfálticos prefabricados. El primero es de construcción de emparedado

que consiste usualmente de un núcleo denso lleno de asfalto, empa-
redado entre dos capas de materiales saturados de asfalto, como -
fieltro de asbesto o fibra sintética. En el lado expuesto se sumi-
nistran una capa de protección contra la intemperie. Los materiales
se moldean juntos, bajo calor y presión. Las hojas o tablas son de
4 a 13 mm. de espesor.

El segundo tipo es más ligero y flexible y usualmente bas-
tante más delgado (4 a 6 mm.). Por lo general cada hoja consiste
de una sola lámina de material de refuerzo, saturado y cubierto -
con asfalto. El material de refuerzo puede ser fieltro de asbesto,
yute o material de otra clase. Estos revestimientos prefabricados
más delgados, han encontrado poca aplicación como revestimientos
expuestos para canales y generalmente no se recomiendan.

B.- Revestimientos de membrana de impregnación.

Este tipo de revestimiento se construye impregnando el suelo
con aceite combustible, o destilado ligero, para estabilización y
rociando después un asfalto rebajado sobre la subrasante tratada.
Después de un corto período de curación, para formar en la super-
ficie una membrana que quedará expuesta, se rocía cemento asfálti-
co caliente de grado de penetración de 80 a 100, adicionado con un
10 a un 20 % de tierra diatomácea incorporada.

La mayor parte de revestimientos construidos de ésta manera
fracasaron en un tiempo relativamente corto y no se consideran sa-
tisfactorios.

1.3.- Comparación del revestimiento asfáltico con otros tipos de revestimientos.

Para poder hacer una comparación de los diferentes tipos de revestimientos que existen, es conveniente explicar cada uno de ellos, mencionando sus ventajas y desventajas.

A) Materiales arcillosos.

- 1.- Materiales arcillosos sin compactar.
- 2.- Capa delgada de material arcilloso compactado.
- 3.- Capa gruesa de material arcilloso compactado.
- 4.- Bentonita mezclada.
- 5.- Capa de bentonita protegida.

B) Cemento Portland.

- 1.- Suelo cemento.
- 2.- Concreto simple, colocado en el lugar.
- 3.- Losas de concreto prefabricadas.
- 4.- Concreto lanzado, torcreto o gunita.

C) Materiales Asfálticos.

- 1.- Concreto asfáltico.
- 2.- Lámina asfáltica protegida, colocada por aspersión.
- 3.- Lámina asfáltica prefabricada y protegida.

D) Varios.

- 1.- Torcreto y lámina de asfalto.
- 2.- Plásticos.
- 3.- Mamposterías.

- 4.- Madera.
- 5.- Lámina de acero.
- 6.- Azolves.
- 7.- Productos químicos.

A) Materiales arcillosos.- Es el tipo de revestimiento más barato, ya que frecuentemente se encuentra en estado natural en el mismo lugar del canal o en bancos cercanos; es un material flexible y si el procedimiento de construcción es adecuado, se --logrará un revestimiento bastante impermeable.

1.- Materiales arcillosos sin compactar.- En general es el -revestimiento más económico y basta poner una o dos capas de material arcilloso graduado con grava, arena y un 3% de arcilla, con un mínimo de 15 cm. de espesor en la plantilla y en los taludes. Para construirlo es necesario ampliar la sección del canal en ---15 a 30cm. según se usen una o dos capas y colocar el material arcilloso.

El inconveniente principal de éste revestimiento es que el -agua va arrastrando la arcilla, dejando sólomente los materiales gruesos, por ésto es recomendable poner la segunda capa, pues aún cuando el agua erosione la arcilla de la primera capa, quedan los materiales gruesos protegiendo la capa inferior contra la erosión. Otros inconvenientes son: La necesidad constante de limpiar por la vegetación, que puede desarrollarse y que provoca el azolve. No -presenta ninguna resistencia a los animales socavadores y fácilmente lo destruye el paso del ganado.

2.- Capa delgada de material arcilloso compactado.- Es casi igual al anterior, únicamente cambia en el procedimiento de construcción, ya que habrá de colocarlo por capas y compactarlo hasta

el grado y espesor requeridos. Presenta los mismos inconvenientes que el anterior, aunque con una poca mayor resistencia a la erosión.

3.- Capa gruesa de material arcilloso compactado.- De los revestimientos de bajo costo, éste es el más efectivo y el que presenta más facilidades para su construcción. Los materiales que se emplean son los mismos que para los anteriores, solo que la capa de arcilla puede ser desde 60 cm. hasta 1.50 m. de espesor en los taludes y de 60 cm. en la plantilla, variando según sea el caso. Los materiales más utilizados para éste tipo de revestimiento son los de grava y arena con arcilla como aglutinante, pues tiene baja permeabilidad, grán estabilidad y resistencia a la erosión.

Tiene como ventajas: La resistencia combinada con la flexibilidad, por lo que no es afectable por la congelación del agua ni por los suelos expansivos y es más resistente a la erosión que los anteriores además de verse menos afectado por el paso del ganado; permite tener anchos de corona suficientes para utilizarse como camino para inspección periódica. Los inconvenientes son: Falta de resistencia a los animales socavadores y al crecimiento de plantas.

4.- Bentonita mezclada.- Este material pertenece al grupo de la montmorilonitas, por lo que presenta la particularidad de aumentar el volumen cuando se humedece, al mismo tiempo que es muy impermeable y adquiere resistencia al deslizamiento. Estas características hacen de la bentonita un material adecuado para disminuir las filtraciones.

El revestimiento de canales de este tipo de material se obtiene mezclando unos 5 Kg./m³ de bentonita con material arenoso hasta formar una capa compactada de 5 a 8 cm. de espesor.

Sus ventajas son: Flexibilidad y gran permeabilidad así como bajo costo y rápida construcción.

Desventajas: No presenta resistencia a los roedores ni al -- crecimiento de las plantas, y la operación de limpieza debe hacerse con mucho cuidado para evitar destruir el recubrimiento que es muy delgado; no tiene ninguna ventaja en cuanto al funcionamiento hidráulico, pues la velocidad que permite es baja y el coeficiente de rugosidad no puede reducirse mucho al no poder obtenerse -- secciones muy lisas.

5.- Capas de bentonita protegida.- Este revestimiento es enteramente semejante al anterior, solo que en este caso, la bentonita forma la pantalla impermeable, sin la añadidura de ningún otro material. La membrana en este caso tiene un espesor de 2.5 a 5 cm. con la adición de una capa protectora de 15 a 30 cm. de espesor.

Ventajas: Si se instala correctamente puede llegar a reducir las pérdidas en un 80%; resulta un poco mas barato de construir -- que el anterior y la capa protectora evita los daños por el paso del ganado y la erosión, en caso de que esta capa se acabe, se puede colocar una antes de que se dañe la membrana impermeable, por último, cabe señalar que es muy flexible.

Desventajas: No presenta resistencia a los animales socavadores ni al crecimiento de las plantas y las velocidades permisibles son bajas.

B) Cemento Portland.- Este tipo de revestimiento es aquel que tiene como base de fabricación el cemento Portland, mezclado con agregados inertes de grava y arena o con arena solamente. En el primer caso el material así fabricado se llama concreto y al segundo mortero. Cuando se mezcla cemento con suelo, resulta el suelo-cemento.

1.- Suelo cemento.- Este revestimiento se logra mezclando cemento con algún suelo o bien con el material de la subrasante, -- siempre y cuando los materiales de que esté formada ésta sean adecuados, agregándole agua suficiente para obtener una mezcla plástica lográndose el fraguado del cemento.

Ventajas: Presenta resistencia a la erosión de los animales socavadores, permite velocidades mayores que en canales de tierra, con lo que se reduce el azolve y se baja el costo de mantenimiento. Tiene un bajo costo de construcción.

Desventajas: La duración en general es corta y se ve afectado por las temperaturas que agrietan la capa protectora produciéndose fugas por filtración, no impide el crecimiento de las plantas por lo que necesita limpiezas periódicas.

2.- Concreto simple colado en el lugar.- Es un tipo de revestimiento de canales con el que se logran muy buenos resultados, - pues se pueden alcanzar reducciones de pérdidas por filtración del orden de 95-98%.

Ventajas: Superficie dura, que prácticamente anula el crecimiento de las plantas; permite velocidades mayores que en canales de tierra o roca, lo que ayuda a reducir considerablemente el azolve, así como a disminuir la sección del canal y de las estructuras necesarias; anula la acción dañina de los animales socavadores, resiste el paso del ganado; es resistente al intemperismo, puede ser colocado con un costo relativamente bajo.

Desventajas: Elevado costo inicial de construcción, necesita una buena cimentación bien drenada para evitar subpresiones, no es flexible y necesita juntas de dilatación; es afectado por los cambios de temperatura que producen grietas y fugas por filtración.

3.- Losas de concreto prefabricadas.- Este procedimiento re-

sulta excesivamente caro. Las losas prefabricadas se hacen de 1.50 x 2.00 m. ó de 1.00 x 2.00m y de 5 a 7 cm. de espesor, reforzándo las con alambre pretensado que se deja sobresalir en las uniones para empalmarlo con la siguiente sección y colar la junta posteriormente.

Ventajas: Son las mismas del anterior con excepción de la última, pero permite mayor control en la uniformidad del concreto.

Desventajas: Las mismas anteriores más aún mayor costo de construcción inicial.

4.- Concreto lanzado, torcreto o gunita.- Es un revestimiento superficial de mortero aplicado con aire comprimido.

Ventajas: Posee en alto grado propiedades de densidad y dureza, elasticidad y resistencia. Impide el crecimiento de las plantas, permite velocidades altas y el paso del ganado no lo afecta.

Desventajas: Necesita muy buena cimentación y resulta en general más costoso que el revestimiento de concreto simple.

C)Materiales Asfálticos.- Este tipo de revestimiento corresponde a los de tipo flexible y para su construcción se emplea preferentemente el asfalto pesado, que contiene un 90% de asfalto y tiene poca cantidad de materiales volátiles.

1.- Concreto asfáltico.- Consiste en una mezcla de asfalto con agregados de grava y arena seleccionadas cuya mezcla se hace en caliente. En este caso el asfalto se usa como conglomerante.

Ventajas: Tiene bajo costo de mantenimiento ya que impide el crecimiento de las plantas siempre que se use en la superficie antes de revestir un esterilizante aplicado por aspersion; permite mayores velocidades, lo que evita el azolve; es flexible y relativamente económico.

Desventajas: El calor muy intenso combinado con la oxidación de sustancias volátiles provoca que disminuya la flexibilidad, haciendo el material quebradizo, sin embargo, teniendo el canal flujo continuo, ayuda a evitar éste problema.

2.- Lámina asfáltica protegida, colocada por aspersión. En un principio se empleó ésta capa sin protección, por presentar mayores ventajas, pero su duración era muy limitada y se recurrió a colocarle encima una capa protectora de tierra.

Ventajas: Es flexible, barato, resistente a los cambios de temperatura y rápida construcción.

Desventajas: No presenta resistencia a los animales socavadores ni al crecimiento de las plantas, el mantenimiento es costoso y debe reponerse la capa protectora cuando se erosione, las velocidades que permite son bajas y no es un revestimiento uniforme debido a su método de construcción.

3.- Lámina asfáltica prefabricada y protegida. Este tipo de revestimiento se desarrollo como un mejoramiento del anterior y consiste de papel Kraft o fibra de vidrio con una capa uniforme de asfalto catalítico que se tiende en el canal y después se protege con una capa de tierra.

Ventajas: Es flexible, bastante impermeable por tratarse de una capa uniforme, de rápida construcción, resistente a los cambios de temperatura y de facil transporte y manejo en el campo.

Desventajas: Las mismas que el anterior con excepción de la última.

D) Varios.- Dada la importancia cada vez mayor de impedir las fugas de agua, se han estado y se siguen estudiando diversos tipos de revestimientos, tratando de encontrar algo mejor y más barato.

Algunos de estos tipos corresponden a aquellos que fueron usados y ya están fuera de uso, pero que en algunos casos podrían volver se a usar; otros fueron probados, pero su alto costo impidió su uso comercial y otros más, que ofrecen posibilidades pero presentan problemas que aún no se han solucionado.

1.- Torcreto y lámina de asfalto.- Este revestimiento se forma colocando una capa delgada de concreto lanzado (torcreto) sobre una lámina de asfalto aplicado sobre el terreno directamente.

Ventajas: Es barato, de baja permeabilidad, poco erosionable y sobre todo delgado.

Desventajas: De difícil construcción por lo delgado de las capas del revestimiento, lo afecta mucho el agua freática durante su construcción, poca duración, lo afectan bastante los cambios de temperatura.

2.- Plásticos.- El producto que se emplea para esto es el Polietileno y es éste el material que mayores posibilidades presenta para su desarrollo en el futuro.

Ventajas: Es ligero, fácil de transportar en grandes cantidades, barato, rápido y fácil de instalar (se coloca directamente sobre el canal en condiciones naturales), flexible (por lo que no es afectado por los cambios de temperatura), no requiere preparación o equipo especial para su colocación, no se pudre ni lo atacan las sustancias ácidas o las sales, es de espesor uniforme y completamente impermeable.

Desventajas: Es difícil mantenerlo en su sitio, se corta fácilmente, lo atacan los animales socavadores y el paso del ganado lo destruye, tiene poca duración (dependiendo de la protección que se le dé y el cuidado que se le tenga).

3.- Mampostería.- Este revestimiento se hace con roca o la--

drillo junteado con mortero de cal o cemento Portland. En lugares en que abunda la mano de obra se está usando en grán escala. Es lenta su fabricación pero resulta muy durable.

