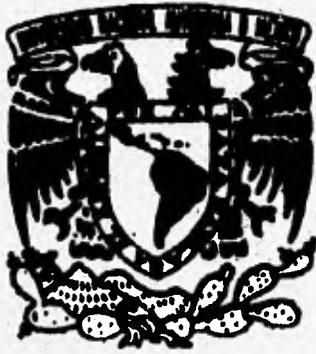


101



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

2EJ

FACULTAD DE INGENIERIA

**'PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO,
UNA ALTERNATIVA EN URBANIZACION'**

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

Francisco Victor Manuel Martínez Guzmán

DIRECTOR DE TESIS:

ING. VICTOR MANUEL LUNA CASTILLO



MEXICO, D.F.

1995

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-019/95

Señor
FRANCISCO VICTOR MANUEL MARTINEZ GUZMAN
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. VICTOR MANUEL LUNA CASTILLO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO, UNA ALTERNATIVA EN URBANIZACION"

- INTRODUCCION**
- I. CONCRETO HIDRAULICO**
 - II. PAVIMENTACION DE CONCRETO HIDRAULICO**
 - III. ANALISIS COMPARATIVO CON PAVIMENTOS ASFALTICOS**
 - IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 13 de marzo de 1995.
EL DIRECTOR

ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

H. JMCS/RCR*nl1

Agradecimientos

**A Gloria Guzmán Labastida, mi Sra. Madre:
Por su comprensión, paciencia singular y apoyo
incondicional, con el cariño de siempre.**

A mi hijo Victor Manuel : Por haber nacido

**A Ma. Eugenia: por su solidaridad y
contribución para llegar hasta el final...**

**Al Ing. S. Enrique Cabrales: por su diligente
consejo, que llevó a buen término un esfuerzo
académico interrumpido.**

**Al Ing. Victor Manuel Luna C. : Por su
cordial coordinación en el desarrollo de este
trabajo, por su confianza y criterio profesional.**

**Pavimento de Concreto Hidráulico.
Una alternativa en Urbanización**

CONTENIDO

- 1. Introducción**
- 2. Concreto Hidráulico**
- 3. Pavimentación con concreto hidráulico**
- 4. Análisis comparativo**
- 5. Conclusiones y recomendaciones**

Bibliografía

Pavimento de Concreto Hidráulico una alternativa en Urbanización

ÍNDICE

	Pág.
1.- Intruducción	9
1.1.- Qué es un pavimento.....	9
1.2.- Objetivos de la construcción de un pavimento.....	9
1.3.- Tipos de pavimentos y materiales que lo forman.....	10
1.4.- Variables que intervienen en el diseño de un pavimento.....	13
2.- Concreto Hidráulico para pavimentos.....	15
2.1.- Materiales que producen el Concreto.....	15
2.2.- Desarrollo Histórico del Concreto Estructural.....	16
2.3.- Cemento Portland.....	16
2.3.1.- Fabricación.....	16
2.3.2.- Resistencia.....	17
2.3.3.- Porcentaje promedio de composición.....	18
2.3.4.- Influencia de la finura en el desarrollo de la resistencia.....	18
2.3.5.- Influencia del cemento en la durabilidad del concreto.....	19
2.3.6.- Generación de calor durante el fraguado inicial.....	19
2.4.- Agua y aire.....	19
2.4.1.- Agua.....	19
2.4.2.- Aire incluido.....	20
2.4.3.- Relación agua cemento.....	20

2.5.- Agregados.....	20
2.5.1.- Agregado grueso.....	21
2.5.2.- Agregado fino.....	22
2.5.3.- Graduación de mezclas de concreto de peso normal.....	22
2.5.4.- Graduación de mezclas de concreto de peso ligero.....	22
2.6.- Aditivos.....	23
2.6.1.- Aditivos acelerantes.....	24
2.6.2.- Aditivos inclusores de aire.....	24
2.6.3.- Aditivos Reductores de agua y controladores de fraguado..	24
2.7.- Concreto.....	25
2.7.1.- Densidad.....	25
2.7.2.- Resistencia.....	25
2.7.3.- Cemento/Agua.....	25
2.7.4.- Textura.....	25
2.7.5.- Parámetros que afectan la calidad del concreto.....	26
2.8.- Teoría del Proporcionamiento.....	26
2.9.- Pruebas de calidad.....	26
2.10.- Colocación.....	46
2.11.- Curado.....	46
3.- Pavimento de Concreto Hidráulico.....	47
3.1.- Estructura de pavimento de concreto hidráulico.....	47
3.1.1.- Sub base.....	47

3.1.2.- Losa de concreto hidráulico.....	49
3.1.3.- Juntas.....	50
3.1.3.1.- Juntas de contracción.....	50
3.1.3.2.- Juntas de expansión.....	51
3.1.3.3.- Juntas de construcción.....	52
3.1.3.4.- Juntas longitudinales de construcción.....	53
3.2.- Procedimiento de construcción.....	54
3.3.- Costos por M ²	56
3.4.- Durabilidad.....	58
3.5.- Fallas.....	59
3.5.1.- Descascarado de orillas.....	60
3.5.2.- Grietas transversales.....	60
3.5.3.- Grietas en orillas y esquinas.....	60
3.5.4.- Descarnado de superficies de rodamiento.....	60
3.5.5.- Falla estructural.....	61
3.6.- Conservación.....	61
4.- Análisis Comparativo.....	62
4.1.- Estructura de un pavimento asfáltico.....	62
4.2.- Procedimiento constructivo.....	67
4.3.- Costo por M ²	72
4.4.- Durabilidad.....	78
4.5.- Fallas.....	78
4.6.- Conservación.....	82
4.7.- Análisis.....	84

4.7.1.- Estructura de un pavimento.....	84
4.7.2.- Construcción.....	85
4.7.3.- Costo.....	86
4.7.4.- Durabilidad.....	86
4.7.5.- Conservación.....	87
4.7.6.- Acabados.....	89
4.7.7.- Resultados.....	90
5.- Conclusiones y recomendaciones.....	91
Bibliografía.....	92

FALTA PAGINA

No. 7 a la.....

OBJETIVO

Esta tesis es un intento de resumen de los conocimientos técnicos y prácticos, que permiten la fabricación de Pavimientos de concreto hidráulico para aplicarse en zonas urbanas. En síntesis, se describen aspectos básicos; constructivos y de control de calidad, en un contexto social que requiere resolver la falta de empleo.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Qué es pavimento

Hasta la fecha se considera que todas las capas que quedan en la parte superior de la capa subrasante, como son la sub-base, base y carpeta, incluyendo el riego de sello, forman parte de los que se llama pavimento de una obra vial. Aunque es importante mencionar que a últimas fechas se hacen estudios, en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.; tratando de demostrar que, se puede tener un pavimento muy bien formado desde la capa subrasante, con los mejores materiales y el mejor control de calidad al construirse, pero que por tener unas terracerías inestables falle, por esta razón se trata de tener una sección estructural del pavimento, la cual deberá estar formada por el terreno natural, el cuerpo del terraplén y la capa subrasante. (Las diferentes capas que constituyen el pavimento; sub base, base y carpeta, incluyendo su riesgo de sello).

Ahora bien, la sección estructural del pavimento debe ser una estructura que proporcione una superficie de rodamiento de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, intemperismo y otros agentes erosivos o perjudiciales y que transmita a las terracerías y/o el terreno natural adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito, de tal forma que no sobrepasen la resistencia de las diferentes capas sin llegar a la falla.

De lo descrito anteriormente se puede dar una definición formal del pavimento:

“Un pavimento se define como la capa o conjunto de capas de materiales especialmente procesados desde la capa de sub base, hasta la carpeta de una obra vial, cuya finalidad es la de proporcionar una superficie de rodamiento segura, uniforme en color y textura apropiados, así como resistente a la acción de las cargas de los vehículos, a el intemperismo producido por los agentes naturales y/o cualquier otro agente perjudicial”.

1.2.- Objetivos de la construcción de un pavimento

Un pavimento es la estructura formada por varias capas, entre cuyos objetivos específicos a satisfacer son los siguientes:

1. Resistir y distribuir adecuadamente la acción de las cargas propiciadas por el tránsito, en cuanto a su magnitud, como a su intensidad, sin sufrir cambios volumétricos y/o llegar a la falla. Un pavimento debe estar constituido de tal forma, que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales, sobre el cual está colocado, y a la vez se impida la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el desplazamiento de partículas ocasionadas por la acción de amasadura del tránsito. Por lo tanto, un pavimento debe tener el espesor necesario para soportar y distribuir las cargas del tránsito.

2. Reunir las condiciones adecuadas de impermeabilidad para no disminuir la resistencia de alguna de sus capas. El pavimento debe tener la suficiente impermeabilidad para impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que si ésta penetra en exceso provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte. Siempre se debe contar con suficiente drenaje al proyectarse un pavimento ya que, aunado a la impermeabilidad requerida del pavimento en sí, redundará en una obra estable.
3. Resistir la acción destructora de los vehículos. La acción abrasiva de llantas de los vehículos produce desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento. También el tránsito provoca cierta acción de molienda y amasado. De ahí que el pavimento deba resistir estos efectos.
4. Tener resistencia a los fenómenos atmosféricos y ser estable ante los agentes del intemperismo. Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie del pavimento provocando la meteorización y alteración de los materiales que lo forman. Es de tenerse en cuenta que hay materiales que resisten mejor que otros estos efectos, y por lo tanto la vida económica y útil del pavimento será mayor cuando los materiales que lo formen tengan más capacidad de resistencia a los agentes físicos y químicos.
5. Presentar al usuario una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil, seguro, cómodo y económico. La superficie de rodamiento de un pavimento debe ser segura para la conducción de los vehículos, sin embargo, esa superficie lisa y uniforme debe ser siempre antideslizante cuando se encuentra húmeda.
6. Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de las capas inferiores, en no pocas ocasiones, por una u otra circunstancia, generalmente controlables, se presentan pequeños asentamientos de las capas inferiores, los cuales no son en extremo perjudiciales, de ahí que convenga que el pavimento tenga cierta flexibilidad que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

Minimizar tanto los gastos de construcción (costo inicial) como los de conservación y/o operación para la vida útil para la cual fue diseñado el pavimento.

Por lo descrito anteriormente se puede concluir entonces; que necesitamos una subrasante compacta y revestida con un material mejorado, así mismo es necesario una carpeta, que conjuntamente con las capas inferiores proporcionarán un pavimento capaz de resistir y distribuir eficazmente las cargas a las terracerías, las cuales al estar protegidas de la infiltración del agua de lluvia, mediante la carpeta impermeable, permanecerá todo el tiempo con la estabilidad necesaria para impedir que se presenten deformaciones permanentes y perjudiciales.

La carpeta que se coloque sobre las diferentes capas compactadas, servirá para proporcionar una superficie de rodamiento, que evite al máximo posible las pérdidas de material por la acción abrasiva de las llantas de los vehículos en movimiento; proporcionando una superficie lisa, cómoda, flexible y resistente a los agentes perjudiciales. En resumen, se tendrá un pavimento que si satisface los propósitos para los cuales fue diseñado y construido.

1.3.- Tipos de Pavimentos y materiales que lo forman

Es difícil la flexibilidad o rigidez de un pavimento, ya que es materia de juicio precisar que tan rígido es un pavimento flexible y que tan flexible es un pavimento rígido, de lo anterior sabemos que los términos empleados para definir un pavimento no son del todo apropiados, pero su difusión ha sido tan amplia que se considera correcto considerarlo así. Por lo anterior los pavimentos se diferencian y se definen, por los materiales que se emplean en su construcción y no por la forma en la que distribuyen los esfuerzos y deformaciones producidas por las cargas que genera el tránsito a las capas inferiores.

Los tipos de pavimento que existen, atendiendo a los materiales que los constituyen se dividen generalmente en:

a) Pavimento Asfáltico:

Este tipo de pavimento es aquel que muestra rigidez a la flexión muy reducida, además presenta una superficie de rodamiento, la cual es proporcionada por una carpeta asfáltica relativamente delgada de alta calidad, en la que las cargas de los vehículos son distribuidas hacia las capas inferiores, no rígidas; se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales, y la carpeta asfáltica se pliega en pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que se rompa su estructura. Las capas en las cuales se encuentra apoyada la carpeta, están formadas por materiales seleccionados, cuya calidad por lo común, va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito.

Los materiales que se emplean con más frecuencia en mezclas asfálticas son las gravas, arenas, los conglomerados, rocas de mantos de depósitos o de pepena, etc.; para el empleo de los materiales de referencia es necesario someterlos a un tratamiento de trituración normal y cribado; lavado y trituración total y cribado respectivamente.

Para emplearse en tratamientos superficiales, generalmente se utilizan gravas y rocas de mantos, de depósitos y de pepena y solamente en casos muy especiales, se llegan a proporción de fragmentos triturables.

La carpeta que se coloque sobre las diferentes capas compactadas, servirá para proporcionar una superficie de rodamiento, que evite al máximo posible las pérdidas de material por la acción abrasiva de las llantas de los vehículos en movimiento; proporcionando una superficie lisa, cómoda, flexible y resistente a los agentes perjudiciales. En resumen, se tendrá un pavimento que si satisface los propósitos para los cuales fue diseñado y construido.

1.3.- Tipos de Pavimentos y materiales que lo forman

Es difícil la flexibilidad o rigidez de un pavimento, ya que es materia de juicio precisar que tan rígido es un pavimento flexible y que tan flexible es un pavimento rígido, de lo anterior sabemos que los términos empleados para definir un pavimento no son del todo apropiados, pero su difusión ha sido tan amplia que se considera correcto considerarlo así. Por lo anterior los pavimentos se diferencian y se definen, por los materiales que se emplean en su construcción y no por la forma en la que distribuyen los esfuerzos y deformaciones producidas por las cargas que genera el tránsito a las capas inferiores.

Los tipos de pavimento que existen, atendiendo a los materiales que los constituyen se dividen generalmente en:

a) Pavimento Asfáltico:

Este tipo de pavimento es aquel que muestra rigidez a la flexión muy reducida, además presenta una superficie de rodamiento, la cual es proporcionada por una carpeta asfáltica relativamente delgada de alta calidad, en la que las cargas de los vehículos son distribuidas hacia las capas inferiores, no rígidas; se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales, y la carpeta asfáltica se pliega en pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que se rompa su estructura. Las capas en las cuales se encuentra apoyada la carpeta, están formadas por materiales seleccionados, cuya calidad por lo común, va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito.

Los materiales que se emplean con más frecuencia en mezclas asfálticas son las gravas, arenas, los conglomerados, rocas de mantos de depósitos o de pepena, etc.; para el empleo de los materiales de referencia es necesario someterlos a un tratamiento de trituración normal y cribado; lavado y trituración total y cribado respectivamente.

Para emplearse en tratamientos superficiales, generalmente se utilizan gravas y rocas de mantos, de depósitos y de pepena y solamente en casos muy especiales, se llegan proporción de fragmentos triturables.

Las características más importantes que deben satisfacer los materiales pétreos para carpetas asfálticas son: Granulometría, Dureza, Forma de la partícula y Adherencia con el asfalto.

a emplear conglomerados cuando éstos se presentan limpios de arcilla y con una fuerte

Más adelante se hará mención de las características que deben cumplir los materiales que forman las capas inferiores del pavimento.

b) Pavimento de Concreto Hidráulico

Estos pavimentos están constituidos por un elemento fundamentalmente resistente; la superficie de rodamiento es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales pueden ser de concreto simple, de concreto armado y de concreto pre-esforzado, estas losas distribuyen las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural; aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario la construcción de una capa de sub base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento, al paso de lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla e la losa; la sección transversal de un pavimento de concreto está formada por la losa de concreto hidráulico, la sub base y la capa subrasante.

Los materiales que tienen mayores probabilidades de emplearse en pavimentos de concreto hidráulico son las gravas-arenas provenientes de ríos, las cuales para su empleo generalmente se someten a tratamiento de cribado con el fin de eliminar los tamaños mayores al máximo que se necesita en la grava, y se separa de esta la arena; en ocasiones, en ciertas regiones no hay grava-arena, contándose solamente con boleos que tienen cantidades inapreciables de grava y arena, por lo cual en estos casos, para la obtención de los agregados se recurre a un tratamiento de trituración total o cribado.

Las rocas sanas pueden emplearse sometiéndolas a un tratamiento de trituración total y cribado, e incluso hasta la molienda para producir la arena. Para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico en general, será más económico utilizar agregados pétreos procedentes de gravas arenas de río que los obtenidos por trituración de rocas, conglomerados, por lo que se recomienda su uso cuando se dispone de ellas en la región.

c) Pavimento de Adoquín

El adoquín es una unidad de concreto de forma prismática, cuyo diseño permite entrelazamientos que facilitan la transmisibilidad de carga de un pavimento; son manuales, estéticos, de fuerte trabazón, textura de lija, de muy alta resistencia a la abrasión; etc., aún con las características enunciadas, el uso de este tipo de pavimento no

es muy generalizado en arterias vehiculares, normalmente su uso se limita a andadores y corredores peatonales, esto debido a las desventajas que presenta en las carreteras, ya que a altas velocidades provoca incomodidad por las vibraciones y los ruidos. La sección estructural de estos pavimentos está constituida normalmente por una superficie de rodamiento compuesta por piezas de adoquín entrelazadas entre sí, estas a su vez descansan sobre una capa de arena debidamente cribada, la cual se coloca sobre las capas previamente construidas de: base, sub base, subrasante y terreno natural. Los materiales pétreos para su empleo en un pavimento de estas características, pueden ser del mismo tipo del utilizado en las diversas capas hasta el nivel base, del empleado en un pavimento asfáltico; debiendo estar la arena que se emplee como capa entre la base y el adoquín; limpia, angulosa, con menos del 3% de finos y menos del 10% retenidos en la malla No.4 (4.75mm).

1.4.- Variables que intervienen en el diseño de un pavimento.

a) Variables Estructurales.

Características de las capas que constituyen el pavimento.

Espesores

Resistencias

Deformabilidad

Disponibilidad de materiales

Costo

Respuesta bajo condiciones regionales

b) Variables de Carga o Tránsito

Magnitud de las cargas

Configuración de las llantas y espaciamiento entre ellas.

Número de ejes

Presión de inflado

Presión de contacto

Superficie del contacto

Número de repetición de cargas

Tasa de crecimiento

Distribución del tránsito en la sección transversal

Vida de proyecto del pavimento antes de requerir una reconstrucción

Criterio de falla

Tipo de impacto

c) Variables de clima y condiciones regionales

Temperatura
Régimen de precipitación
Precipitación media anual
Nivel freático
Geología y topografía

d) Variables Económicas y Sociales

Disponibilidad de fondos
Costos de construcción, conservación y operación
Confiabilidad
Seguridad, calidad de operación y tipo de conservación
Impacto ambiental.

e) Variables de Impacto

Control de calidad
Nivel tecnológico
Recursos Industriales
Disponibilidad de equipo y personal

f) Variables de Conservación

Tipo de conservación requerido
Frecuencia

g) Variables de comportamiento

Seguridad
Servicialidad
Durabilidad
Depende de la integración entre características estructurales, solicitudes de tránsito, clima, regionales y tipo de conservación.

Como se indicó con anterioridad, un pavimento se encuentra integrado por las capas de: subbase, base y carpeta (pavimento asfáltico) y únicamente de subbase y carpeta (pavimento de concreto hidráulico); aunque es importante mencionar que los pavimentos se encuentran cimentados sobre capas de materiales, como son las del terreno natural, cuerpo del terraplén y la capa subrasante, las mismas que deben cumplir con ciertas

características físicas, para tener una eficiencia adecuada en la sustentación de las capas superiores.