4.- Madera.- Es una de los primeros procedimientos empleados para disminuir las pérdidas por filtración. Se hace con tablas -- clavadas en el sentido del eje del canal sobre marcos transversales contruidos con la forma final del canal.

Este procedimiento está prácticamente fuera de uso; requiere de mucha madera, es muy costoso, al mismo tiempo su duración es reducida.

5.- Lámina de acero.- Es un revestimiento que se hace con láminas de acero curvas entre sí. Es un revestimiento caro y que -- solo se puede usar en condiciones especiales y en tramos cortos.

Ventajas: Muy impermeable, permite altas velocidades, no lo atacan los animales socavadores ni lo afectan los cambios de temperatura.

Desventajas: Muy caro, necesita buena cimentación y junteo, lo afecta el paso del ganado y es oxidable.

6.- Azolveś.- Este revestimiento se logra haciendo que se depositen los materiales finos que trae el agua en suspensión. En realidad no puede considerarse un revestimiento, pero en canales sin revestir que han estado en uso mucho tiempo se ha encontrado que las pérdidas por filtración van disminuyendo; esto se debe a que los materiales finos han ido tapando los orificios mayores por donde se producía la filtración. Es facilmente erosionable.

7.- Productos químicos (SS-13).- En la investigación hecha para reducir las pérdidas en los canales, se ha visto la posibilidad de hacerlo con productos químicos. Uno de ellos, que es el que más ventajas presenta es el llamado SS-13, que logra la impermeabi

lización por mediación iónica, formando una capa fuertemente adherida de mayor espesor que la que tiene el suelo normalmente. En esta forma la estructura no se altera, pero al mismo tiempo los espacios intergranulares por donde su puede filtrar el agua son disminuidos.

En la actualidad sigue siendo investigado éste y otros productos químicos, pero no se han llevado a la práctica, sobre todo en lo que toca a su uso comercial.

El uso principal del SS-13, puede ser el de sellador de revestimientos de concreto agrietados o para disminuir la filtración en áreas pequeñas de riego, sobre todo cuando se necesita grán cantidad de agua y ésta es costosa.

CAPITULO II. Propiedades del revestimiento de concreto asfáltico.

2.1.- Impermeabilidad.

La impermeabilidad que se obtiene mediante el uso de revestimiento asfáltico, es una propiedad muy importante, ya que permite la reducción de pérdidas por infiltración que pueda sufrir un canal.

Quando se habla de revestimientos impermeables, se hace referencia a estructuras que seguramente son bastante más permeables que el suelo que las rodea.

En lugares en que el agua es muy escasa, las pérdidas por infiltración que pueda sufrir un canal son importantes, sin embargo, según la experiencia que se ha tenido, los canales revestidos con concreto asfáltico muestran pérdidas por infiltración casi nulas, no así con los canales revestidos con concreto hidráulico en que las juntas de construcción son los principales sitios en donde ocurren filtraciones.

En el "Canal Alimentador del Norte", localizado en Mexicali, B.C., las pérdidas que registra el canal, son únicamente por evaporación, representando un gran ahorro de agua. El uso de este canal es para suministro de agua a la población de Mexicali, B.C., así como para el riego de aproximadamente 40,000 hectáreas de tierras cultivables.

En la fig. 2.1. se muestran diferentes valores calculados para revestimiento con concreto asfáltico y para revestimiento con concreto hidráulico, analizando dos tipos de calidades para cada caso. El análisis se hizo para el "Canal Principal Conchos", en Delicias, Chih.

CANAL PRINCIPAL CONCHOS

COMPARACION DE ALTERNATIVAS DE REVESTIMIENTO

CONDICION		FILTRACIONES AHORRADAS POSIBLES (miles de m ³ /año)	
		MINIMAS	MAXIMAS
REVESTIMIENTO DE ALTA CALIDAD	CONCRETO ASFALTICO	341,470	546,769
	CONCRETO HIDRAULICO	338,688	543,987
	DIFERENCIA	2,782	2,782
REVESTIMIENTO DE BAJA CALIDAD	CONCRETO ASFALTICO	340,079	545,378
	CONCRETO HIDRAULICO	307,383	512,682
	DIFERENCIA	32,696	32,696

CONCRETO ASFALTICO DE ALTA CALIDAD	341,470	546,769
CONCRETO HIDRAULICO DE BAJA CALIDAD	307,383	512,682
DIFERENCIA	34,087	34,087

CONCRETO ASFALTICO DE BAJA CALIDAD	340,079	545,378
CONCRETO HIDRAULICO DE ALTA CALIDAD	338,688	543,987
DIFERENCIA	1,391	1,391

FIGURA 2.I.

2.2.- Durabilidad.

La durabilidad está considerada como la resistencia del revestimiento al deterioro tanto por la acción del paso del agua como por el intemperismo. Esto se logra siempre que el agregado pétreo sea durable y la carpeta totalmente impermeable para que la acción del intemperismo sea sólo superficial; por ésto, el revestimiento con concreto asfáltico debe ser poco susceptible a los cambios de temperatura y debe formar una película de espesor adecuado a su consistencia, para que de ésta manera envuelva al agregado protegiéndolo contra la abrasión.

Si la membrana de asfalto que cubre al agregado pétreo es delgada, se vuelve dura y quebradiza, en tanto que si es gruesa, funciona como lubricante destruyendo el acuañamiento y restándole estabilidad. Al mismo tiempo debe permitirse un mínimo de vacíos para evitar la entrada de agua, pues ésta podría inclusive lavar al agregado.

Algunos de los factores que contribuyen a la durabilidad del asfalto son:

Volatilización.- Antiguamente, en la historia de la tecnología del asfalto, se suponía que la volatilización era la principal causa del endurecimiento y de la poca durabilidad, pero investigaciones posteriores demostraron que ésta es sólo una de las facetas del problema. Las pérdidas producidas por la volatilización dependen de la naturaleza y cantidad de los componentes volátiles que contenga el asfalto, y de la temperatura a la que se sujeta.

Oxidación.- Al progresar los estudios sobre los asfaltos se puso en evidencia que el endurecimiento bajo las condiciones de servicio y manejo se debían en parte a la oxidación. Una de las

primeras investigaciones la hicieron Hubbard y Reeve, quienes expusieron cementos asfálticos, asfaltos líquidos y breas en capas de 3.18 mm. de espesor a la luz, al aire y al calor solar durante un año. Sus resultados indican que la oxidación contribuye a aumentar la dureza y el desarrollo de materia insoluble en el asfalto.

Adsorción o absorción por las superficies de la piedra.- Otra causa de endurecimiento y de pérdida de durabilidad de los asfaltos es la adsorción o absorción de algunos componentes del agregado (piedra) usada en la construcción del camino. No se han inventado todavía buenos procedimientos cuantitativos para medir éstos dos factores, pero se ha pensado mucho en ello. La importancia de éste factor con respecto a la durabilidad del asfalto no debe ignorarse.

Rayos actínicos.- Desde 1914, Rosinger invetigó la acción de la luz sobre películas delgadas de asfaltos sin tratamiento que se habían depositado evaporando benceno, cloroformo y otras soluciones. Encontró que los asfaltos, después de una exposición a la luz, se hacían insolubles en éstos solventes.

2.3.- Flexibilidad.

El concreto asfáltico debe apoyarse sobre una base firme y homogénea, con el fin de evitar deformaciones excesivas que propicien la formación de grietas y fisuras. El concreto asfáltico es flexible, aunque tiene ciertas limitaciones. Siendo la base de apoyo firme y homogénea, además de tener una gran capacidad de carga, la flexibilidad pasa a un plano secundario, aunque no por esto se dejará de hacer la prueba necesaria para verificar esta propiedad (prueba descrita en el capítulo V).

La flexibilidad del revestimiento de concreto asfáltico, deberá ser suficiente para resistir sin agrietarse las deformaciones normales de la base de apoyo. Estas deformaciones son causadas por el flujo que tenga el canal y son transmitidas al terreno natural por la base de apoyo. La capacidad de flexión del revestimiento - está en función de la calidad y espesor del mismo. Si éste es delgado, se intemperiza rápidamente perdiendo ductilidad y propiedades cohesivas. De la misma manera, el agregado pétreo es determinante, ya que un concreto con granulometría abierta presenta pocos puntos de contacto entre sus partículas concentrando en éstas las cargas que producen su rompimiento, no así en un concreto asfáltico de granulometría cerrada en que los puntos de contacto entre partículas son múltiples, logrando la distribución de cargas y permitiéndole que se adapte a una deformación mayor.

2.4.- Estabilidad en el talud.

La estabilidad en el talud es una de las propiedades fundamentales en el diseño de las mezclas. Para evaluar ésta propiedad, es necesario reproducir en el laboratorio las condiciones aproximadas que tendrá el revestimiento en el lugar, mediante una prueba llamada fluencia en el talud (E. de F.) descrita en el capítulo V.

La estabilidad es la resistencia del revestimiento a deformaciones provocadas por el flujo, como desplazamientos laterales (-depresiones, ondulaciones o surcos).

Esta resistencia está en función de la cohesión y la fricción interna combinadas. La primera se logra mediante la buena dosificación del asfalto y la segunda con una correcta granulometría del agregado pétreo que da lugar a un buen acunamiento mecánico.

2.5.- Resistencia a la erosión.

Una propiedad evidente e intrínseca del concreto asfáltico deno es su resistencia a la erosión. Para ejemplificar, en las figs. 2.2.y2.3. se presenta el caso del Río Santana (cerca de Anaheim, California, EUA), en donde fueron protegidas con concreto asfáltico las márgenes contra la erosión producida por las crecientes. El cemento asfáltico utilizado fué de 85/100 grados de penetración y el revestimiento se construyó en una sola capa de unos 7 cm. de espesor, directamente sobre el terreno natural. Abajo del revestimiento se colocó una malla de acero para darle continuidad al concreto asfáltico. El sistema utilizado fué el de tendido transversal. Con motivo de observación, en otro lugar al cercano al Río Santana, se protegieron también las márgenes con un revestimiento de concreto hidráulico, pero debido a la rigidez de éste concreto, se movieron muchas losas, se tuvieron además muchos problemas por socavación. Con el concreto asfáltico los problemas se nulificaron salvo en un tramo muy localizado en donde se presentó una falla local (ver fig. 2.3.).

En la misma fig. (2.3.) , se puede observar una de las ventajas del concreto asfáltico, esto es, no se destruye totalmente, se adapta a los movimientos del terreno. En el caso que se observa, se presentó un problema de subpresión así como de socavación, debido principalmente a que el concreto asfáltico está colocado directamente sobre el terreno natural en los taludes (protegiendo únicamente las márgenes).



Figura 2.2.- Revestimiento de las márgenes del Río Santana para fines de protección contra erosión.



Figura 2.3.- Revestimiento en el Río Santana. Nótese la malla que une las partes dañadas.

2.6.- Economía.

Se ha demostrado mediante estudios económicos completos, en que se incluyen costos de construcción, vida útil, reparaciones - mayores, conservación, y en general todos los factores que influyen en el costo de este tipo de revestimiento, comparándolo con el revestimiento de concreto hidráulico, que la mejor alternativa para revestimiento de un canal es la de revestimiento de concreto asfáltico.

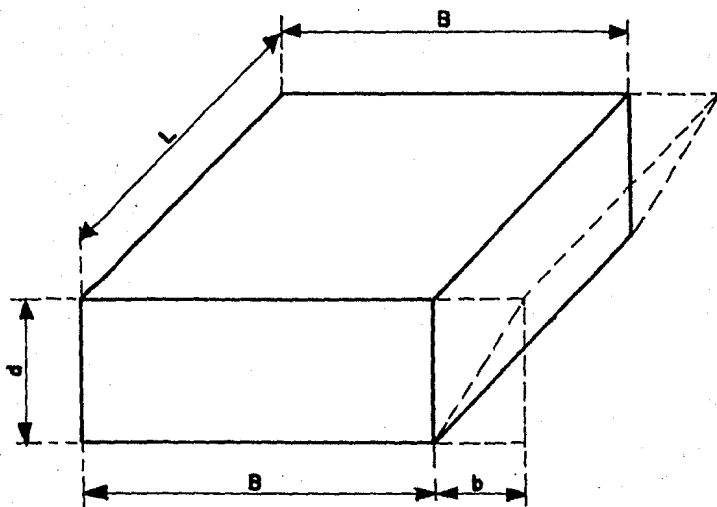
Con el revestimiento de concreto asfáltico, se tienen menores posibilidades de falla. Los tramos en que se presente falla, simplemente se cortan y se repone la parte fallada. En el concreto hidráulico, existe demasiada rigidez y no es tan adaptable a los - movimientos del terreno, por lo que el costo de reparaciones mayores es más alto que en el caso del concreto asfáltico. Se tiene - conocimiento de canales que tienen más de 25 años de servicio, a los que no ha sido necesario darles algún tratamiento.

CAPITULO III.- Dimensionamiento del revestimiento.

3.1.- Concepto de pérdida unitaria por infiltración.

La pérdida unitaria por infiltración "R", nos mide el grado de impermeabilidad requerida en un revestimiento. En una sección rectangular, la pérdida unitaria "R", está dada por el gasto de infiltración "Qf" (ya corregido por evaporación), dividido entre la superficie libre del agua "BL" y entre el tirante "d". Sus unidades se pueden expresar en metros cúbicos por día, en metro de tirante, o en la unidad más comunmente usada: ¿Cuántos centímetros o milímetros por metro de tirante por día se pierden?. Para el caso de tener una sección trapecial, es necesario que se considere el efecto de los taludes, mediante su proyección horizontal "b". La longitud del tramo de canal considerado es "L" y el ancho de la plantilla es "B". fig. 3.1..