Por tal razón, en la integración del presente trabajo, se hace mención de las características que deben de presentar, las capas de materiales que se localizan por debajo del pavimento, las cuales en un momento dado, se pueden considerar tan importantes, para el buen funcionamiento de la parte integral del pavimento.

2.- CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

2.1.- Materiales que Producen el concreto

Para entender e interpretar el comportamiento total de un elemento compuesto se requiere un conocimiento de las características de sus componentes. El concreto se produce por la interacción mecánica de un gran número de materiales constituyentes. De aquí que sea vital una discusión de las funciones de cada uno de estos componentes antes de estudiar el concreto como un producto terminado. De esta manera, el diseñador y el ingeniero de materiales pueden desarrollar habilidades para la selección de los ingredientes adecuados y así proporcionarlos para obtener un concreto eficiente y deseable que satisfaga los requisitos de resistencia y condiciones de servicio del diseñador.

Este capítulo presenta una breve relación de los materiales que constituyen el concreto: cemento, agregado fino y grueso, agua, aire y aditivos. También se estudian el proceso de fabricación del cemento, la composición del cemento, tipo y graduación del agregado fino y grueso y la función e importancia del agua, aire y aditivos.

2.2.- Desarrollo Histórico del Concreto Estructural

Desde la época de los griegos, los romanos y quizá civilizaciones más antiguas se ha utilizado el concreto y sus componentes cementosos (volcánicos), tal como la ceniza puzolánica. Sin embargo, el principio del siglo diecinueve marca el comienzo de un uso mayor de este material. En 1801, F. Coignet publicó su tratado de los principios de la construcción, reconociendo la debilidad del material en tensión. J. L. Lambot en 1850 construyó por primera vez una barca pequeña de cemento para exhibirla en la Feria Mundial de 1855 en París. J. Monier, jardinero francés, patentó en 1867 marcos metálicos como refuerzo de recipientes de concreto para plantas y, Koenen en 1886 publicó el primer manuscrito sobre la teoría y diseño de las estructuras de concreto. En 1906, C.A.P. Turner desarrolló la primera losa plana sin vigas.

De allí en adelante ocurrieron progresos considerables en este campo de tal manera que en 1910 se había ya establecido el Comité Alemán del Concreto Reforzado, el Comité

Austriaco del Concreto, el Instituto Norteamericano del Concreto y el Instituto Británico del Concreto. Muchos edificios, puentes y recipientes de líquido de concreto reforzado existían ya por 1920, y la era del presfuerzo lineal y circular ya había empezado.

Los avances rápidos en el arte y ciencia del análisis, diseño y construcción del concreto reforzado y presforzado dieron como resultado sistemas estructurales únicos, tales como el Kresge Auditorium, Boston; en 1951 el Festival of Britain Dome; Marina Towers y Lake Point Tower, Chicago; y muchos otros.

Las teorías de resistencia última se plantearon en la Unión Soviética en 1938 y en Inglaterra y los Estados Unidos en 1956. Las teorías al límite también forman parte de las normas de varios países en el mundo. Nuevos componentes y compuestos del concreto son comunes, incluyendo los concretos de alta resistencia a la compresión.

Todos estos avances y las muchas investigaciones teóricas y experimentales realizadas, en particular en las dos últimas décadas, dieron como resultado teorías y normas rigurosas para llevar a la práctica. Por lo tanto, era necesario plantear un método simplificado para entender el comportamiento estructural fundamental de los elementos de concreto.

2.3.- Cemento Portland

2.3.1.- Fabricación

El cemento portland está hecho de minerales cristalinos en polvo muy fino compuesto principalmente de silicatos de calcio y aluminio. La adición de agua a estos minerales produce una pasta la cual, una vez endurecida, alcanza una alta resistencia. Su gravedad específica varía entre 3.12 y 3.16 y pesa 50 kg., el cual es el peso unitario de un saco o bolsa de cemento comercial.

Los materiales en bruto que hacen el cemento son:

1. Cal (CaO) - de la piedra caliza.
2. Sílice (SiO_2) - de la arcilla
3. Alúmina (Al_2O_3) - de la arcilla

(con muy pocos porcentajes de magnesia: MgO y algunas veces algunos álcalis). En ocasiones se adiciona a la mezcla óxido de hierro para ayudar a controlar su composición.

El proceso de fabricación se resume como sigue:

1. Molido de la mezcla en bruto de CaO, SiO_2 y Al_2O_3 con los otros ingredientes menores adicionados ya sea en forma seca o húmeda. A la forma húmeda se le llama lechada.

2. Cargar la mezcla en el extremo más alto de un horno de secado rotario ligeramente inclinado.
3. Mientras el horno está en operación, el material pasa de su extremo más alto al más bajo en un régimen predeterminado y controlado.
4. La temperatura de la mezcla es elevada al punto de fusión incipiente, esto es, la temperatura de escoria. Se conserva a esta temperatura hasta que los ingredientes se combinan para formar a 2700°F el producto del cemento portland. Los gránulos, como suele llamarse a dicho producto, varían en tamaño desde 1/16 hasta 2", se les llama también escorias.
5. Las escorias son enfriadas y molidas a la forma de polvo.
6. Durante la trituración se adiciona un pequeño porcentaje de sulfato de calcio para controlar o retardar el tiempo de fraguado del cemento en el campo.
7. La mayor parte del cemento portland final se lleva a silos para su almacenamiento o granel; alguna otra es empacada en bolsas de 50 kg. para la venta al por menor.

2.3.2.- Resistencia

La resistencia del cemento es el resultado de hidratación. Este proceso químico resulta de recristalización en la forma de cristales entrelazados que producen el cemento en vía de hidratación (gel-cemento), el cual tiene una elevada resistencia a la compresión cuando se endurece. La siguiente tabla muestra la contribución relativa de cada componente del cemento en el aumento de la resistencia. La resistencia del cemento portland en un principio es más alta con porcentajes elevados de C_3S . Si el curado húmedo es continuo, los niveles de resistencia posteriores serían mayores, con elevados porcentajes de C_2S . El C_3A contribuye al desarrollo de la resistencia durante el primer día después de colocado el concreto debido a que es lo más próximo a hidratarse.

Componente	Nivel de reacción	Calor liberado	Valor último del cemento
Silicato tricálcico, C_3S	Medio	Medio	Bueno
Silicato dicálcico, C_2S	Bajo	Pequeño	Bueno
Aluminato tricálcico, C_3A	Rápido	Grande	Pobre
Aluminoferrato tetracálcico, $C_4 AF$	Lento	Pequeño	Pobre

Cuando el cemento portland se combina con agua durante el fraguado y endurecimiento, se libera cal de alguno de los compuestos. La cantidad de cal liberada es aproximadamente del 20% del peso del cemento. Bajo condiciones desfavorables, esto puede causar la disgregación de una estructura por causa de la acción disolvente de la cal con el cemento. Tal situación deberá prevenirse adicionando al cemento mineral de silicio tal como puzolana. El material adicionado reacciona con la cal en presencia de humedad para producir un silicato de calcio fuerte.

2.3.3.- Porcentaje promedio de la composición

Debido a que existen diferentes tipos de cemento para distintas necesidades, es necesario estudiar la variación del porcentaje en la composición química de cada tipo a fin de interpretar las razones de la variación en el comportamiento. La siguiente tabla, estudiada en conjunto con la tabla anterior, da razones concisas en las diferencias de reacción para cada tipo de cemento cuando éste está en contacto con el agua.

Porcentaje de la Composición de los Cementos Portland

Tipo de cemento	Componente (%)							Características Generales
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	Mg O	
Normal: I	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Cemento para todo uso
Modificado: II	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	Liberación de calor baja comparativa; utilizada en grandes estructuras.
Alta resistencia a temprana edad: III	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Alta resistencia en 3 días
Bajo calor: IV	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Utilizado en presas de concreto
Resistencia a sulfatos: V	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Utilizado en alcantarillas y estructuras expuestas a sulfatos

2.3.4.- Influencia de la finura del cemento en el desarrollo de la resistencia

El tamaño de las partículas de cemento tiene una fuerte influencia en el nivel de reacción del cemento con el agua. Para un peso dado de un cemento finamente molido, el área de superficie de las partículas es mayor que para un cemento burdamente molido. Esto resulta en un mayor nivel de reacción con el agua y en un proceso de endurecimiento más rápido para grandes áreas de superficie. Esta es una de las razones de la alta resistencia en un principio del cemento tipo III el cual da en tres días una resistencia que el tipo I lo da en siete días y una resistencia en siete días que el tipo II lo da en 28 días.

2.3.5.- Influencia del cemento en la durabilidad del concreto

La disgregación del concreto debido a ciclos de humedad, heladas, deshielos y resequedad y la propagación de las grietas resultantes es un concepto de gran importancia. La presencia de diminutos vacíos de aire en toda la pasta de cemento incrementa la resistencia del concreto a la disgregación. Esto se logra adicionando aditivos con inclusores de aire al concreto mientras se mezcla.

Puede disminuirse o prevenirse también la disgregación debida a químicos en contacto con la estructura, tal sería el caso de estructuras y subestructuras portuarias. Algunas veces es necesario especificar cementos resistentes al sulfato ya que el concreto en tales casos está expuesto a cloruros y en ocasiones a sulfatos de magnesio y sodio. Por lo general el cemento tipo II es el más adecuado para usarse en estructuras marinas.

2.3.6.- Generación de calor durante el fraguado inicial

Debido a que los diferentes tipos de cemento generan diferentes grados de calor en diferentes niveles, el tipo de estructura gobierna el tipo de cemento a ser utilizado. Entre más gruesa y pesada sea la sección transversal de la estructura, es menor la generación de calor de hidratación que se requiere. En estructuras macizas tales como presas, muelles y compuertas, el uso del cemento tipo IV es el más ventajoso.

De la discusión anterior se ve que los factores que gobiernan en la selección del tipo de cemento a utilizar son el tipo de estructura, el clima y otras condiciones que existirían durante la construcción.

2.4.- Agua y Aire

2.4.1.- Agua:

El agua se requiere en la producción del concreto a fin de precipitar la reacción química con el cemento, para humedecer el agregado y lubricar la mezcla para una fácil manejabilidad. Puede utilizarse el agua para beber. El agua que tiene ingredientes nocivos, contaminación, sedimentos, aceites, azúcar o químicos es dañina para la resistencia y propiedades de fraguado del cemento. Puede romper la afinidad entre el agregado y la pasta de cemento y puede afectar en forma adversa la manejabilidad de una mezcla.

Debido a que el tipo de gel coloidal o de la pasta de cemento es el resultado de la reacción química entre el cemento y el agua, no es la proporción relativa del agua a la mezcla por completo de los materiales secos los que hay que tomar en cuenta, sino

únicamente la proporción relativa del agua al cemento. El exceso de agua deja un esqueleto en forma de panal no uniforme en el producto terminado una vez que la hidratación ha tenido lugar, mientras que muy poca agua impide una reacción química con el cemento. El producto en ambos casos es un concreto que es más débil e inferior a uno normal.

2.4.2.- Aire incluido:

Con la evaporación gradual en exceso del agua de la mezcla, se producen poros en el concreto endurecido. Esto puede mejorar las características del producto si está distribuido de manera uniforme. Es posible tener una distribución de poros muy uniforme mediante una introducción artificial de burbujas de aire finamente divididas y distribuidas de manera uniforme en todo el producto, esto se logra adicionando agentes inclusores de aire tal como resina vinsol. La inclusión de aire aumenta la manejabilidad, disminuye la densidad, incrementa la durabilidad, reduce el afloramiento y la segregación y reduce el contenido de arena requerido en la mezcla. Por estas razones, el porcentaje de aire incluido deberá conservarse al valor óptimo requerido para la calidad del concreto deseada. El contenido de aire óptimo es 9% de la fracción de mortero del concreto. La inclusión de aire en exceso del 5 al 6% de la mezcla total debilita la resistencia del concreto en forma proporcional.

2.4.3.- Relación agua-cemento

Para resumir la discusión anterior, debe mantenerse un estricto control en la relación agua-cemento y en el porcentaje de aire en la mezcla. Ya que la relación agua-cemento es la medida real de la resistencia del concreto, deberá ser el criterio principal que gobierne el diseño de la mayoría de los concretos estructurales. Por lo general se da como la relación del peso del agua al peso del cemento en la mezcla.

2.5.- Agregados:

Los agregados son las partes del concreto que constituyen lo grueso del producto terminado. Abarcan del 60 al 80% del volumen del concreto, y tienen que estar graduados de tal forma que la masa total de concreto actúe como una combinación relativamente sólida, homogénea y densa, con los tamaños más pequeños actuando como un relleno inerte de los vacíos que existen entre las partículas más grandes.

Existen dos tipos de agregados:

1. Agregado grueso (grava, piedra triturada o escorias de alto horno).
2. Agregado fino (arena natural o fabricada).

únicamente la proporción relativa del agua al cemento. El exceso de agua deja un esqueleto en forma de panal no uniforme en el producto terminado una vez que la hidratación ha tenido lugar, mientras que muy poca agua impide una reacción química con el cemento. El producto en ambos casos es un concreto que es más débil e inferior a uno normal.

2.4.2.- Aire incluido:

Con la evaporación gradual en exceso del agua de la mezcla, se producen poros en el concreto endurecido. Esto puede mejorar las características del producto si está distribuido de manera uniforme. Es posible tener una distribución de poros muy uniforme mediante una introducción artificial de burbujas de aire finamente divididas y distribuidas de manera uniforme en todo el producto, esto se logra adicionando agentes inclusores de aire tal como resina vinsol. La inclusión de aire aumenta la manejabilidad, disminuye la densidad, incrementa la durabilidad, reduce el afloramiento y la segregación y reduce el contenido de arena requerido en la mezcla. Por estas razones, el porcentaje de aire incluido deberá conservarse al valor óptimo requerido para la calidad del concreto deseada. El contenido de aire óptimo es 9% de la fracción de mortero del concreto. La inclusión de aire en exceso del 5 al 6% de la mezcla total debilita la resistencia del concreto en forma proporcional.

2.4.3.- Relación agua-cemento

Para resumir la discusión anterior, debe mantenerse un estricto control en la relación agua-cemento y en el porcentaje de aire en la mezcla. Ya que la relación agua-cemento es la medida real de la resistencia del concreto, deberá ser el criterio principal que gobierne el diseño de la mayoría de los concretos estructurales. Por lo general se da como la relación del peso del agua al peso del cemento en la mezcla.

2.5.- Agregados:

Los agregados son las partes del concreto que constituyen lo grueso del producto terminado. Abarcan del 60 al 80% del volumen del concreto, y tienen que estar graduados de tal forma que la masa total de concreto actúe como una combinación relativamente sólida, homogénea y densa, con los tamaños más pequeños actuando como un relleno inerte de los vacíos que existen entre las partículas más grandes.

Existen dos tipos de agregados:

1. Agregado grueso (grava, piedra triturada o escorias de alto horno).
2. Agregado fino (arena natural o fabricada).

Debido a que el agregado constituye la parte mayor de la mezcla, entre más agregado se tenga en la mezcla, esto resultará en un concreto más económico, a condición de que la mezcla sea de una razonable manejabilidad para el trabajo específico en el que se utilice.

2.5.1.- Agregado grueso

El agregado grueso se clasifica como tal si el tamaño más pequeño de la partícula es mayor de 1/4" (6mm). Las propiedades del agregado grueso afectan la resistencia final del concreto endurecido y su resistencia a la disgregación, intemperización y otros efectos destructivos. El agregado grueso mineral deberá estar limpio de impurezas orgánicas y deberá adherirse bien como el gel-cemento.

Los tipos comunes de agregado grueso son:

- 1. *Piedra natural triturada:*** Se produce por trituración de piedra natural o roca de canteras. La roca puede ser de tipo volcánico, sedimentario o metamórfico. Aunque la roca triturada da resistencias elevadas en el concreto, es menos manuable en la mezcla y colocación que los otros tipos.
- 2. *Grava natural:*** Se produce por la acción de intemperismo del agua corriente en los fondos y riberas de ríos. Da menos resistencia que la roca triturada pero es más manuable.
- 3. *Agregados gruesos artificiales:*** Son principalmente escoria y esquisto expandido, y se utilizan con frecuencia para producir concreto ligero. Son derivados de otros procesos de fabricación, tales como escoria de alto horno o esquisto expandido, o piedra pómez para concreto ligero.
- 4. *Agregados pesados y para protecciones nucleares:*** Con las demandas específicas de nuestra era atómica y los peligros de radiación nuclear debido al gran número de reactores atómicos y estaciones nucleares, se tienen que producir concretos especiales para protección contra los rayos x, rayos gamma y neutrones. En tales concretos, las consideraciones de economía y manejabilidad no son de primera importancia. Los tipos principales de agregado grueso pesado son punzones de acero, baritinas, magnetitas y limonitas. La propiedad del concreto pesado para protección de radiación depende de la densidad del producto compacto más que de la relación agua-cemento. En algunos casos, la única consideración es la alta densidad, en tanto que en otros gobierna la densidad y la resistencia

2.5.2.- Agregado fino

El agregado fino es un relleno más pequeño hecho de arena. Varía en tamaño desde el núm. 4 hasta el núm. 100 del tamiz estándar americano. Un buen agregado fino deberá estar siempre libre de impurezas orgánicas, arcilla o cualquier material dañino o relleno excesivo de tamaños más pequeños que la tamiz del núm. 100. Deberá tener de preferencia una combinación bien graduada de acuerdo con las normas de análisis de tamiz de la Sociedad Americana para Ensaye de Materiales (ASTM).

En el concreto para protección de radiación, los agregados finos utilizados son municiones finas de acero y mineral de hierro triturado.

2.5.3.- Graduación de mezclas de concreto de peso normal

La graduación recomendada de agregados gruesos y finos para concretos de peso normal se presenta en la siguiente tabla:

Por ciento que pasa					
Agregado grueso					
Tamaño del tamiz estándar estadounidense	No.4 a 2 in	No. 4 a 1 1/2 in	No.4 a 1 in	No. 4 a 3/4 in	Agregado fino
2 in	95-100	100	--	--	--
1 1/2 in	--	95-100	100	--	--
1 in	25-70	--	95-100	100	--
3/4 in	--	35-70	--	90-100	--
1/2 in	10-30	--	25-60	--	--
3/8 in	--	10-30	--	20-55	100
No.4	0-5	0-5	0-10	0-10	95-100
No.8	0	0	0-5	0-5	80-100
No.16	0	0	0	0	50-85
No.30	0	0	0	0	25-60
No.50	0	0	0	0	10-30
No.100	0	0	0	0	2-10

2.5.4.- Graduación de mezclas de concreto de peso ligero

Los requisitos de graduación para el agregado de peso ligero para el concreto estructural se da en la siguiente tabla:

Requisitos de graduación para los Agregados en Concretos Ligeros Estructurales (ASTM C-330)

Porcentajes (por peso) que pasan tamices de abertura cuadradas									
Designación del tamaño	1 in (25.0 mm)	¾ in (19.0 mm)	1/2 in (12.5 mm)	3/8 in (9.5 mm)	No.4 (4.75 mm)	No. 8 (2.36 mm)	No.16 (1.18 mm)	No.50 (300µm)	No.100 150 µm
Agregado fino No.4 a 0	--	--	--	100	85-100	--	40-80	10-35	5-25
Agregado grueso 1 in a No.4	95-100	--	25-60	--	0-10	--	--	--	--
¾ in a No.4	100	90-100	--	10-50	0-15	--	--	--	--
1/2 in a No.4	--	100	90-100	40-80	0-20	0-10	--	--	--
3/8 in a No.8	--	--	100	80-100	5-40	0-20	0-10	--	--
Agregado grueso y fino combinados									
1/2 in a 0	--	100	95-100	--	50-80	--	--	5-20	2-15
3/8 in a 0	--	--	100	90-100	65-90	35-65	--	10-25	5-15

Pesos unitarios de agregados

El peso unitario del concreto depende del peso unitario del agregado, el cual depende a su vez del tipo de agregado: sea normal, ligero, o pesado (para protección de radiación). La siguiente tabla da los pesos unitarios de los distintos agregados y el correspondiente peso unitario del concreto.