PERDIDA UNITARIA POR INFILTRACION



$$R = \frac{Q_f}{B L d} ; \frac{\frac{m^3/dia}{m^2}}{m} = \frac{m}{m} / dia$$

SECCION
RECTANGULAR

$$R = \frac{Q_f}{B d L}$$

SECCION
TRAPECIAL

$$R = \frac{Q_f}{(B+b)dL}$$

FIGURA 3.I.

3.2.- Estanques de prueba en tramos reales de canal.

Mediante el uso de estanques como el que se muestra en la -- fig. 3.2., se determinan los gastos de filtración, haciendo una gráfica nominada "Volúmenes acumulados-tiempo", hasta establecer el flujo. Con las fórmulas mostradas en la fig. 3.1., se calcula la - pérdida unitaria "R".

Las dimensiones de los estanques de prueba, deben ser las mismas que las del canal, pudiendo fluctuar su longitud entre los 50 y 200 m., según sea el diseño. Es necesario colocar tapones en ambos extremos del estanque para evitar que el agua salga de éste. Los tapones se deben impermeabilizar (generalmente con polietileno) evitando así la infiltración del agua antes mencionada y reduciendo el efecto de frontera.

La importancia de realizar pruebas en estanques situados en tramos reales de canal, radica en que el comportamiento de éste - nos dará valores muy exactos que se acercarán mucho a la realidad, ya que los materiales, condiciones del suelo, clima etc., son factores que difícilmente se podrían reproducir en modelos de laboratorio.

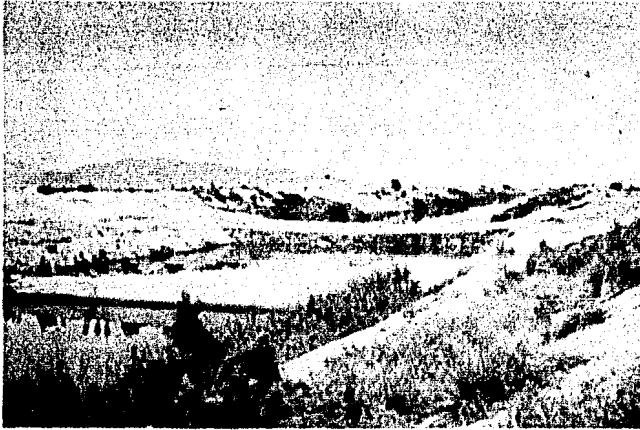


Figura 3.2.- Estanque de conexión en el Distrito de Riego
Río Colorado, B.C..

3.3.- Comparación de pérdidas unitarias en diferentes condiciones.

En la Tabla 3.1., se presenta un resumen de los resultados - que se obtuvieron a partir de estanques de prueba construidos en el Distrito de Riego Río Colorado, B.C., desde los suelos muy permeables (arenas limpias, arenas limosas) con 0.5 a 0.8 m/m/día - hasta valores de 0.002 a 0.005 m/m/día, en los suelos muy impermeables (arcillas); en la zona arcillosa "progreso", por ejemplo, se obtuvieron valores de éste orden: 0.005m/m/día, y en el canal Sánchez Mejorada, revestido con suelo arcilloso compactado de baja plasticidad, se obtuvieron valores de 0.002 m/m/día. Esta cifra (R) es interesante ya que nos permite comparar las pérdidas unitarias en diferentes situaciones con lo que podemos fijar valores para fines de proyecto, independientemente de que el revestimiento sea de concreto asfáltico, de concreto hidráulico o suelo compactado. Por consiguiente, la pérdida unitaria (R) debe gobernar el proyecto del revestimiento en un canal.

En el caso del revestimiento con concreto hidráulico, se han obtenido valores promedio de "R" cercanos a 0.005m/m/día, en el canal Friant Kern (EE.UU.), obteniendo ahí el mismo valor para el caso de revestimientos "gruesos" de suelo compactado. En francia, ésta cifra ha llegado a valores de 0.001 a 0.002 m/m/día en canales revestidos con concreto asfáltico. En el Distrito de Riego -- Río Colorado, B.C., se han obtenido valores medios de "R" en canales revestidos con concreto hidráulico de 0.005 m/m/día o ligeramente mayores a partir de estanque de prueba. En el canal Sánchez Mejorada, revestido de suelo arcilloso compactado de baja plasticidad, se obtuvo una pérdida unitaria "R" de 0.002 m/m/día como se mencionó anteriormente.

VALORES DE LA PERDIDA UNITARIA "R" RECOMENDADOS
PARA DIFERENTES SUELOS EN EL DISTRITO
DE RIEGO RIO COLORADO, B.C.

TIPO DE SUELO PREDOMINANTE (SUCS)	PERDIDA UNITARIA "R" (m/m/día)
<u>Suelos muy impermeables.</u>	
- Arcillas de alta plasticidad, de consistencia firme a dura (CH).	0.002 a 0.05
- Arcillas compactadas de baja plasticidad, de consistencia firme a dura (CL).	
<u>Suelos impermeables.</u>	
- Arcillas limosas de baja plasticidad, de consistencia blanda a firme (CL).	0.05 a 0.10
- Limos arcillosos de baja compresibilidad, semi-compactos a muy compactos (ML).	
<u>Suelos semi permeables.</u>	
- Limos arcillosos con intercalaciones de arenas limpias, de sueltos a compactos (ML).	0.10 a 0.20
<u>Suelos permeables.</u>	
- Arenas arcillosas, de sueltas a semi-compactas (SC).	0.20 a 0.50
- Arenas limosas con intercalaciones de limos arcillosos, de sueltas a compactas (SM).	
<u>Suelos muy permeables.</u>	
- Arenas limosas, de muy sueltas a semi-compactas (SM).	0.50 a 0.80
- Arenas limpias mal graduadas (SP).	

TABLA 3.1.

3.4.- Criterio básico de diseño para dimensionar el revestimiento.

En la fig. 3.3. se presenta la correlación entre la pérdida unitaria "R", el coeficiente de permeabilidad "k" y el espesor "e" de la capa impermeable en el revestimiento. La ecuación $k=Re$ nos sirve para dimensionar racionalmente en forma práctica el revestimiento. Podemos variar el espesor "e" y el coeficiente de permeabilidad "k" a nuestro criterio dentro de valores prácticos, teniendo fijo el valor de "R".

La representación gráfica de la ecuación $k=Re$, se ilustra en las figs. 3.4. (curvas) y 3.5. (nomograma).

Ejemplo del uso del nomograma:

Si fijamos la pérdida unitaria $r=5$ mm/m/día y unimos con el espesor, por ejemplo: $e=4$ cm., podemos obtener un coeficiente de permeabilidad teórico : $k=0.0002$ m/día = 2.3×10^{-9} m/seg., debiendo ajustar éste valor a la realidad, según sea el caso, la experiencia, valores estadísticos, etc.

La fórmula utilizada se deduce a partir de $Q_f = R(B+b)dL$ ----
(United States Bureau of Reclamation)(USBR) y de $Q_f = Ak_i = (B+b) Lk \frac{d}{e}$ ----(Darcy).

RELACION ENTRE EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k) Y LA PERDIDA UNITARIA (R)

$$Q_f = R(B+b)dL \text{ (USBR)}$$

$$Q_f = AkI = (B+b)Lk \frac{d}{e} \text{ (Darcy)}$$

$$k = Re$$

FIGURA 3.3.

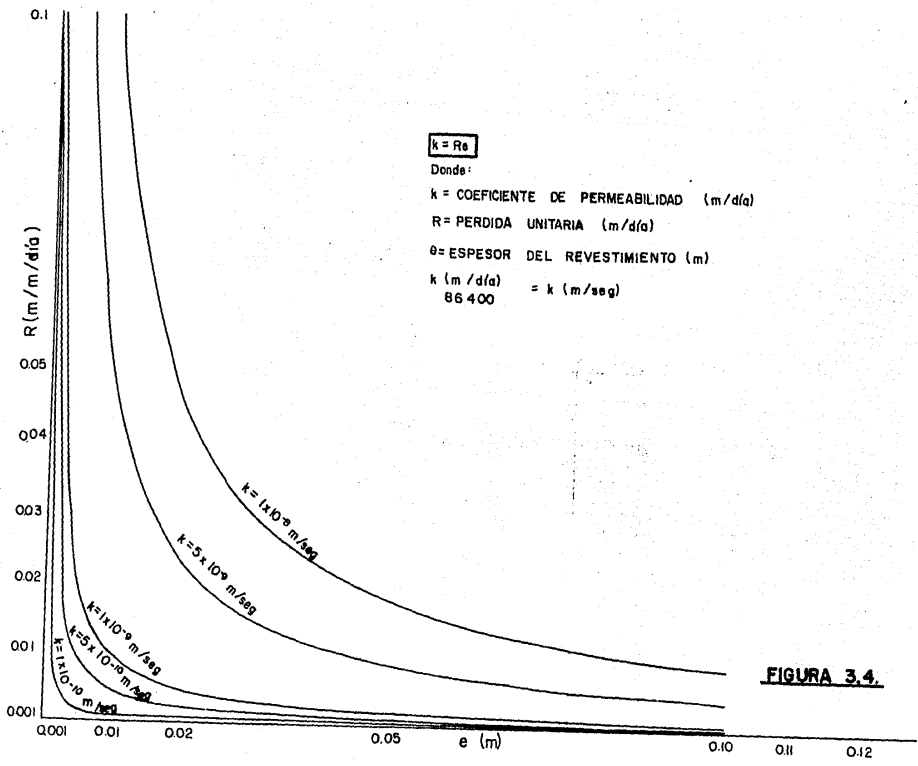
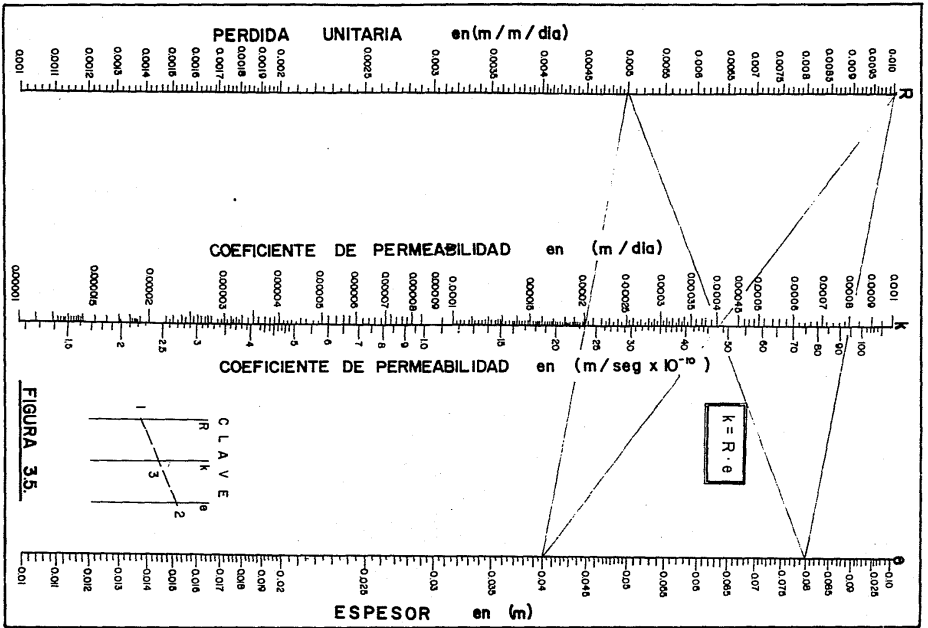


FIGURA 3.4.



CAPITULO IV.- Requisitos fundamentales por satisfacer.

4.1.- Asegurar que las filtraciones sean menores que las consideradas como admisibles.

Para ésto es necesario relacionar los conceptos de Espesor, Coeficiente de permeabilidad y Pérdida unitaria por infiltración mediante la siguiente expresión:

$$k = R e$$

En donde:

k= Coeficiente de permeabilidad de la capa impermeable, en m/día.

e= Espesor de la capa impermeable, en m.

R= Pérdida unitaria por infiltración, en m/m/día (lámina de agua infiltrada/tirante del canal/día.

Para fines de proyecto se puede asignar a R un valor medio de 0.005 m/m/día.

4.2.- Evitar la formación de grietas y fisuras.

Al evitar la formación de grietas y fisuras en la capa impermeable, se garantiza la impermeabilidad exigida por el requisito primero.

Esto se logra mediante:

a) Una base de apoyo firme y homogénea que absorba los movimientos diferenciales del terreno de sustentación.

b) Aumento en la fricción interna del concreto asfáltico que reduzca al mínimo el flujo plástico en el talud, aumentando así al máximo, la estabilidad en el talud.

c) Una mezcla suficientemente plástica y manejable durante su compactado para lograr la flexibilidad y la compacidad previstas, compatibles con la rigidez del concreto asfáltico exigida por la estabilidad en el talud.

La experiencia ha demostrado que la correcta ejecución de un revestimiento asfáltico impermeable es función directa de la calidad de la base de apoyo, con un sistema eficiente de subdrenaje. La máxima calidad de ésta base corresponde a la asfáltica con grava semitriturada.

4.3.- Asegurar la adherencia de los agregados con el cemento asfáltico.

Se debe asegurar la adherencia de los agregados con el cemento asfáltico para que la impermeabilidad del concreto asfáltico se mantenga durante la vida económica asignada al revestimiento. Este requisito se refiere a la durabilidad del concreto asfáltico.