Peso unitario de los agregados

Tipo	Peso unitario del agregado seco compactado (lb/ft ³) ^a	Peso unitario del concreto (lb/ft ³) ^a
Concretos aislados (perlita, vermiculita, etc).	15-50	20-90
Ligero estructural	40-70	90-110
Normal	70-110	130-160
Pesado	> 135	180-380

^a1 lb/ft³ = 15.02 kg/m³

2.6.- Aditivos

Los aditivos son otros materiales que además del agua, agregado o cemento hidráulico se utilizan como ingredientes del concreto y se adicionan a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado. Su función es la de modificar las propiedades del concreto para "hacerlo más apropiado para el trabajo a mano, o por la economía, o para otros propósitos tal como el ahorro de energía". Los aditivos de mayor frecuencia en procesos constructivos son:

1. Aditivos acelerantes
2. Aditivos inclusores de aire
3. Aditivos reductores de agua y aditivos controladores de fraguado

2.6.1.- Aditivos acelerantes

Estos aditivos se adicionan a la mezcla de concreto para reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia a temprana edad. Los más conocidos son los cloruros de calcio. Otros acelerantes químicos incluyen una amplia variedad de sales solubles, tales como cloruros, bromuros, carbonatos, silicatos y algún otro compuesto orgánico, tal como trietanolamina.

Debe enfatizarse que los cloruros de calcio no deberán utilizarse donde pueda ocurrir una corrosión progresiva del acero de refuerzo. La dosis máxima es del 2% del peso del cemento portland.

2.6.2.- Aditivos inclusores de aire

Estos aditivos forman diminutas burbujas de 1 mm de diámetro o menores en el concreto mortero durante el mezclado, se utilizan para incrementar la manejabilidad de la mezcla durante la colocación y mejorar la resistencia al congelamiento del producto terminado.

La mayoría de los aditivos inclusores de aire se encuentran en forma líquida, aunque unos cuantos en polvo, escamas o semisólidos. La cantidad de aditivo que se requiere para obtener un contenido de aire dado depende de la forma y graduación del agregado que se utilice. Entre más fino sea el tamaño del agregado, mayor será el porcentaje de aditivo que se necesite. También está gobernada por otros factores, tales como tipo y condición del mezclador, uso de ceniza muy fina u otras puzulanas y el grado de agitación de la mezcla. Puede esperarse que la inclusión de aire reduzca la resistencia del concreto. Manteniendo el contenido de cemento y la manejabilidad, sin embargo, compensa la reducción parcial de la resistencia debido a la reducción resultante en la relación agua-cemento.

2.6.3.- Aditivos reductores de agua y controladores de fraguado

Estos aditivos incrementan la resistencia del concreto. Permiten también una reducción en el contenido de cemento en proporción a la reducción en el contenido de agua.

La mayor parte de los aditivos reductores de agua son solubles en ella. El agua que contienen viene a ser parte del agua que se mezcla en concreto y se adiciona al peso total del agua en el diseño de la mezcla. Debe enfatizarse que la proporción del mortero al agregado grueso siempre será la misma. Cambios con las correspondientes variaciones en el contenido de agregado fino de manera que el volumen del mortero sea el mismo.

2.7.- Concreto

El conocimiento general alcanzado del capítulo anterior puede ahora utilizarse para diseñar y obtener un concreto de características y funciones para adaptarse a un propósito definido. Como puede verse, la proporción y tipos de los ingredientes establecen en parte

la calidad del concreto y por lo tanto la calidad del sistema estructural total. No únicamente deberán escogerse buenos materiales, sino deberá mantenerse una uniformidad en todo el producto.

En las siguientes secciones se resumen las características generales de un buen concreto.

2.7.1.- Densidad

El espacio ocupado por el concreto deberá, tanto como sea posible, llenarse con agregado sólido y gel-cemento libre de panales. La densidad puede ser el criterio principal para los tipos de concreto que interceptan la radiación nuclear.

2.7.2.- Resistencia

El concreto deberá tener siempre suficiente fuerza y resistencia interna ante los varios tipos de falla.

2.7.3.- Relación agua-cemento

La relación agua-cemento deberá controlarse en forma apropiada para dar la resistencia de diseño requerida.

2.7.4.- Textura

Las superficies de concreto expuestas deberán tener una textura densa y dura de manera que puedan resistir condiciones climatológicas adversas.

La mayor parte de los aditivos reductores de agua son solubles en ella. El agua que contienen viene a ser parte del agua que se mezcla en concreto y se adiciona al peso total del agua en el diseño de la mezcla. Debe enfatizarse que la proporción del mortero al agregado grueso siempre será la misma. Cambios con las correspondientes variaciones en el contenido de agregado fino de manera que el volumen del mortero sea el mismo.

2.7.- Concreto

El conocimiento general alcanzado del capítulo anterior puede ahora utilizarse para diseñar y obtener un concreto de características y funciones para adaptarse a un propósito definido. Como puede verse, la proporción y tipos de los ingredientes establecen en parte

la calidad del concreto y por lo tanto la calidad del sistema estructural total. No únicamente deberán escogerse buenos materiales, sino deberá mantenerse una uniformidad en todo el producto.

En las siguientes secciones se resumen las características generales de un buen concreto.

2.7.1.- Densidad

El espacio ocupado por el concreto deberá, tanto como sea posible, llenarse con agregado sólido y gel-cemento libre de panales. La densidad puede ser el criterio principal para los tipos de concreto que interceptan la radiación nuclear.

2.7.2.- Resistencia

El concreto deberá tener siempre suficiente fuerza y resistencia interna ante los varios tipos de falla.

2.7.3.- Relación agua-cemento

La relación agua-cemento deberá controlarse en forma apropiada para dar la resistencia de diseño requerida.

2.7.4.- Textura

Las superficies de concreto expuestas deberán tener una textura densa y dura de manera que puedan resistir condiciones climatológicas adversas.

2.7.5.- Parámetros que afectan la calidad del concreto

Para lograr las propiedades mencionadas anteriormente, tiene que practicarse un buen control de calidad. Los parámetros más importantes son:

- 1. Calidad del cemento**
- 2. Proporción del cemento en relación al agua en la mezcla**
- 3. Resistencia y limpieza del agregado**
- 4. Interacción o adhesión entre la pasta de cemento y el agregado**
- 5. Mezclado adecuado de los ingredientes**
- 6. Apropriada colocación, terminación y compactación del concreto fresco**
- 7. Curado a una temperatura no menor de 50°F mientras el concreto colocado alcanza su resistencia**
- 8. Contenido de cloruro no excede 0.15 por ciento en el concreto reforzado expuesto a cloruros en condiciones de servicio y un por ciento para concreto protegido seco.**

Un estudio de estos requisitos muestra que la mayoría de las acciones de control deberán tomarse antes de colocar el concreto fresco. Ya que tal control se rige por las proporciones y la facilidad o dificultad mecánica en el manejo y colocación, deberá estudiarse el desarrollo del criterio basado en la teoría de proporcionamiento para cada mezcla. La mayoría de los métodos de diseño de mezcla han venido a ser en esencia únicamente de valor histórico y académico.

Los dos métodos aceptados de manera universal para el proporcionamiento de la mezcla para concreto de peso normal y ligero son los métodos de proporcionamiento descritos en la práctica recomendada para la selección de proporciones para concreto de peso normal y pesado y la práctica recomendada para la selección de proporciones para concreto ligero estructural del Instituto Mexicano del Concreto.

2.8.- Teoría del Proporcionamiento

La teoría de la relación agua-cemento (relación a-c) establece que para una combinación dada de materiales (y mientras se obtenga una consistencia manejable), la resistencia del concreto a cierta edad depende de la relación del peso del agua de la mezcla al peso del cemento. En otras palabras, si la relación de agua a cemento es fija, la resistencia del concreto a una determinada edad es también esencialmente fija, mientras la mezcla sea elástica y manejable y el agregado sólido, durable y libre de materiales dañinos. Mientras que la resistencia depende de la relación a-c, la economía depende del porcentaje de agregado presente el cual dará una mezcla manejable. El objetivo del diseñador siempre será el de tener mezclas de concreto de resistencia óptima a un contenido de cemento mínimo y aceptable manejabilidad. Entre más baja sea la relación a-c, mayor será la resistencia del concreto.

Una vez que se ha establecido la relación a-c y escogido la manejabilidad o consistencia que se necesite para el diseño específico, el resto será simple manejo de diagramas y tablas basadas en grandes números de mezclas de prueba. Tales diagramas y tablas permiten un estimado de las proporciones de la mezcla requerida para varias condiciones, así como una predeterminación en revolturas pequeñas no representativas.

2.9.- Pruebas de Calidad.

El concreto elaborado con cemento portland, es el material de construcción más importante en que se emplea un aglomerante. Los aglomerantes comprenden la variedad de productos no metálicos e inorgánicos que pueden mezclarse con agua u otro líquido

para formar una pasta. La pasta que es plástica temporalmente se puede moldear y tener o no agregados incluidos en ella. Más tarde se endurece o fragua en una masa compacta.

Los cementos hidráulicos adquieren sus propiedades aglomerantes de la formación de nuevos compuestos químicos durante el proceso de fabricación.

El término hidráulico aplicado a los cementos, significa que es capaz de desarrollar resistencia y endurecerse en presencia de agua.

El conocimiento de los factores que influyen en los componentes del concreto, es primordial para entender los aspectos fundamentales de la producción y comportamiento del concreto.

Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen de una mezcla típica de concreto, comprendiéndose dentro de esto las arenas y gravas tanto naturales como productos de trituración, además de los materiales especiales para producir concretos ligeros y pesados.

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado. Los agregados se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos. Un agregado es físicamente sano si retiene la estabilidad en su forma con cambios de temperatura, humedad y resiste la acción de la intemperie sin descomponerse. Para que éstos puedan considerarse de resistencia adecuada, deben ser capaces de desarrollar toda la resistencia propia del aglomerante. Cuando la resistencia al desgaste es importante, debe ser duro y tenaz. Las partículas planas o alargadas perjudican la manejabilidad del concreto debido a lo cual es necesario utilizar mezclas con más arena y en consecuencia más cemento y agua.

A continuación se mencionan las pruebas más comunes aplicables a los agregados de un concreto y posteriormente las pruebas que se aplican al concreto fresco y endurecido.

Muestreo de Agregados (Arena y Grava)

Para el muestreo de mantos, piedras de banco o cantera se tomarán muestras de 25 kilogramos cada una de las variaciones notorias en los estratos, observándose las diferencias que haya en cuanto a estructura y color; dichas muestras se tomarán de rocas sanas no intemperizadas. Cuando se requieran pruebas de tenacidad y compresión se tomará además una pieza sensiblemente cúbica con dimensiones de 10 x 10 x 15 centímetros, con el plano de estratificación claramente marcado y sin fisuras o grietas.

Para el muestreo de piedras sueltas y boleos, se tomarán muestras separadas de las distintas clases de piedras que presenten la apariencia de poder usarse como material de construcción.

En el caso de arena y grava producidas en plantas de trituración, cribado o lavado, se tomarán muestras que sean representativas de los diferentes materiales disponibles en el depósito. Si éste se trabaja como un banco con frente de ataque o excavación, la muestra se tomará haciendo un canal en el frente, de manera que sea representativa del material que por apreciación visual dio la apariencia de poder usarse.

Si se desean datos de las distintas variaciones encontradas, deberá ensayarse cada una de las muestras obtenidas, pero si tan sólo se requiere conocer las condiciones promedio, dichas muestras se mezclarán a fin de tomar una muestra compuesta, reduciéndose después por cuarteo.

Cuando los depósitos no tengan frente de ataque se muestreará por medio de sondeos cuyo número y profundidad dependerá de las condiciones locales y la cantidad de material que vaya a usarse.

Es extremadamente difícil obtener una muestra representativa de depósitos grandes de almacenamiento. cuando el muestreo de estos depósitos sea necesario, deberán tomarse series de incremento de muestras a intervalos aleatorios y deben combinarse para formar una sola muestra. No se recomienda el muestreo de camiones, vagones de ferrocarril o barcasas. Siempre es mejor tomar la muestra ya sea antes o después de que el material ha sido entregado, durante la transportación el material tiende a concentrarse en el fondo del recipiente y dificulta la obtención de una muestra representativa. Cuando el muestreo sea necesario se hará excavando cierto número de sitios escogidos al azar profundizando lo más posible para obtener una muestra compuesta, de la combinación de todas las porciones obtenidas individualmente.

La formación de apilamientos tiende a causar mucha segregación, en particular con agregados grandes y de granulometría discontinua. Por lo general las partículas mayores se mueven hacia la parte exterior y hacia la base de apilamiento. El grado de segregación varía según la altura de la caída, la granulometría del material, la humedad y otras condiciones.

Para el muestreo del agregado grueso se recomienda tomar muestras separadas en distintas partes, teniendo cuidado de observar las áreas de segregación y considerando que el material cercano a la base, probablemente presente segregación, teniéndose material más grueso que el promedio que pueda encontrarse en el material apilado. Una vez identificados los sitios para la toma de muestras se introduce un tablón dentro del apilamiento, justamente arriba del área que se va a muestrear, lo que evita que las partículas grandes del agregado grueso rueden dentro del área y provoquen la segregación de la muestra. Se excava debajo de la tabla y se desecha el material, después se toma la

porción de muestra del material intacto, excavando verticalmente dentro del apilamiento. Este procedimiento se repite en los sitios seleccionados alrededor del apilamiento hasta recolectar la cantidad de muestras que representen las condiciones del apilamiento.

Agregado fino

Es algo más fácil obtener una muestra representativa del agregado fino de un apilamiento ya que el material tiene menos tendencia a segregarse. La muestra puede obtenerse removiendo la capa exterior del material hasta que se tenga a la vista arena húmeda, tomando varias porciones de muestra en diversos sitios para integrar la muestra final, o bien introduciendo un tubo muestreador con longitud de 1.8 metros y diámetro de tres centímetros como mínimo. El tubo se empuja dentro del apilamiento perpendicularmente a la cara del mismo, en los puntos elegidos. El contenido del tubo se vacía en una bolsa de muestreo, tomando así varias porciones en varios puntos alrededor del apilamiento, hasta integrar la cantidad adecuada de muestra.

El número que se requiere de muestras depende del uso que se piense dar al material, de la cantidad que se necesite para una obra determinada y de las variaciones que existan tanto de calidad como al tamaño de los materiales. deberá obtenerse una cantidad suficiente de muestras a fin de abarcar todas las posibles variaciones en el material. Se recomienda que cada muestra de piedra triturada, de grava, de escoria o de arena, represente aproximadamente al material correspondiente a 50 toneladas. Las muestras que vayan a sujetarse al análisis granulométrico mediante el proceso mecánico, se ajustará a los requisitos de peso que se mencionan en la tabla siguiente propuesta por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Tamaño nominal máximo de las partículas que pasan por la malla	Peso mínimo de las muestras de campo, en kilogramos.	Peso máximo de las muestras de ensaye en kilogramos (*).
Agregado Fino		
No. 10	5	0.1
No. 4.75	5	0.5
Agregado Grueso		
No. 9.5	5	1.0
No. 12.7	10	2.5
No. 19.0	15	5.0
No. 25.4	25	10.0
No. 38.1	35	15.0
No. 50.8	45	20.0
No. 63.5	50	25.0
No. 76.2	60	30.0
No. 88.9	75	35.0

* La muestra sobre la que se vaya a ejecutar la prueba deberá obtenerse de la muestra de campo por medio de cuarteo.

Para el muestreo de arena y grava naturales en el caso en que ambas estén combinadas y prevalezca la grava en un 50% o más del total, la muestra pesará por lo menos 50 kilogramos. En caso de que haya un menor porcentaje de grava, la muestra se incrementará proporcionalmente; cuando a las muestras se les someta a un proceso mecánico para determinar su granulometría, éstas se ajustarán a la tabla antes mencionada.

El traslado de las muestras se realizará en recipientes que impidan la pérdida de finos que compongan a los materiales.

Análisis Granulométrico

Este análisis que se realiza en forma similar a la aplicación a los suelos es importante ya que la clasificación y el tamaño máximo de los áridos, repercuten en las dosificaciones, manejabilidad, economía, porosidad y contracción de un concreto.

En este caso las mallas que se emplean son las siguientes:

Agregado grueso (grava) Números: 4,75, 9.5, 12.5, 19.0, 25.0, 37.5 y 50.0
Agregado fino (arena) Números: 4.75, 2.36, 1.18, 0.60, 0.30, 0.15 y 0.075.

Módulo de Finura (MF)

Este es un índice utilizado para describir si el agregado es fino o grueso, obteniéndose al sumar los porcentajes acumulados retenidos entre las mallas números 4.75 y número 0 15, dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una medida del grosor o finura del material. Pudiendo clasificarse la arena por su módulo de finura de la siguiente manera:

Clasificación	MF
Arena gruesa	2.50 - 3.50
Arena fina	1.50 - 2.50
Arena muy fina	0.50 - 1.50

El rango aceptado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es de 2.30 a 3.10 para arenas que se empleen en la elaboración de concreto hidráulico.

Los cambios en la granulometría de la arena en gran variación, tienen poco efecto sobre la resistencia a la compresión de los morteros y concreto cuando se mantienen constantes la proporción agua-cemento y el revenido. Ahora bien, esos cambios en la granulometría de la arena ocasionan que el contenido de cemento varíe en relación inversa con el módulo de finura de la arena; aunque este cambio es el contenido de cemento no es muy grande, la granulometría de la arena tiene marcada influencia en la manejabilidad y calidad de acabado del concreto.

El agregado grueso, se escoge hasta el tamaño máximo que resulte práctico para un trabajo; siendo el límite superior normal de seis pulgadas. Cuanto mayor sea el tamaño máximo del agregado grueso, menos agua y cemento se requerirán para producir concreto de una calidad dada.

El tamaño máximo no debe ser mayor de las dos terceras partes del espaciamiento mínimo en varillas de refuerzo o sección mínima de la forma, menor de una quinta parte de la menor dimensión entre los lados de las cimbras y no mayor a una tercera parte del peralte de las losas.

Densidad y Absorción.

Esta prueba es esencial sobre todo para el diseño de dosificaciones de concreto, ambas pruebas están íntimamente relacionadas y dan una idea general de la calidad y características del material, podemos decir que a densidades altas y bajas absorciones

corresponden materiales compactos y existentes, a no ser que presenten planos o superficiales de debilitamiento. Sin embargo existen también materiales porosos de bajas densidades y altas absorciones, que son bastantes resistentes y que se identifican fácilmente por la presencia de poros o cavernas visibles a simple vista.

La densidad influye directamente en las características de los concretos ya que el empleo de un agregado muy denso provocará concreto cuyo peso volumétrico es alto, ocurriendo lo inverso en materiales de baja densidad, útiles en la elaboración de concretos ligeros.

La metodología de las pruebas es similar al empleado en la determinación de la densidad y absorción de los suelos, empleando para la grava el método para retenidos en la malla número 4.75 y para la arena el que se aplica a partículas que pasan la citada malla, siendo esta última la frontera entre las gravas y las arenas.

Pesos Volumétricos secos del Agregado Fino y Grueso.

El peso volumétrico se define como la relación que existe entre el peso de un material por unidad de volumen, expresado generalmente en kilogramos por metro cúbico. Su uso más común es en la transformación de dosificaciones de materiales medidos en peso a proporciones en volumen o viceversa. Dependiendo del procedimiento de acomodo de las partículas que componen un material, podrá ser peso volumétrico seco suelto o peso volumétrico seco varillado o compacto, según proceda.