Mientras mayor sea la basicidad de los agregados (B_a) y los contenidos de cal (C_c) y de triturado (C_t) en las mezclas, la adherencia con el cemento asfáltico se incrementa notablemente. Desde el punto de vista "durabilidad del concreto asfáltico", son preferibles los cementos asfálticos blandos (mayor penetración, 85/100 grados) que los duros (menor penetración 40/50 grados) porque necesitan más tiempo para endurecerse (oxidarse). La dureza del cemento asfáltico debe seleccionarse según la temperatura del medio ambiente esperada, el contenido de triturado máximo y en fin, la relación beneficio-costo actualizado que convenga a la economía de la obra. En general es más recomendable el cemento asfáltico 60/70 en los taludes que el 85/100 por razones de estabilidad principalmente.

El concreto asfáltico utilizado para revestimiento de canales, debe componerse de agregados pétreos resistentes y bien graduados con tamaño máximo no mayor a 18mm y contener la máxima cantidad de asfalto compatible con una elevada estabilidad. En la tabla 4.1.se indican dos granulometrías recomendadas.

El asfalto debe tener una penetración no inferior a 60 ni superior a 100, prefiriéndose asfaltos del tipo 60-70. Las mezclas fabricadas empleando los asfaltos más duros presentan mayor resistencia al crecimiento de la vegetación, al agrietamiento por lodo,

al desplazamiento y al descuelgue. Son menos perjudicadas por los cascos de los animales y menos susceptibles a los cambios de temperatura, resistentes y duraderas incluso sometidas a climas extremados.

MEZCLA NUMERO	I	II
Espesor mínimo	1 1/2 pulgadas	1 pulgada
Porcentaje que pasa		
3/4" tamiz	100	-
1/2" tamiz	95-100	-
3/8" tamiz	-	100
Numero 4 tamiz	60-80	90-97
Numero 8 tamiz	43-58	70-83
Numero 50 tamiz	22-32	30-38
Numero 100 tamiz	16-24	20-28
Numero 200 tamiz	8-15	10-16
Betun asfaltico	7-9	8-10

TABLA 4.1.

CAPITULO V.- Pruebas de laboratorio para fines de diseño de la mezcla asfáltica.

5.1.- Permeabilidad tipo AIX (Electricité de France).

La prueba de permeabilidad tipo AIX (Electricité de France) sirve para determinar el coeficiente de permeabilidad "k" como se ilustra en la fig. 5.1. . Para diferentes condiciones de compactación "c", presión "p" y temperatura "T", se obtienen correlaciones entre permeabilidad y compactación, que corresponden a una mezcla con granulometría dada y contenido de cemento asfáltico fijo. Partiendo del origen hacia la izquierda, se va haciendo más impermeable una mezcla y hacia la derecha, va aumentando la presión con que se fabrica la probeta o se compacta el concreto asfáltico. En el eje vertical tenemos representada la porosidad "n" (volumen de vacíos entre volumen total) o la compactación "C" (volumen de sólidos entre volumen total); a medida que vamos descendiendo en la escala, obtenemos valores más pequeños de porosidad. Según la temperatura, también cambian las propiedades de permeabilidad. Para un valor dado del coeficiente de permeabilidad se puede fijar la temperatura y la presión más convenientes. En general, se recomienda una temperatura de compactación de 140° C, una presión de rodillado de 15 Kg/cm², una porosidad de 3 % (correspondiente a una compactación de 97 %) y un coeficiente de permeabilidad menor de 1×10^{-9} m/seg.

RELACION ENTRE PERMEABILIDAD Y COMPACIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS

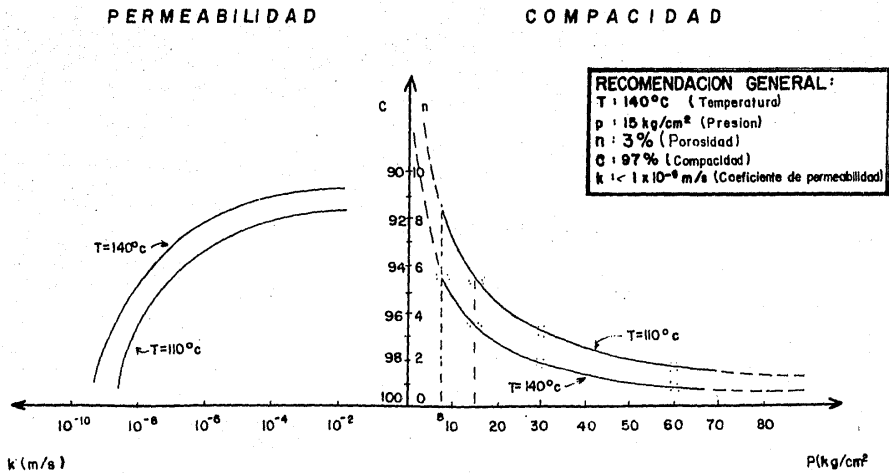


FIGURA 5.1.

5.2.- Fluencia en el talud (E. de F.)

La prueba de fluencia en el talud (E. de F.) consiste en : - fijar una placa con el talud real, pegarle una pastilla de concreto asfáltico con el espesor de proyecto, mantenerle una temperatura constante (60 a 70° C), permitirle el calor continuo durante 7 u 8 días y observar la evolución de la gráfica Fluencia (lo que va escurriendo la pastilla) -Tiempo, según se ilustra en la fig. 5.2. . Cuando la gráfica no se hace asintótica, sino que se va abriendo, la mezcla debe desecharse inmediatamente; si la gráfica tiende a ser asintótica, principalmente entre el 2º y 7º día, la mezcla es aceptada. El criterio de aceptación adoptado por Electricité de France (E. de F.), es que la fluencia entre el 2º y el 7º día debe ser menor o igual a 10 centésimos de mm ($f_2^7 \leq 10/100$ mm).

Una forma de aumentar la estabilidad en el talud es dando mayor fricción interna al concreto asfáltico a base de triturado de los agregados.

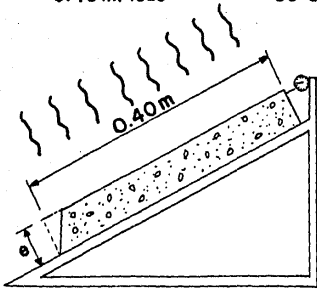
En la fig. 5.3. podemos observar algunas de las pruebas iniciales efectuadas en el laboratorio de Mexicali, B.C.. La pastilla de la derecha corresponde al 100 % de triturado y no fluyó ($f_2^7 = 0$) y la de la izquierda, con nada de triturado, fluyó ($f_2^7 \leq 10/100$ mm). Las otras pastillas corresponden a casos intermedios. En la fig. 5.4. se muestra un caso de "cero" triturado.

En las figs. 5.5.a 5.8. se ilustra la fabricación de las pastillas. Las primeras se hicieron con una carga estática y después - mediante rodillos, notándose un efecto benéfico con éste último - procedimiento por el amasado producido.

ESTABILIDAD EN EL TALUD

Placa cuadrada:
0.40 m. lado

Temperatura:
60 a 70°C



CONDICION: $f_2^7 \leq 10/100\text{mm}$

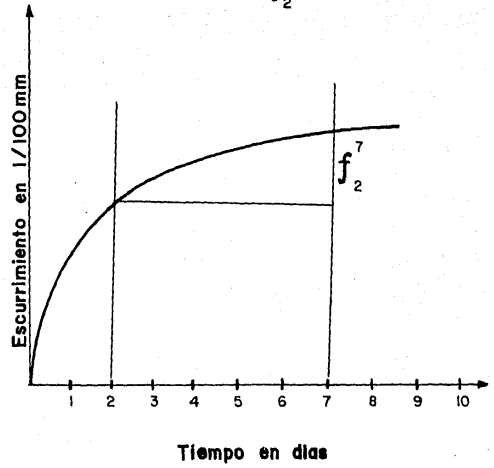


FIGURA 5.2.

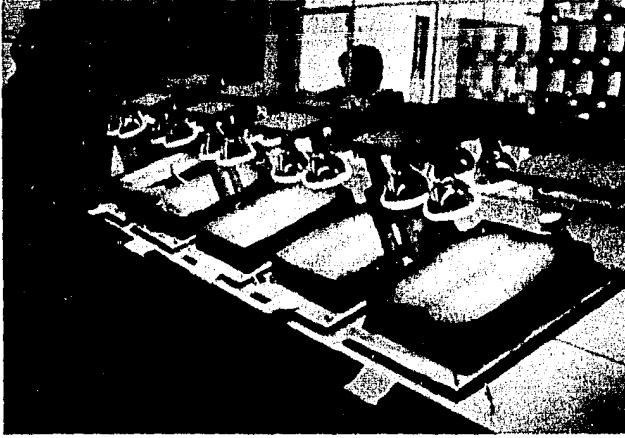


Figura 5.3.- Prueba de estabilidad en el talud.

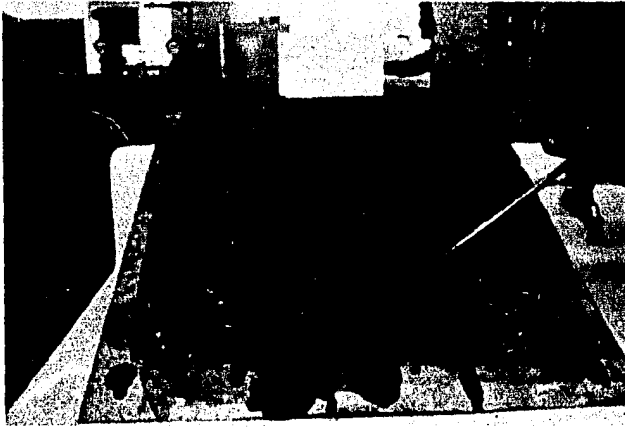


Figura 5.4.- Caso de "cero" triturado.

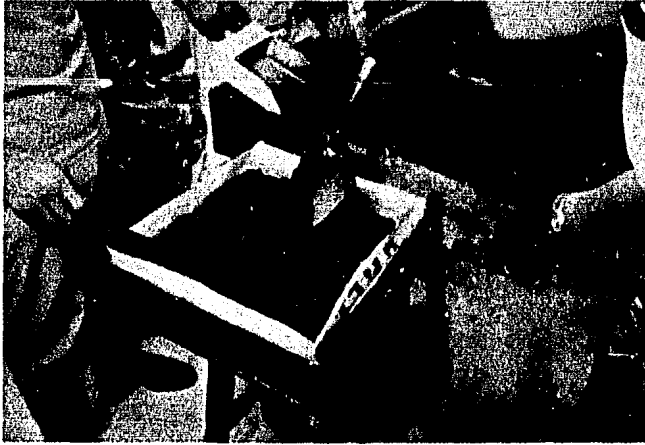


Figura 5.5.- Acomodo de una mezcla en el molde para pastilla de estabilidad en el talud.

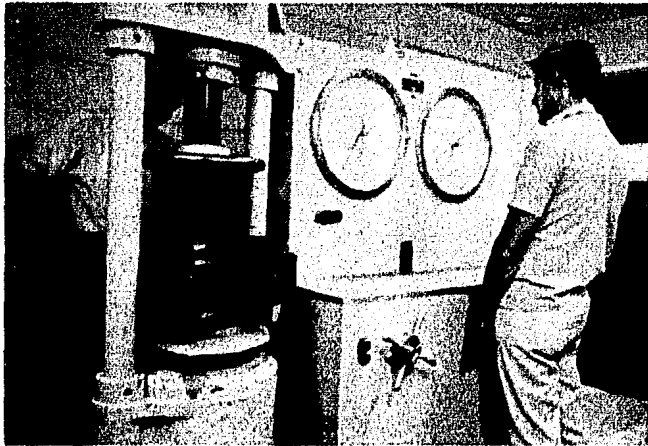


Figura 5.6.- Aplicación de una carga estática en la pastilla para estabilidad en el talud.

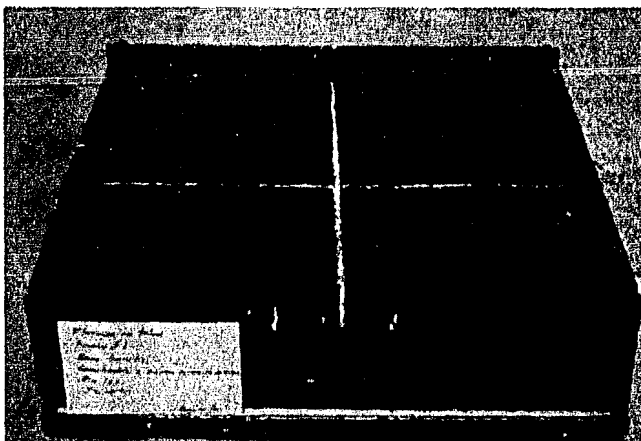


Figura 5.7.- Pastilla elaborada para estabilidad en el talud.

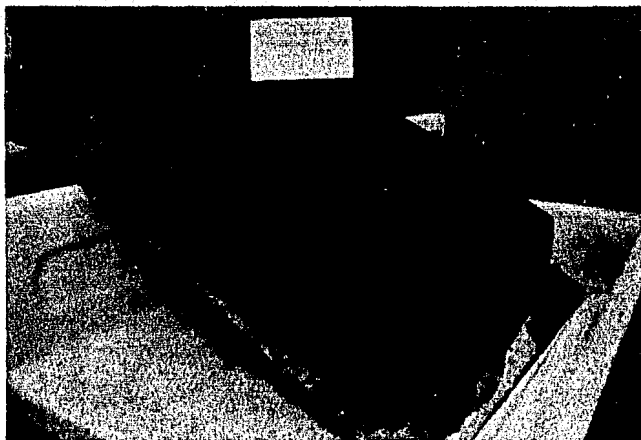


Figura 5.8.- Pastilla pegada con resina epóxica al plano inclinado en la prueba de estabilidad en el talud.