La diferencia primordial entre los pesos específicos y los volumétricos radica en que los primeros dan una idea de la composición física de cada una de las partículas y los segundos presentan la composición del conjunto incluyendo los vacíos entre las partículas.

El procedimiento consiste en emplear un recipiente de forma cilíndrica provisto de asas cuyas dimensiones serán las siguientes; dependiendo del tamaño máximo del agregado al cual se determinará su peso volumétrico.

Tamaño máximo de los agregados	Cap. aprox. en litros	Diámetro interior cms	Altura interior cms
1.27 cms. (1/2")	3	15.0	17.0
2.54 cms. (1")	10	20.0	32.0
3.81 cms. (1 1/2")	15	25.0	31.0
10.1 cms. (4")	30	35.0	31.0

corresponden materiales compactos y existentes, a no ser que presenten planos o superficiales de debilitamiento. Sin embargo existen también materiales porosos de bajas densidades y altas absorciones, que son bastantes resistentes y que se identifican fácilmente por la presencia de poros o cavernas visibles a simple vista.

La densidad influye directamente en las características de los concretos ya que el empleo de un agregado muy denso provocará concreto cuyo peso volumétrico es alto, ocurriendo lo inverso en materiales de baja densidad, útiles en la elaboración de concretos ligeros.

La metodología de las pruebas es similar al empleado en la determinación de la densidad y absorción de los suelos, empleando para la grava el método para retenidos en la malla número 4.75 y para la arena el que se aplica a partículas que pasan la citada malla, siendo esta última la frontera entre las gravas y las arenas.

Pesos Volumétricos secos del Agregado Fino y Grueso.

El peso volumétrico se define como la relación que existe entre el peso de un material por unidad de volumen, expresado generalmente en kilogramos por metro cúbico. Su uso más común es en la transformación de dosificaciones de materiales medidos en peso a proporciones en volumen o viceversa. Dependiendo del procedimiento de acomodo de las partículas que componen un material, podrá ser peso volumétrico seco suelto o peso volumétrico seco varillado o compacto, según proceda.

La diferencia primordial entre los pesos específicos y los volumétricos radica en que los primeros dan una idea de la composición física de cada una de las partículas y los segundos presentan la composición del conjunto incluyendo los vacíos entre las partículas.

El procedimiento consiste en emplear un recipiente de forma cilíndrica provisto de asas cuyas dimensiones serán las siguientes; dependiendo del tamaño máximo del agregado al cual se determinará su peso volumétrico.

Tamaño máximo de los agregados	Cap. aprox. en litros	Diámetro interior cms	Altura interior cms
1.27 cms. (1/2")	3	15.0	17.0
2.54 cms. (1")	10	20.0	32.0
3.81 cms. (1 1/2")	15	25.0	31.0
10.1 cms. (4")	30	35.0	31.0

El peso volumétrico seco suelto de la arena o la grava, se determinará llenando el recipiente adecuado por medio de un cucharón, descargando el agregado desde una altura no mayor de cinco centímetros respecto a la parte superior del recipiente, hasta que el material forme un cono natural al raz del recipiente y evitando hasta donde sea posible la segregación de las partículas. Durante el llenado el recipiente no deberá moverse ni afectarse por vibración alguna.

En seguida se enrasa la superficie con los dedos o una regla, de modo tal que los salientes de las partículas mayores del agregado grueso, compensen aproximadamente los huecos mayores de la superficie en la parte superior de la medida. Se determina el peso volumétrico dividiendo el peso neto del agregado entre el volumen del recipiente.

El peso volumétrico seco compacto se llevará a cabo llenando un tercio de la medida o recipiente, emparejando la parte superior con los dedos, procediendo

posteriormente a varillararlo mediante 25 "piquetes" con una varilla metálica lisa punta de bala de 60 centímetros de longitud y 1.57 centímetros de diámetro. Los "piquetes" se distribuirán uniformemente sobre la superficie. Después se llena la medida a dos tercios de su capacidad y se repite la operación antes descrita, posteriormente se llena el recipiente hasta derramarlo, se varilla 25 veces y se enrasa con una regla o con los dedos compensando los salientes de los agregados mayores con los huecos mayores en la superficie de la muestra.

Durante el varillado se tendrá la precaución de que la varilla no choque con fuerza en el fondo del recipiente y que al golpear la segunda y tercera capa sólo se deberá usar la fuerza suficiente para que la varilla penetre en la capa que se varilla.

El varillado se emplea con tamaños máximos de 50.8 milímetros; a tamaños mayores y que no excedan de 101 milímetros, la medida se llenará en tres capas, compactándose cada una de ellas, levantando alternativamente los lados de la medida aproximadamente unos cinco centímetros y dejándola caer sobre una superficie dura de modo que reciba un golpe seco, esto último se realizará 50 veces por capa (25 veces de cada lado) procediendo posteriormente a enrasarse en la forma descrita dos párrafos antes.

El peso volumétrico se determina dividiendo el peso neto del agregado entre el volumen del recipiente.

Determinación con las Impurezas Orgánicas en la Arena.

Esta prueba sirve para indicar en forma aproximada la presencia de compuestos orgánicos perjudiciales en las arenas naturales que se van a usar para la fabricación de mortero o concreto. El valor principal de la prueba es el de cerciorarse si se requieren

pruebas adicionales de las arenas antes de considerar su empleo y está basada en la siguiente prueba de colorimetría.

Se prepara una solución de color testigo agregando 2.5 mililitros de una solución de ácido tánico al 2%, en 10% de alcohol, a 97.5% mililitros de una solución de hidróxido de sodio al 3%. Esta preparación se colocará en una botella de 360 centímetros cúbicos, se tapará y agitará fuertemente dejándose reposar durante 24 horas.

En una botella graduada de 360 centímetros cúbicos de capacidad, se agrega la arena en estudio hasta la marca de 133 centímetros cúbicos. Se vierte dentro de la botella una solución de hidróxido de sodio al 3% en agua, hasta que el volumen de la arena y el líquido después de la agitación sea de 207 centímetros cúbicos. Se tapa la botella y se agita fuertemente, dejándose reposar durante 24 horas; transcurrido este tiempo se comparará el color del líquido claro que queda arriba de la muestra con el color de la solución testigo preparada al mismo tiempo. Si el color del líquido de la muestra, es más claro que la del testigo, indica que el contenido de materia orgánica es inferior al límite fijado y por lo tanto la arena es aceptable, en caso contrario la arena será estudiada más detenidamente procediendo a lavar la arena y a hacer nuevamente la prueba de colorimetría. Si en esta segunda ocasión se obtiene un color más claro que en la primera prueba, e inferior al límite establecido, esto indicará que existía materia orgánica en la arena y que ésta podrá ser usada previo lavado; en cambio si se obtiene nuevamente un color más oscuro que el color de la solución testigo a pesar de sucesivos y enérgicos lavados, esto indica que posiblemente dicha coloración se deba a la presencia de pequeños contenidos de carbón mineral, minerales de hierro o manganeso, los cuales no son perjudiciales para el concreto, en cuyo caso, la arena podrá ser usada sin lavarse.

Muestreo del Concreto Fresco.

Las muestras que se tomen de un concreto recién elaborado, deben ser verdaderamente representativas de ese concreto, es por esto que las personas encargadas del muestreo; que pueden ser de compañías productoras en cuyo caso se encargarán de controlar la calidad de la producción, o de laboratorios dependientes del dueño de la obra, los cuales verificarán esa calidad, tomen las precauciones necesarias en la toma de muestras apegándose a especificaciones y metodologías de pruebas ya elaboradas para tal fin y que establecen lo siguiente:

El muestreo es aleatorio y el equipo que se emplee para la toma y depósito de la muestra no debe permitir la pérdida de material, ser de un material que no reaccione con el concreto y que esté limpio y húmedas las superficies que entren en contacto con el concreto.

Al muestrear concreto procedente de camiones mezcladores o agitadores y con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados de la muestra, ésta deberá tomarse de cuando menos tres porciones diferentes de la carga, interceptando directamente el flujo de

la descarga de la mezcladora asegurándose que se tome del tercio medio de la misma, la norma establece que se haga después del 15% y antes del 85% de la descarga.

La descarga nunca debe restringirse ya que esto provoca la segregación de los agregados. El tiempo máximo para la toma de las porciones y la integración de la muestra no debe exceder de 15 minutos, además de que durante este tiempo se debe proteger la muestra evitando su contaminación o la pérdida de agua por evaporación.

En el caso del muestreo de mezcladoras estacionarias, se tomarán las mismas precauciones que en el caso anterior, interceptando el flujo de la descarga a la mitad de la misma.

Cuando se deba muestrear el concreto de camiones con caja de volteo o de pavimentadoras, este se efectuará cuando dicho concreto haya sido descargado, integrando la muestra con porciones procedentes de cuando menos cinco lugares diferentes, evitando la contaminación con material de la base hidráulica y que el concreto que integra la muestra exceda los cinco minutos en contacto con la misma, sobre todo si la base es absorbente.

Después de la toma e integración de la muestra, en cualquier caso ésta se traslada hasta el lugar en donde se efectuarán las pruebas y se remezcla con el cucharón para asegurar su uniformidad; en caso de que se requiera que el traslado se efectúe en una carretilla, ésta no deberá permitir la fuga del material y estar provista de una llanta de hule, para evitar que las vibraciones provoquen la segregación del concreto.

Revenimiento.

El revenimiento es la medida de la consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura en un tiempo determinado, de un cono truncado de dimensiones específicas.

Esta prueba o se considera aplicable a concreto con agregados mayores a cuarenta milímetros, cuando esto ocurra los tamaños superiores al especificado serán eliminados por cribado previo al remezclado de la muestra. Para el cribado se colocará en la criba una cantidad de concreto tal que la capa no sea mayor al de una partícula en dicha malla, el mortero adherido al agregado retenido no formará parte de la muestra.