5.3.- Inmersión-Compresión (Duriez).

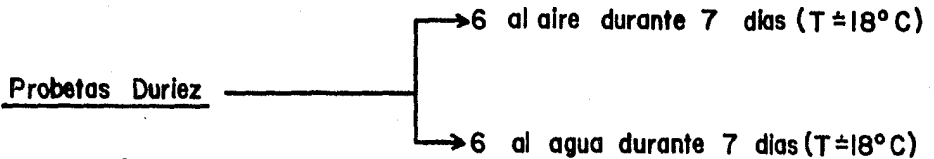
La prueba de Inmersión-Compresión (Duriez), consiste básicamente en fabricar 12 especímenes, dejando 6 de esos 12 al aire y los otros 6 en el agua durante un tiempo determinado (7 días), a una temperatura de aproximadamente 18° C, haciéndoles después pruebas de resistencia a la compresión simple y comparándolas. Para esta prueba es necesario utilizar las probetas Duriez (50 cm³ de sección transversal) con las características que se indican en la --- fig. 5.9. . Condiciones: La resistencia a la compresión simple (qc) - de las probetas que estuvieron en el agua (r) entre la resistencia a la compresión simple de las probetas que estuvieron al aire (R) debe ser mayor de 0.9, es decir, la pérdida de resistencia por saturación debe ser menor del 10 % si se trata de un concreto asfáltico denso. Cuando se trata de un concreto asfáltico poroso, la -- relación $r/R \geq 0.8$.

La adherencia se mejora notablemente al aumentar el contenido de triturados o al añadir algunas sustancias como la cal, o mediante la aplicación de aditivos.

En las figs. 5.10.a 5.13.se ilustran algunas etapas de la prueba de adherencia Duriez, en el laboratorio.

ADHERENCIA

(PERDIDA DE RESISTENCIA POR SATURACION)



T: 110°C

P: 8 Kg/cm²

n: >8%

v: 1 mm/min.

CONDICIONES:

A) CONCRETO ASFALTICO DENSO:

$$\frac{q_c \text{ (agua)}}{q_c \text{ (aire)}} = \frac{r}{R} \geq 0.90$$

B) CONCRETO ASFALTICO POROSO:

$$\frac{q_c \text{ (agua)}}{q_c \text{ (aire)}} = \frac{r}{R} \geq 0.80$$

FIGURA 5.9.

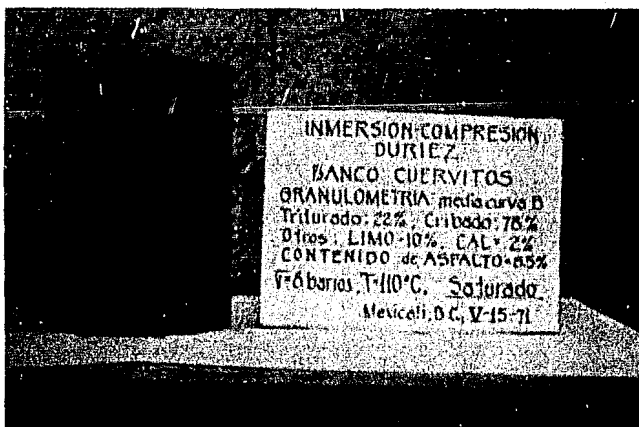


Figura 5.10.- Probeta Duriez antes de la saturación.



Figura 5.11.- Probeta Duriez después de la saturación.

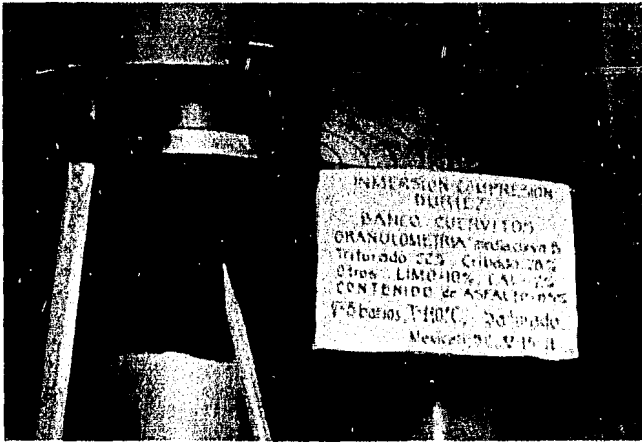


Figura 5.12.- Probeta Duriez saturada durante la compresión simple.

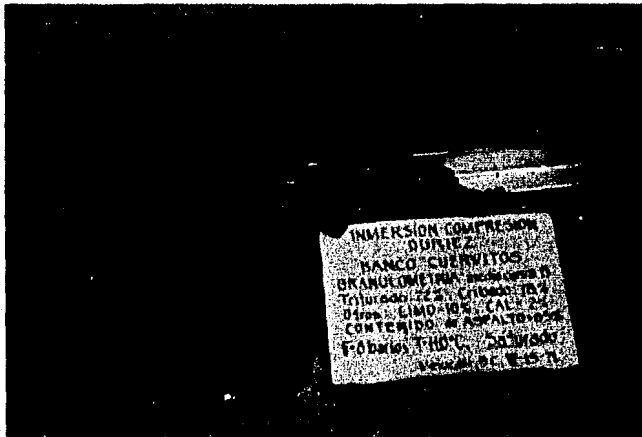


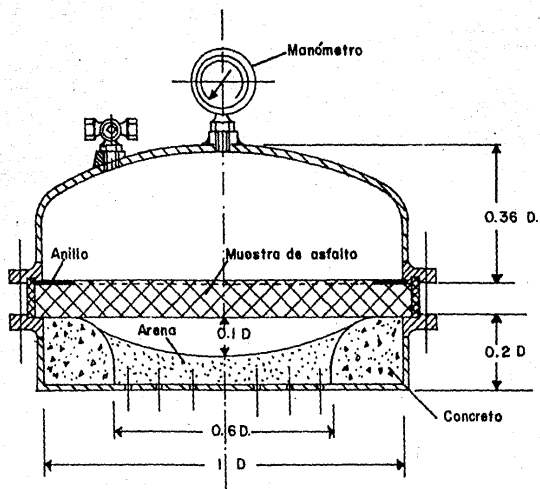
Figura 5.13.- Probeta Duriez saturada después de la compresión simple.

5.4.- Flexibilidad.

Los recubrimientos de revestimiento asfáltico impermeable sujetos a compresión, deben guardar su impermeabilidad aún cuando se produzcan deformaciones. Para verificar ésta condición, se deberán aplicar pruebas de flexibilidad. Entre las pruebas más usuales se encuentran las dos siguientes:

1.- La primera consiste en sujetar una muestra circular de mezcla compactada alrededor de un aro de acero entre las partes superior e inferior del aparato mostrado en la fig. 5.14. y apoyado en el perímetro de una circunferencia de una superficie de concreto. El espacio debajo de la probeta deberá estar parcialmente lleno de arena y reposará sobre una base perforada. Este relleno parcial toma la forma de un platillo, donde la profundidad es igual a una décima parte del diámetro del aparato. La presión hidráulica aplicada progresivamente a la superficie de la probeta de ensayo, provocará una deformación que la probeta deberá ser capaz de soportar sin sufrir fisura alguna.

2.- La segunda prueba consiste en fabricar una losa de 75 cm. de largo, 40 cm. de ancho y con el espesor de diseño de la capa impermeable, apoyándola libremente en sus extremos y permitiendo que se flexione a una temperatura ambiente de 20°C. La flecha máxima admisible es de 1.5 cm. (2% del claro) sin la presencia de fisura alguna.



Flexibilidad tipo AIX

FIGURA 5.14.

5.5.- Estabilidad Marshall (Asphalt Institute).

Este método para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obras de las mezclas en que se encuentran betún asfáltico y agregados cuyo tamaño máximo no exceda de 1 pulgada. Las características principales del método son el análisis densidad-huecos y los ensayos de estabilidad y fluencia sobre probetas de mezcla compactada.

Se deben preparar probetas de 2 1/2 in. (6.35cm.) de espesor y 4 in. (10 cm.) de diámetro, mediante procedimientos especificados, compactándolas por impacto. La densidad y huecos de la probeta compactada se deberán determinar, calentando a continuación la muestra en la probeta a 60°C para realizar los ensayos Marshall de estabilidad y fluencia. La probeta se coloca entre unas mordazas especiales indicadas en la figura 5.15, y se carga imponiéndole una deformación de 5 cm/min. La Estabilidad Marshall de la probeta, será la carga máxima registrada durante el ensayo, en libras. La deformación producida desde el principio de la aplicación de la carga hasta que ésta ha alcanzado su valor máximo es la fluencia de la probeta que generalmente se expresa en centésimas de pulgada. Se deberán preparar una serie de probetas con contenidos de asfalto variables por encima y por debajo del óptimo estimado, ensayándolas por el método descrito. Usualmente se preparan tres probetas por cada contenido de asfalto.

Los datos obtenidos de ésta manera se emplean para establecer el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y para determinar algunas de sus características físicas.

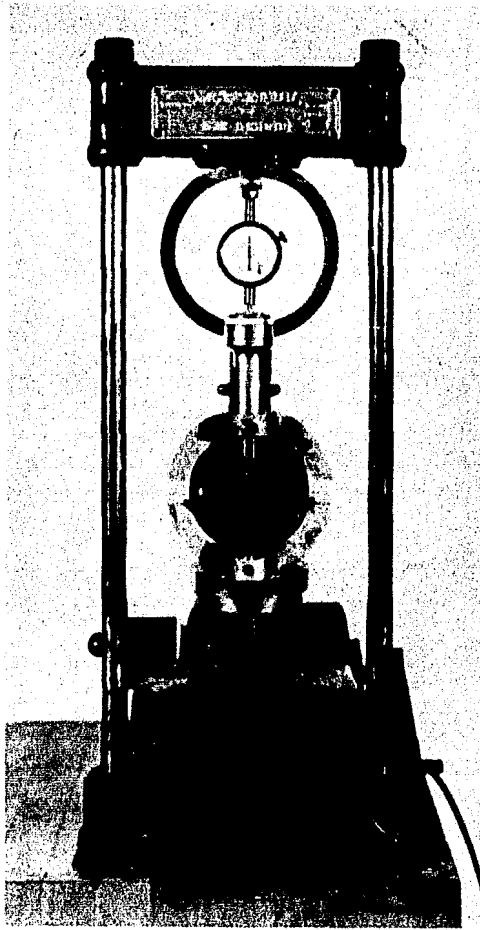


Figura 5.15.- Prueba de estabilidad Marshall.

CAPITULO VI.- Procedimiento de construcción.

6.1.- Recorte y afine de terracerías.

La preparación de la faja de derecho de vía es parecida en la construcción de los diferentes tipos de revestimientos asfálticos. El derecho de vía debe ser suficientemente amplio para poder incluir la sección del cauce y permitir la construcción de caminos de acceso paralelos al cauce en ambos lados. Es necesario prever el espacio que servirá para almacenar materiales y estacionar equipo. Para el derecho de vía se deberá desmontar todo cultivo, hierbas, árboles y toda clase de vegetación. Para arrancar la maleza, así como para desmontar las plantas más grandes, se podrán utilizar tractores con cuchillas empujadoras (bulldozers). Después de la remoción de la vegetación en pie, el área de trabajo del derecho de vía se debe limpiar completamente de material vegetal, incluyendo las raíces, para prevenir crecimiento futuro a través del revestimiento.

Se usan numerosos métodos y diversos tipos de equipo en la excavación del canal. Los que deberán usarse quedan determinados por el tamaño del canal y la disponibilidad de equipo del contratista. Si el canal es suficientemente grande, se pueden usar escrapas o dragas. Los canales pequeños se pueden excavar usando motoconformadora. El equipo de excavación debe ser capaz de excavar una sección que se aproxime lo más posible a las líneas finales, para que la máquina afinadora no se sobrecargue. Las excavaciones con zanjeadoras de cangilones son económicas en canales largos de sección constante.

El uso de una pieza específica no se puede recomendar como óptimo ya que el equipo que se deberá usar lo selecciona el contratista para que se ajuste a las necesidades de cada proyecto.

Se requiere relleno compactado debajo del revestimiento de un

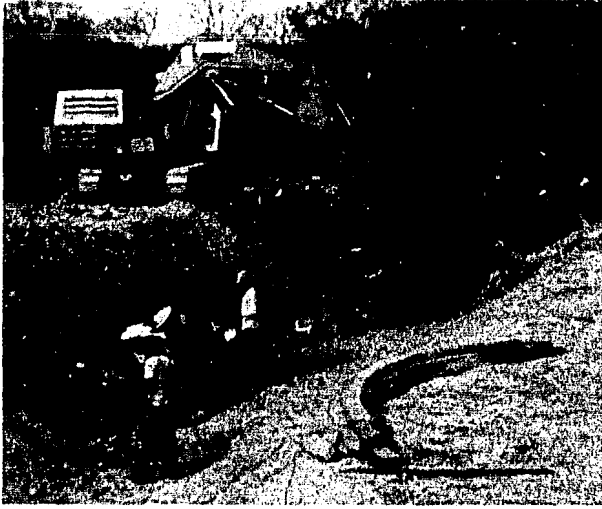


Figura 6.1.- Afine de talud con retroexcavadora.



Figura 6.2.- Afine de talud con motoconformadora.

canal para suministrar soporte adecuado. El ancho del terraplén compactado usualmente se limita en el diseño a un mínimo, lo que origina dificultades en la construcción. Se han hecho varias investigaciones para tratar de encontrar los métodos más viables de construcción.

Para usar equipo normal o grande en la obra, se debe construir una sección más grande de la que muestran los planos de diseño, teniendo como consecuencia que se colocan y compactan cantidades extra de material. Se puede utilizar mano de obra si los salarios son suficientemente bajos para justificar su uso, sin embargo, la consolidación requerida es difícil de alcanzar con herramientas de mano.

El afine consiste en excavar la sección tosca del canal hasta llegar con exactitud a las líneas y niveles finales. El afine se puede efectuar con tolerancias relativamente rigurosas con equipo de uso común como las motoconformadoras. En la mayoría de los casos, el equipo que se usa para construir canales revestidos con concreto hidráulico, también se puede usar para la construcción de canales revestidos con concreto asfáltico. En canales pequeños se ha logrado preparación satisfactoria de la subrasante, usando zanjeadoras de tipo de arado, jaladas por uno o dos tractores.

6.2.- Tratamiento esterilizante.

Un problema de mucha importancia en todo tipo de revestimiento asfáltico de canales, es que hierbas y plantas como tules, espadañas y sauces pueden penetrar y perjudicar los revestimientos. Las condiciones que favorecen el crecimiento de hierbas en revestimientos asfálticos son: (1) contaminación de la subrasante del canal con semilla o raíces en el momento de la colocación del revestimiento; (2) humedad en la subrasante que permite la germinación, o el crecimiento de raíces; y (3) temperatura del aire o del revestimiento favorables para el crecimiento de las plantas, sostenida por períodos apreciables. Como es probable que éstas condiciones aparezcan, se necesitan tomar medidas para control de hierbas.

Usualmente el único método práctico de control de hierbas es el uso de un producto esterilizador del suelo. Cuando hay vegetación presente, que por lo general es el caso cuando se revisten canales existentes, la vegetación se debe retirar completamente antes del tratamiento.

El esterilizante que se deberá usar, debe ser un compuesto que permanezca efectivo por un extenso período y que ataque raíces, semillas y vegetación. Se han probado varios materiales para esterilizar, incluyendo cloruros, boratos y arsenatos.

En el mercado se venden como esterilizantes algunos compuestos químicos, con variedad de nombres y marcas. Cada producto lleva las recomendaciones del fabricante en lo que se refiere a cantidad, proporciones y métodos de aplicación. Los factores que se deben considerar al escoger un esterilizante son: efectividad, costo, cantidad requerida, riesgo de contaminación y efecto en el revestimiento. Los esterilizantes preferidos son compuestos de bo

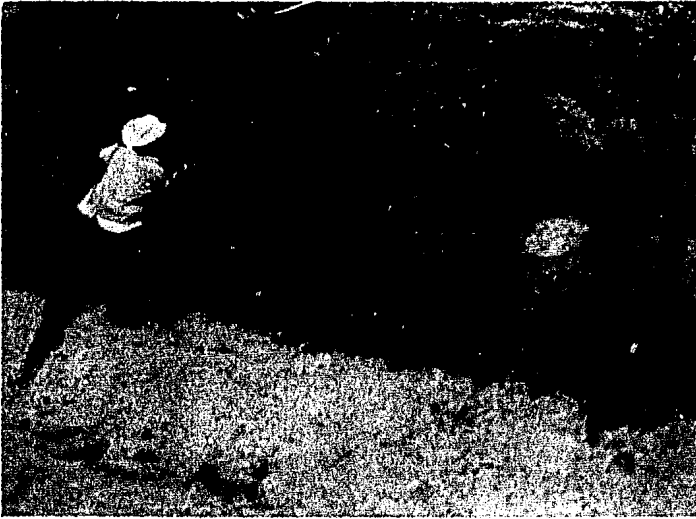


Figura 6.3.- Esterilización en taludes.

ro (principalmente borax y ácido bórico) que se usan junto con clo-
ratos. Los boratos tienden a lixiviarse (solubilizarse ante la ac-
ción de un disolvente) lentamente y por lo tanto permanecen efec-
tivos por un tiempo relativamente largo.

Para aplicar la solución se usa un aparato rociador de baja
presión equipado con tanque y bomba. Se debe tener cuidado para -
asegurarse que las presiones no sean demasiado altas ni que los -
volúmenes aplicados sean tan grandes que prevengan la fácil absor-
ción por el suelo de todo el esterilizante aplicado.

6.3.- Construcción de la base de apoyo.

La subrasante es la parte del fondo y taludes de un canal sobre la que se coloca el revestimiento asfáltico. Los requisitos para la subrasante generalmente son los mismos, no importa el tipo de revestimiento que se use. El requisito principal para la -- instalación con éxito del revestimiento es una cimentación firme, que reduzca tanto como sea posible la contidad de agrietamiento y el peligro de fracaso por asentamiento de la subrasante.

Los suelos inalterados en las secciones en corte comunmente tienen densidad adecuada para proporcionar una cimentación firme, sin embargo, si un canal pasa por secciones que tienen suelos de baja densidad natural, los suelos se deben compactar completamente, o bien, se deben remover y reemplazar con material adecuado.

Para obtener espesor uniforme de revestimiento sin puntos débiles, la superficie debe ser bastante lisa. En particular esto es necesario en el caso de revestimientos rígidos, que se colocan con equipo de molde deslizante. Se pueden permitir algunas variaciones en la subrasante cuando se usa revestimiento de membrana, sin embargo, para revestimientos colocados con rociadores, se puede necesitar una cantidad excesiva de asfalto para llenar huecos y prevenir puntos delgados en el revestimiento, si la subrasante es de masiado dispareja.

Un problema potencial en cualquier tipo de revestimiento de canal es el drenaje inadecuado de la subrasante. En los casos en que el nivel del agua freática atrás del revestimiento es más alto que el nivel del agua del canal, la subpresión hidrostática -- puede ser suficiente para romper el revestimiento o empujar y des prender grandes secciones. Cuando es posible que ocurran esas con diciones, se deben tomar medidas preventivas. Se pueden colocar -

drenes de tubo debajo del revestimiento para conducir el agua en exceso lejos del canal, o se pueden instalar drenes debajo del revestimiento con salidas diseñadas para impedir el flujo de retorno.

6.4.- Fabricación de la mezcla asfáltica.

La producción de mezcla uniforme de acuerdo a las especificaciones marcadas para una obra específica es casi automática gracias al elevado grado de sofisticación de las plantas asfálticas modernas para la obtención de aglomerados asfálticos en caliente.

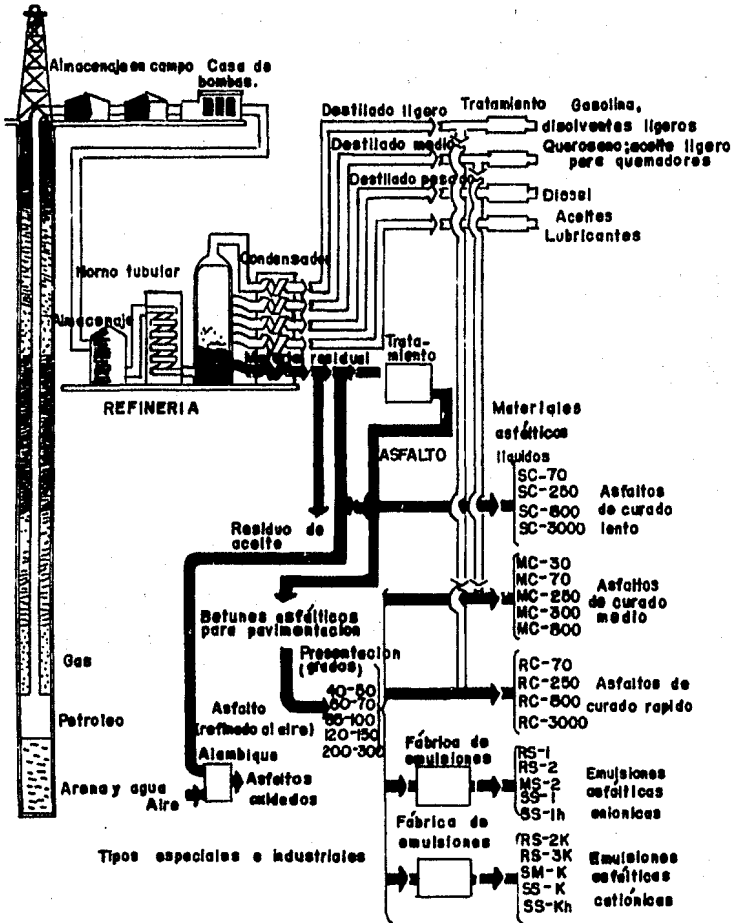
En la figura 6.5. se muestra el paso de los materiales a través de una moderna planta discontinua. Mediante el uso de controles eléctricos e hidráulicos y dispositivos automáticos el inicio del proceso así como la vigilancia de la instalación puede llevarla a cabo un sólo hombre mientras ésta realiza los diversos ciclos de dosificación automática, mezclado en seco, pesado y adición del asfalto, mezclado y descarga de la mezcla en los camiones.

Si la cantidad de agregados de un tamaño determinado existente en las tolvas de almacenaje es insuficiente para una amasada, la operación de mezclado se detiene automáticamente hasta que la tolva de la balaza recibe las cantidades necesarias exactas de -- piedra de cada tamaño, momento en que continúa automáticamente el ciclo de mezclado. Con estos controles automáticos es posible dosificar exactamente todos los tamaños de agregados simultáneamente e incluso superponer algunos ciclos, por ejemplo, pesando la segunda amasada mientras la primera se encuentra en el proceso de - mezclado y descarga desde el mezclador.

La automatización asegura el proceso adecuado y evita que se comience una operación antes de que se haya terminado la anterior. Mediante éste tipo de funcionamiento automático se reducen las posibilidades de error humano.

Para que los agregados queden satisfactoriamente envueltos - con asfalto, la viscosidad de éste deberá ser la adecuada según lo

POZO DE PETROLEO



FABRICACION DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS

FIGURA 6.4.

PLANTA DE ASFALTO

ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE AGREGADOS FRIOS

Almacena los agregados y dosifica exactamente la cantidad de cada tamaño necesaria para mantener constantes las cantidades obtenidas en la unidad clasificadora.

Emparrillado que protege al secador de materiales de fondo excesivo y sustituciones extranas.

SECADOR

Los agregados que fluyen continuamente se secan al mismo por contacto directo con la llama y los gases calientes. Cada partícula de los agregados se expone a este acción repetidamente logrando un secado completo.

La conducción auxiliar para el aire extraído del secador reduce al mínimo los molestias causadas por el polvo en las proximidades de la instalación.

El ventilador produce la corriente de aire necesario para el sistema de combustión del secador y el colector de polvo.

Los pellets deben caer los agregados formando una columna uniforme a través de la llama y los gases calientes, obteniendo el máximo efecto de secado.

Los finos recogidos se transportan mediante un tornillo o la base del elevador de agregados calientes.

UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Separa y almacena los agregados secos. Mide y dosifica la cantidad necesaria de agregados de cada tamaño.

Tamices vibratorios que separan los agregados en los tamaños adecuados, rechazando los de tamaño excesivo.

Alimentación de filtro producido uniformemente por mallas mecánicas.

Los tolvas de material caliente eliminan agregados suficientes para garantizar funcionamiento continuo.

La tolva de pesados mide todos los tamaños de agregados, incluido de filtro ming rol.

La cubeta de asfalto caliente fluye mide la cantidad de asfalto necesaria para cada cantidad.

El mezclador de ejes gemelos mezcla perfectamente el material.

Sistema de alimentación y medida de filtro mineral con almacenamiento de este al nivel del suelo.

FIGURA 6.5

marquen las especificaciones*. El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad decrece con temperaturas crecientes. La relación entre temperatura y viscosidad puede no ser la misma para asfaltos de diferentes orígenes o de diferentes tipos y grados.

*La temperatura más adecuada para mezclado en planta es aquella a que la viscosidad del asfalto está comprendida entre 75 y 150 s Saybolt Furol.

6.5.- Colocación de la mezcla asfáltica en la plantilla y en el talud.

Los revestimientos de concreto asfáltico pueden ser colocados por medio del equipo convencional de pavimentación de caminos adaptado para uso en canales, por medio de equipos especiales o -- por métodos improvisados. La máquina más eficiente y económica que se puede usar para revestir canales pequeños es usualmente una pavimentadora de canales de molde deslizante, diseñada y fabricada especialmente. Esta máquina normalmente se desliza sobre patines - en el cauce excavado y afinado. Puede ser jalada hacia adelante - por varios procedimientos, por ejemplo, por un cable operado desde un tractor (usando la potencia de movimiento del tractor o por un malacate de potencia) o también por su propio malacate de potencia. Cada máquina cuenta con una tolva en la cual se vacía la mezcla asfáltica en caliente. El material caliente se guía a los lados y al fondo del canal por álabes instalados en la máquina, y la mezcla se enrasa con una plantilla que tiene controles independientes para regular el espesor. La operación de compactación o consolidación se realiza por medio de una plancha recta de hierro vibratoria, calentada y lastrada, que se controla independientemente y que se encuentra instalada en la parte posterior de la máquina de revestimiento. La plancha permanece caliente por contacto con la mezcla caliente y se puede ajustar para que varíela presión sobre la mezcla asfáltica. No se necesita mayor rodillado ni acabado cuando se usa éste método. No se requieren juntas de construcción en el revestimiento, y como no se necesita curación, sellado, ni ningún otro tratamiento, el revestimiento está listo para uso inmediatamente después de que se enfríe.

En grandes canales y cauces de avenidas, los revestimientos de concreto asfáltico se pueden colocar por una combinación de - máquinas pavimentadoras de talud o enrasadoras especialmente diseñadas, por equipo de pavimentación normal y métodos de trabajo a mano. El revestimiento es colocado en los taludes frecuentemente a mano, lo que requiere la colocación de la mezcla entre tablas - guías, clavadas a estacas hincadas en el talud. El concreto asfáltico se vuelca desde un camión a una tolva plana, de donde es tomado por un bote de valva de almeja operado por medio de una grúa. En seguida , se vacía sobre la superficie donde se trabaja y se - esparce y coloca con rastrillos y raseros. Después que se termina el enrasado en uno o más tableros, las tablas guías se quitan y - se colocan en otro lugar. La ranura que queda en el asfalto al re - tirar las tablas se rellena y la superficie queda lista para compactación. El revestimiento se puede colocar en una o dos capas, lo que depende del espesor requerido. Si se usan dos capas, usual - mente se aplica entre ellas una película adhesiva (tack coat) para unir las firmemente. Los taludes laterales se pueden revestir tam - bién usando pavimentadoras de talud especialmente diseñadas. Sin embargo, la obra debe ser suficientemente grande para absorber el costo de fabricar y desarrollar dichas máquinas.

El fondo de grandes canales y cauces se puede revestir usando el equipo convencional de pavimentación de caminos, o métodos a - mano. El revestimiento se puede colocar en una o dos capas, lo que depende del espesor que se requiere. Cuando se usan dos capas, ca - da capa se compacta separadamente por medio de rodillos. Como en el caso de los taludes, usualmente se aplica una película adhesiva (tack coat) para unir dichas capas. En canales que son demasiado -

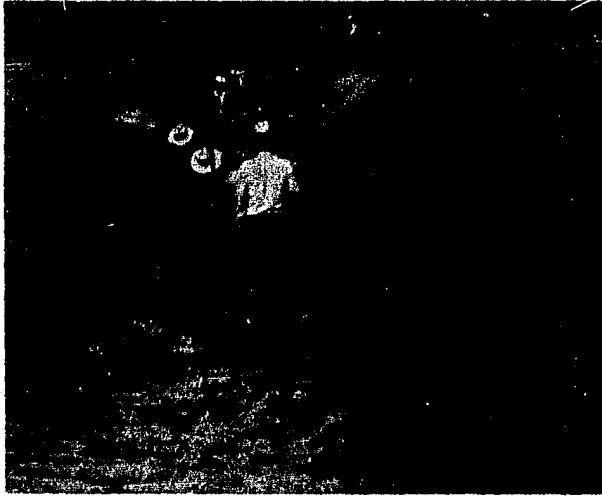


Figura 6.6.- Colocación de tablas guías.



Figura 6.7.- Acarreo de la mezcla asfáltica para su colocación en plantilla y taludes.



Figura 6.8.- Colocación de la mezcla asfáltica en talud y plantilla.



Figura 6.9.- Colocación de la mezcla asfáltica en talud.



Figura 6.10.- Acomodo de la mezcla asfáltica en plantilla.

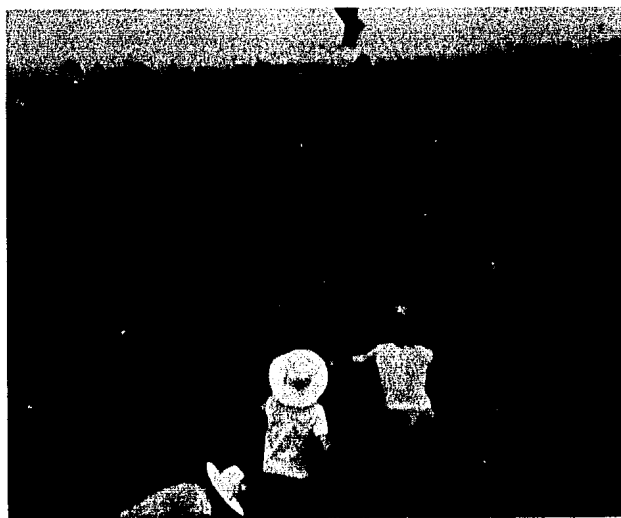


Figura 6.11.- Acomodo de la mezcla asfáltica sobre taludes.

estrechos para que se puedan usar pavimentadoras, las capas se pueden colocar volcando la mezcla en el fondo y con rastrillos a mano se puede dar el espesor que se desea, antes de la compactación.

6.6.- Compactación de la mezcla asfáltica.

Los revestimientos de concreto asfáltico que se colocan por procedimientos distintos del uso de máquinas pavimentadoras deslizantes, usualmente se compactan con rodillos lisos. Los rodillos pesados son inadecuados para compactar las mezclas sumamente trabajables y relativamente suaves que se usan. La compactación se efectúa mejor con el uso de rodillos ligeros o de peso mediano. - También se han usado rodillos de tipo vibratorio. La compactación del revestimiento en los taludes se puede efectuar por medio de un rodillo que viaja de arriba hacia abajo en el talud, bajo el control de un cable operado por la unidad de potencia de un tractor, o por otros medios. Se han utilizado rodillos de diferentes tamaños y pesos. Se pueden obtener buenos resultados con un tambor cerrado, de 60 cm de diámetro y 76 cm. de largo. Los tambores deben pesar por lo menos 9 Kg. por cada cm. de longitud del tambor, sin embargo, se han usado otros tamaños y pesos con resultados satisfactorios. El rodillo, no necesita calentarse y la superficie cilíndrica se debe conservar limpia. El rodillado del fondo del canal se puede realizar dejando que el rodillo que compacta el talud continúe su recorrido hasta el centro del canal. En ésta forma se establece una buena liga entre el pie del talud y el revestimiento del fondo. Otra ventaja de usar éste método es el redondeamiento que se consigue al pie del talud. El rodillado del fondo del canal también se puede efectuar por rodillos en tándem que pesen de 2.7 a 4.5 toneladas métricas.



Figura 6.12.- Rodillado de la mezcla asfáltica sobre el talud.



Figura 6.13.- Rodillado de la mezcla asfáltica sobre el talud.



Figura 6.14.- Rodillado de la mezcla asfáltica sobre el talud.

CAPITULO VII.- Control de calidad.

7.1.- Pruebas de control en el laboratorio.

Las propiedades de los materiales que se usan en las mezclas de concreto asfáltico para revestimiento de canales así como las cantidades de dichos materiales se deben controlar cuidadosamente a fin de cumplir con las especificaciones que fije el contrato. - Las pruebas de laboratorio proveen los medios para el diseño correcto de la composición de la mezcla y la determinación de sus características. Además, dichos ensayos proporcionan un medio efectivo de control de la instalación del revestimiento.

Usualmente, no todas las muestras se pueden procesar y analizar en un laboratorio de campo. Algunas deben ser enviadas a un laboratorio central, en el que se cuente con medios más rápidos y precisos para hacer las determinaciones necesarias. Normalmente, sólo aquellos ensayos que son esenciales para hacer determinaciones en el lugar de la obra, son los que se hacen en el laboratorio de campo, con el objeto de obtener construcción de alta calidad.

7.1.1. Muestreo.

Agregados.- El muestreo de los agregados debe satisfacer las normas aceptadas para el muestreo y en todo caso las muestras deben ser verdaderamente representativas del material que se vaya a usar en la mezcla de concreto asfáltico.

Las pilas de almacenamiento así como los silos que contienen agregados, se deben muestrear para hacer el análisis granulométrico, examinar si tienen cubierta de polvo y para otros propósitos requeridos en las especificaciones. Cada silo caliente se debe muestrear para análisis granulométrico y se debe calcular un análisis combinado dos veces al día, uno en la mañana y otro en la tarde. Si los materiales no son uniformes, el muestreo debe ser más frecuente. Por lo general un muestreo es suficiente por cada

50 toneladas de material suministrado a la planta mezcladora. Los pesos prácticos para cada muestra son: 50 Kg. para el agregado -- grueso y 25 Kg. para agregado fino y relleno. Las muestras se deben identificar correctamente en lo que se refiere a tipo y tamaño de agregado, fuente, fecha y toda información pertinente.

Cemento asfáltico.- Las muestras de cemento asfáltico obtenidas en el lugar de la obra se deben tomar de acuerdo con los requisitos de las normas. Las muestras se pueden tomar al momento de entregar el asfalto, de los tanques de almacenamiento o de los tanques que abastecen la planta mezcladora. Los métodos de muestreo deben seguir normas reconocidas y las muestras tomadas deben ser verdaderamente representativas del material que se vaya a usar. El peso de las muestras normalmente varía de 1 Kg. para ensayos de rutina a 10 Kg. para mezclas que deben ser ensayadas en el laboratorio.

Mezcla de concreto asfáltico.- La mezcla de concreto asfáltico se muestrea en la planta mezcladora, en el lugar de entrega en la obra, durante el tendido y después de la compactación, según se requiera para verificar si satisface o no los requisitos de las especificaciones.

Se debe tomar, a lo menos, una muestra por cada 300 toneladas de mezcla producida. Normalmente son suficientes muestras - con peso de 25 Kg., tomadas en la planta mezcladora o en el punto de entrega en la obra. Ocasionalmente puede ser necesario muestrear material mezclado, obtenido del revestimiento antes de que se compacte, para ensayos de extracción y graduación. Estas muestras se deben tomar de todo el espesor de la capa que está siendo colocada, de cuatro puntos diferentes como mínimo y se deben mezclar para obtener una mezcla compuesta.

Después de la compactación, se deben cortar muestras con espesor igual a la profundidad de cada capa, de tamaño mínimo de 15 x 15 cm., dos veces por día y se deben transportar al laboratorio firmemente empacadas y acuñadas en cajas de madera. Se debe tener cuidado en la obtención y transporte de éstas muestras, para asegurar un mínimo de alteración.

7.1.2. Métodos de ensaye.

Los métodos de ensaye para verificar si los materiales constituyentes satisfacen las especificaciones, normalmente quedan establecidos en las especificaciones del proyecto. En los casos donde no están definidos los métodos de ensaye deben ser los de la última revisión de los métodos por la American Association of State Highway Officials (AASHO), o la American Society for Testing and Materials (ASTM), salvo cuando esté indicada otra cosa. Desde luego, si se encontraran otros métodos oficiales mejores, se podrían especificar en su lugar. Los métodos AASHO, ASTM y otros, se resumen en la siguiente tabla:

<u>Asunto y ensaye</u>	<u>Método de ensaye</u>		
	<u>AASHO</u>	<u>ASTM</u>	<u>SCT</u>
Agregados minerales (pétreos)			
Muestreo	T2	D75	3-2.2.
Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos	T27	C136	3-8
Peso específico de agregado fino	T84	C128	1-6.3.
Peso específico de agregado grueso	T85	C127	1-6.2.

Relleno mineral fino

Muestreo	T2	D75	3-2.2.
Análisis granulométrico	T11	D546	-
Peso específico	T100	D854	-
Equivalente de arena de los agregados			
minerales combinados	T176	D2419	-
Cemento asfáltico			
Muestreo de minerales bituminosos	-	D140	4-2
Penetración	T49	D5	4-6
Viscosidad Saybolt Furol	-	E102	4-4
Viscosidad cinemática	T201	D2170	-
Punto de inflamación	T48	D92	4-3
Ensayo al horno de película delgada	T149	D1754	-
Penetración después del ensayo	T49	D5	4-6
Ductilidad	T51	D113	4-9
Solubilidad	T44	D2042	4-10
Peso específico	T43	D70	-
Diseño de mezclas de concreto asfáltico			
Análisis de densidad y vacíos*	-	-	-
Ensayo de permeabilidad**	-	-	-
Ensayo de estabilidad	-	D1559	-
Ensayo de carga sostenida**	-	-	-

* Manual del Asphalt Institute: "Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot-Mix Types, Manual Series N° 2 (MS-2), February, 1962.

** USBR

Ensaye de compresión	-	D1074	-
Ensaye de inmersión y compresión	-	D1075	-
Grado de recubrimiento de partículas	-	D2489	-

7.1.3. Equipo para ensayos.

El siguiente equipo es el recomendado para un laboratorio de campo, para ensaye de muestras.

1 Juego de cribas estándar, desde 51mm. hasta la malla núm. 200.

1 Aparato de penetración con accesorios.

1 Aparato de extracción.

1 Extractor centrífugo de 1000 g. de capacidad, con potencia para su operación.

1 Aparato para compactar muestras pequeñas.

1 Aparato para permeabilidad.

1 Juego de marcos de madera o acero, para obtener muestras - del revestimiento para análisis de estabilidad en el laboratorio.

1 Balanza, de capacidad de 5 Kg., con sensibilidad de 0.1 Kg.

1 Báscula de laboratorio.

1 Compresor.

1 Aparato para calentar en charolas agregados y asfalto, hasta 200°C.

Termómetros para asfalto.

Equipo misceláneo.

7.2.- Pruebas de control en el campo.

Se deberán realizar ensayos de rutina para control de la construcción. Estos ensayos se ejecutan a intervalos periódicos como parte de la rutina de inspección que se establece durante la construcción del revestimiento. Se toman muestras representativas de mezclas calientes de concreto en la planta mezcladora y en los puntos de entrega en la obra y se hacen ensayos de comprobación de sus propiedades de diseño. Los resultados de éstos ensayos de comprobación se comparan con los resultados de los ensayos de control de mezcla en obra y con los requisitos totales de las especificaciones. En caso de ocurrir irregularidades y de excederse los límites de la fórmula de mezcla de obra, se requerirá que se apliquen las correcciones necesarias en la planta. Podrá ser necesario reevaluar y rediseñar la mezcla de concreto asfáltico si se diera el caso en que la situación lo justifique. Se deben hacer los ensayos necesarios hasta que la planta llague a producir la mezcla de seada uniforme y consistentemente. Se debe hacer un ensayo de comprobación, si aparece algún indicio de que la mezcla anda fuera de la tolerancia establecida. Aún cuando éste tipo de ensayos es rutinario, es preciso ejercer una esmerada atención.

Además de hacer ensayos de comprobación de la mezcla, se deben determinar las características de las muestras de cada capa tendida de concreto asfáltico, para control de la construcción. A proximadamente, se deben muestrear lotes de 1000 metros cuadrados de cada capa de revestimiento. Las propiedades que se deben analizar en cada muestra son: Densidad (para verificar la compactación), Porcentaje de vacíos, Contenido de asfalto y análisis granulométrico. Ocasionalmente se debe comprobar la permeabilidad, la resistencia al movimiento, la resistencia del asfalto recuperado, el punto

de fusión y la penetración. El control de la temperatura es también parte importante del control de la construcción.

7.2.1. Métodos de ensaye.

Los métodos de ensaye, serán al igual que para el control en el laboratorio, en caso de no estar definidos, los de la última -revisión de los métodos por la (AASHO) o la (ASTM), salvo cuando se indique otra cosa, pudiendo utilizar métodos oficiales mejores, especificándolos en su lugar. Los métodos AASHO, ASTM y otros, se resumen en la siguiente tabla:

<u>Asunto y ensayos</u>	<u>Método de ensaye</u>		
	<u>AASHO</u>	<u>ASTM</u>	<u>SCT</u>
Control de construcción			
Muestreo de concreto asfáltico	T168	D979	4-2
Contenido de bitumen	T164	D2172	4-13
Recuperación de asfalto	T170	D1856	-
Análisis de densidad de vacíos*	-	-	-
Peso específico de bulto del revestimiento compactado	T166	D1188	-
Cálculo del porcentaje de vacíos*	-	-	5-12
Ensaye de permeabilidad**	-	-	5-13
Ensaye de estabilidad	-	D1559	5-10
Ensaye de carga sostenida**	-	-	-
Ensaye de inmersión-compresión	-	D1075	-

*Manual del Asphalt Institute: "Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot-Mix Types, manual series N° 2 (MS-2), February, 1962

**USBR

Ensaye de compresión

-

D1074

-

Requisitos para plantas mezcladoras

-

D995

-

7.3.- Cartas de control de calidad.

Las cartas de control de calidad, son unas gráficas en las que se muestran rangos dentro de los cuáles deberán estar los resultados de las diferentes pruebas que se realicen. Dichos rangos se deberán marcar previamente de acuerdo a las especificaciones de la obra, poniendo los valores máximos y mínimos aceptables para los diferentes parámetros a analizar.

La zona comprendida entre la línea de valores máximos y la línea de valores mínimos, se llama zona de aceptación.

La importancia de realizar cartas de control, radica en tomar las medidas correctivas oportunas, para tratar de mantener los materiales en estudio dentro de la zona de aceptación. En el caso de que los resultados de los ensayos muestren una tendencia a entrar a la zona de corrección, no debe suspenderse el proceso continuo (producción) hasta que muestren una tendencia a entrar marcadamente a la zona de rechazo.

En la fig. 7.1. se muestra un ejemplo de una carta de control, utilizada para analizar la capa impermeable de un revestimiento con concreto asfáltico, en la que se puede observar claramente que los resultados de los ensayos que se realizaron en diversos puntos del revestimiento tanto en el talud como en la plantilla.

CARTA DE CONTROL : CAPA IMPERMEABLE

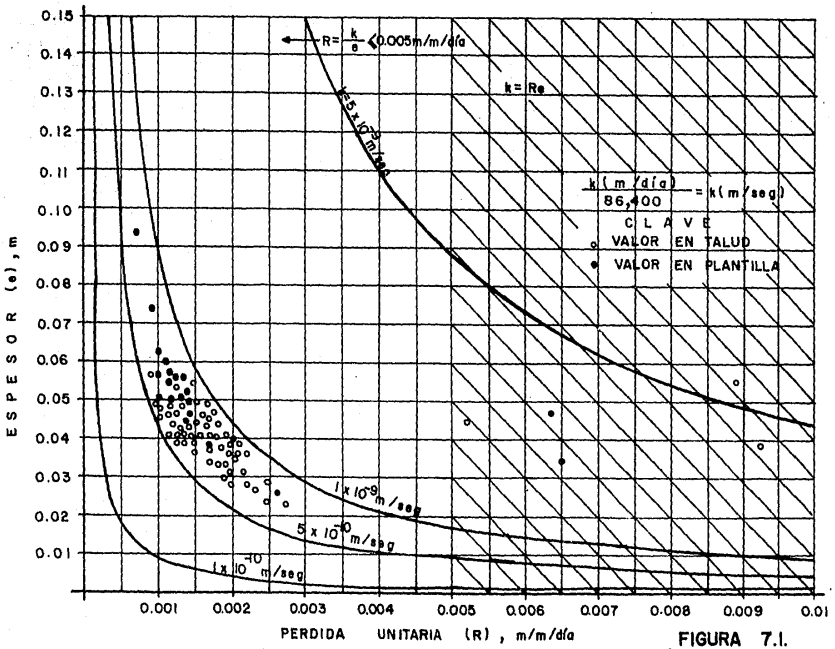


FIGURA 7.1.

7.4.- Pruebas de aceptación en estanques.

Los objetivos que se persiguen con la construcción de estanques de prueba en el canal ya revestido son: a) saber si el valor asignado de la pérdida unitaria por infiltración "R" es el esperado, b) conocer el comportamiento estructural del revestimiento.

La plantilla, la corona, el tirante y los taludes serán de las mismas dimensiones consideradas en el diseño del canal. La longitud del estanque variará, pudiendo estar entre 50 y 100 metros.

Se construirán tapones en cada uno de los extremos del estanque, impermeabilizándolos con polietileno para evitar la filtración del agua a través de los mismos.

Es necesaria la realización de ensayos previos, consistentes en:

a) Determinación del peso volumétrico seco (γ_d) en tres secciones del estanque, mediante sondeos de 0.20m de profundidad.

b) Levantamiento topográfico de las tres secciones indicadas en el inciso anterior.

c) Muestreo integral obtenido junto con las calas y llevado al laboratorio para su clasificación mediante la determinación de los límites de consistencia y su composición granulométrica.

Una vez concluidos los ensayos previos, se procederá al llenado del estanque, midiéndose el volumen de agua requerido para alcanzar el tirante de proyecto.

Se deberá permitir durante tres días la saturación del suelo, procediéndose al cabo de ese tiempo a reponer y conservar el nivel de proyecto, mediante la medición del volumen de agua requerido - cada 24 horas y durante 14 días.

Una vez transcurrido ese tiempo, se saturarán los bordos mediante la construcción de melgas en la corona, sosteniendo en las

mismas una lámina de 15 cm. durante 48 horas.

Para dar por concluida la prueba, se provocará el vaciado rápido del estanque mediante la rotura de uno de los tapones, con el fin de observar su efecto en los bordos saturados.

Una vez concluida la prueba, se llevarán a cabo los ensayos posteriores, consistentes en:

a) Determinación del peso volumétrico seco (γ_d) en las tres secciones donde se habían hecho los ensayos previos.

b) Un levantamiento apoyado en las referencias dejadas en los ensayos previos, de las tres secciones topográficas.

Debido a la poca duración de la prueba, se considera que las pérdidas de agua determinadas en el estanque, son mayores que las pérdidas debidas exclusivamente a la infiltración.

Si se desea obtener las pérdidas de agua por infiltración en los estanques de prueba, se recomienda que éstos tengan una longitud mínima de 100m a 150m y se continúe la prueba hasta que la gráfica volúmenes adicionados-tiempo, conserve una pendiente sensiblemente constante.

Se considera necesario para los estanques de prueba, aumentar el número de calas en el terreno natural, así como contar con ensayos de laboratorio que permitan definir los movimientos que pueden esperarse en los suelos al saturarse y al secarse, dependiendo de su clasificación (S.U.C.S.) y de su peso volumétrico y humedad inicial.

Con el fin de contar, no sólo con resultados finales, sino también con registros continuos de los movimientos ocurridos durante las pruebas en los estanques, se recomienda colocar suficientes testigos debidamente seleccionados.

Para tener un mejor apoyo al definir el grado de compactación

así como el talud recomendable en cada tipo de suelo, se considera necesario hacer ensayos de penetración estándar, expansión y pruebas triaxiales.

Para estar en posibilidad de extrapolar los resultados obtenidos en los estanques, es necesario efectuar ensayos de penetración estándar y permeabilidad en los mismos, determinando en el laboratorio las propiedades índice que permitan identificar al suelo.

Conclusiones.

El uso que el hombre ha dado al asfalto es cada día más amplio ya que sus características favorecen a la solución de diferentes tipos de problemas que con otros materiales pudiera resultar incosteable o imposible solucionar.

De los tipos de revestimientos para canales más usados en México, se encuentran los de concreto hidráulico y los de concreto asfáltico, éste último ha sido menos utilizado que el primero ya que es un procedimiento relativamente nuevo en México.

Las propiedades del revestimiento de concreto asfáltico para canales, entre los que se encuentran: impermeabilidad, durabilidad, flexibilidad, estabilidad en el talud, resistencia a la erosión y economía, son básicas para la función que se busca desempeñen los canales. Dichas propiedades se encuentran también aunque en un grado menor, en los revestimientos con concreto hidráulico.

El revestimiento de canales con concreto asfáltico, cumple satisfactoriamente con los requisitos exigidos para el funcionamiento correcto de un canal, como lo son: a) Asegurar que las filtraciones sean menores que las consideradas como admisibles, b) Evitar la formación de grietas y fisuras, c) Asegurar la adherencia de los agregados con el cemento asfáltico.

La impermeabilidad que ofrece un revestimiento de concreto asfáltico favorece en gran forma a la economía de la región en que se encuentra, por ser las filtraciones mínimas o despreciables, mientras que en los canales revestidos con concreto hidráulico, las pérdidas varían entre un 5 y un 12%.

El concreto asfáltico ofrece una superficie continua, es

decir, no existen juntas de construcción, con lo cual se evitan filtraciones y pérdidas por fricción, que sí se encuentran en el concreto hidráulico.

El precio por m³ de concreto hidráulico es de aproximadamente el doble de el precio del mismo volumen de concreto asfáltico.

Un canal revestido con concreto asfáltico puede ser utilizado una vez que éste se compacte y se enfríe, tomándole aproximadamente de seis a diez horas, mientras que uno revestido con concreto hidráulico requiere de un tiempo de fraguado de por lo menos diez días.

El control de calidad que se lleve de la obra tanto en el campo como en el laboratorio es de suma importancia para lograr que ésta se encuentre dentro de las especificaciones correspondientes. Para lograr tener un buen control de calidad de la obra es fundamental realizar las pruebas necesarias para cada caso.

Bibliografía.

- 1.- Comisión Federal de Electricidad; "Manual de diseño de obras civiles, pruebas de campo y laboratorio"; 1ª Edición; México; Federación Editorial Mexicana, 1980, 37 p.p.
- 2.- Ing. Jesús Muñoz; "Agua para Mexicali, Noticias técnicas" México, Colegio de Ingenieros civiles de México, A.C., sept. 1973.
- 3.- Jiménez López, Cesar; "Informe sobre revestimiento de asfalto para canales y cauces, Secretaría de Recursos Hidráulicos"; México, Julio 1970, 235 p.p.
- 4.- M.I. Raul Vicente Orozco, Asociación Mexicana de Hidráulica; "Algunos aspectos sobre los revestimientos impermeables de concreto asfáltico para canales"; México; 1972.
- 5.- M.I. Raul Vicente Orozco S., Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura; "Reflexiones sobre control de calidad"; México, Abr./Jun. 1977, Vol. LVI, Núm. 2, 134 p.p.
- 6.- Rico, Alfonso y Del Castillo, Hermilio; "La ingeniería de suelos en las vías terrestres"; 1ª edición; México, Editorial Limusa, 1974, Vol. 1, 459 p.p.
- 7.- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas; "Normas de calidad de los materiales"; México, Prisma Mexicana, S.A., 1982, Libro cuarto, 315 p.p.
- 8.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes; "Normas de construcción, muestreo y pruebas de materiales"; 1ª edición; México, Prisma Mexicana, S.A., 1981, Tomo IX, 546 p.p.
- 9.- Secretaría de Obras Públicas; "Especificaciones generales de construcción, Normas de calidad"; 3ª edición; México, Talleres Gráficos de la Nación, 1973, Tomo VIII, 829 p.p.

- 10.- The Asphalt Institute; "Manual del asfalto"; Velázquez, Manuel; 4ª reimpresión; España, Edit. URMO, 1972, 477 p.p.
- 11.- Tlaxler, Ralph N.; "El asfalto"; Lepe, José Luis; 1ª edición, México, Compañía Editorial Continental, S.A., 1962, 336 p.p.
- 12.- W.F. Van Asbeck; "Le bitume dans les travaux hydrauliques"; Paris, France, Editorial Dunod, 1962, Tomo I, 345 p.p.
- 13.- W.F. Van Asbeck; "Le bitume dans les travaux hydrauliques"; Paris, France, Editorial Dunod, 1969, Tomo II, 345 p.p.