El concreto que pase caerá dentro de un recipiente, adecuado previamente humedecido o sobre una superficie no absorbente, limpia y húmeda. Después se remezcla la muestra y se introduce en tres capas de igual volumen, dentro de un molde cónico truncado con diámetro inferior de 20 centímetros, superior de 10 centímetros y altura de 30 centímetros, el acomodo de cada capa se efectuará con 25 piquetes de una varilla lisa con punta de bala de 16 milímetros de diámetro y 60 centímetros de longitud, los cuales

se distribuirán en forma de espiral de afuera hacia adentro y que penetre dos centímetros en la capa inferior. Las capas llenarán el cono aproximadamente de la siguiente forma:

- Primera capa hasta 7 centímetros
- Segunda capa hasta 15 centímetros
- Tercera capa hasta 30 centímetros

En la última capa en caso de faltar material, este se agrega al décimo y vigésimo golpe, para mantener el nivel del concreto por encima del borde del molde todo el tiempo. Se engrasa rolando la varilla sobre el borde superior del cono, se limpia la superficie

exterior del molde y se levanta este con cuidado, alzándolo verticalmente, evitando giros o inclinaciones del cono que podrían arrastrar el concreto. Se especifica un tiempo de 5 ± 2 segundos para levantar el cono y el tiempo de llenado y levantado no superará los 2.5 minutos.

Inmediatamente después de levantado el cono se mide el asentamiento del concreto con la ayuda del cono y la varilla, la diferencia de la altura del molde y la del centro desplazado del espécimen expresado en centímetros se denomina revenimiento, anotándose con una aproximación de 0.5 centímetros en el laboratorio y en el campo de 1 centímetro.

Tolerancias Aplicables al Revenimiento según NOM-C-155

Revenimiento especificado	Tolerancia en centímetros
menor a 5	± 1.5
de 5 a 10	± 2.5
más de 10	± 3.5

Si al medir el revenimiento éste no cumple con las tolerancias especificadas, se hace una segunda prueba inmediatamente con otra porción de la misma muestra u otra que se tome de la misma revolvedora o entrega, si esta segunda determinación no cumple lo requerido, entonces el concreto no satisface el revenimiento estipulado.

Una mezcla bien proporcionada y trabajable se reviene gradualmente y retiene su forma original, mientras que una mezcla mala se desmorona, disgrega o segrega.

Si dos pruebas consecutivas hechas con la misma muestra presentan fallas por caer parte del concreto a un lado, probablemente el concreto carece de la necesaria plasticidad y cohesividad para que pueda aplicarse la prueba de revenimiento.

Elaboración de Especímenes de Concreto.

La forma más común de determinar la resistencia del concreto, es ensayando a la compresión cilindros con diámetros de 15 centímetros y 30 centímetros de altura o a la flexión mediante vigas con sección de 15 x 15 centímetros y 50 centímetros de longitud.

El diámetro de los especímenes cilíndricos o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular debe ser cuando menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso empleado en el concreto. Durante la elaboración de los especímenes se debe eliminar manualmente aquellas partículas mayores al anterior, que ocasionalmente se encuentran dentro de la granulometría normal. El tamaño máximo nominal debe ser el correspondiente a la malla siguiente superior a la que se retiene cuando menos 10% del agregado; en caso contrario se considera como tamaño máximo nominal el de la malla que retiene la fracción.

En general se deben preparar tres o más especímenes para cada edad o para cada condición de prueba, a menos que se especifique otra cosa. Las edades de prueba comúnmente empleadas son: 7 y 28 días para las pruebas de resistencia a la compresión, ó 14 y 28 días para las de resistencia a la flexión; los especímenes elaborados con cemento tipo III de rápida resistencia alta, se prueban frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días de edad. Para pruebas a edades posteriores se emplean a menudo 3, 6 y 12. meses.

Los especímenes se elaboran lo más cerca posible al lugar en donde serán almacenados durante las primeras 24 horas, de no ser así se transportarán cuidadosamente a dicho lugar inmediatamente después de su enrasado, colocándolos sobre una superficie rígida que no esté sujeta a vibraciones u otras perturbaciones. Se deben evitar los movimientos bruscos, los golpes y las inclinaciones o rayado de la superficie de los especímenes al ser transportados al lugar de almacenaje.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana C-159-1977, el concreto empleado en las pruebas de revenimiento y rendimiento, puede ser incrementado a la revoltura remezclándola hasta que se observe homogénea. Después de remezclado, el concreto se coloca dentro de los moldes, empleando un cucharón, cuchara de albañil sin filo o una pala.

Los moldes deben ser de lámina gruesa o cualquier otro material rígido y no absorbente, que no sea susceptible de ser atacado por la pasta de cemento portland u otros cementos hidráulicos. El plano definido como borde del cilindro debe ser perpendicular a su eje, las dimensiones del molde no deben variar de los valores especificados en más de 1.5 milímetros en su diámetro ni en más de 6 milímetros en su altura. Se revisa que los

moldes estén sellados para evitar fugas de agua o mortero, una vez sellados se aceitan ligeramente las superficies del molde con aceite rebajado con petróleo.

Se selecciona cada porción de concreto tomándola del recipiente de remezclado, en tal forma que sea representativa de la revoltura. Se mueve el cucharón alrededor de la parte superior del molde al descargar el concreto, para asegurar una distribución simétrica de éste y para reducir la segregación del agregado grueso dentro del molde. Se distribuye aún más el concreto colocado, empleando la varilla antes de iniciar la compactación; al colocar la última capa el operador debe procurar que la cantidad de concreto agregado llene el molde con exactitud después de su compactación. A un molde incompleto, no deben agregarse porciones de concreto que no sean representativas.

Se elaboran los especímenes llenando y compactando en capas, según lo indicado en la siguiente tabla.

Tipo y dimensiones del espécimen (altura en centímetros)	Método de compactación	Número de capas	Espesor aproximado de la capa (en centímetros)
Cilindros			
Hasta 30	Varillado	3 iguales	10
Más de 30	Varillado	según lo requiera	10
Hasta 45	Vibrado	2 iguales	22.5
Más de 45	Vibrado	3 o más	20 (lo más cercano posible)
Prismas			
Hasta 20	Varillado	2 iguales	10
Más de 20	Varillado	3 ó más	10
Hasta 20	Vibrado	1	20
Más de 20	Vibrado	2 o más	20 (lo más cercano posible)

La elaboración de especímenes adecuados requiere el empleo de diferentes métodos de compactación que pueden ser: varillado y vibrado interno o externo; dependiendo del revenimiento a menos que el método se establezca en las especificaciones bajo las cuales se cumple el contrato.

Para revenimientos mayores a 8 centímetros se compacta varillando.

Para revenimientos entre 3 y 8 centímetros se compacta varillando o vibrando.

Para revenimientos menores a 3 centímetros se compacta vibrando.

No se debe emplear la vibración interna en cilindros de diámetro de 10 centímetros o menores, en vigas o prismas de 10 centímetros de ancho o algunas menores.

En concretos con contenido de agua muy bajo, pueden ser compactados con vibración externa, pero se requieren fuerzas adicionales en la superficie para acomodar completamente el agregado grueso y consolidar la revoltura.

Cuando se emplea el varillado, se coloca el concreto dentro del molde en el número de capas y espesor especificado, empleando el número de penetraciones y tamaño de la varilla que se mencionan en la siguiente tabla:

Cilindros Verticales

Diámetro del cilindro (en centímetros)	Diámetro de la varilla (en milímetros)	Número de varillados por capa.
5 a 15	10	25
15	16	25
20	16	50
25	16	75

Vigas y Prismas

Área superficial del espécimen (cms ²)	Diámetro de la varilla (en milímetros)	Número de varillados por capa.
160 o menos	10	25
entre 165 y 310	10	Uno por cada 7 cms ² de superficie
320 ó más	16	Uno por cada 14 cms ² de superficie

Se compacta la capa inferior en todo su espesor distribuyendo los golpes uniformemente en toda la sección transversal del molde y para cada capa superior, la varilla, penetrará aproximadamente un centímetro en cada capa superior cuando la capa sea menor de diez centímetros o dos centímetros si las capas son de diez centímetros o mayores. En caso de que la varilla produzca oquedades, se golpean ligeramente las paredes del molde para eliminarlas hasta donde sea posible.

En el caso de los moldes prismáticos, después de varillar cada capa se debe introducir y sacar repetidamente una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada en la zona de contacto del concreto y el molde en todo su perímetro.

Cuando se emplea el vibrado, éste se mantiene el tiempo necesario para lograr una compactación apropiada del concreto, generalmente hasta que el agregado grueso comienza a desaparecer de la superficie y ésta empieza a tener un aspecto relativamente liso. El exceso de vibración puede producir segregación, se llenan los moldes y se vibran

de acuerdo a lo especificado anteriormente. Se coloca dentro del molde todo el concreto de una capa, antes de iniciar la vibración de la misma; se coloca la última capa en tal forma, que se evite rebasar el molde en más de cinco milímetros, el diámetro de la flecha del vibrador interno, debe ser como máximo la tercera parte del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al del vibrador y debe ser de cuatro o mayor. Al compactar el espécimen, el vibrador no debe tocar el fondo a los lados del molde y se extra cuidadosamente, con el fin de evitar oquedades en el espécimen. Después de vibrar cada capa se golpean ligeramente los lados del molde, para asegurar la eliminación de burbujas de aire atrapado en la superficie del espécimen.

En el caso de los cilindros, para cada capa se introduce tres veces el vibrador en diferentes puntos, permitiendo que penetre la capa en proceso y aproximadamente dos centímetros en la capa inmediata inferior.

Para las vigas y prismas se introduce el vibrador, en separaciones que no excedan de 15 centímetros a lo largo de ambos lados. Para especímenes de ancho mayor de 15 centímetros, se introduce el vibrador en forma alternada a lo largo de dos líneas, permitiendo que penetre aproximadamente dos centímetros en la capa inmediata inferior.

El acabado de los especímenes, después de ser compactados, se realiza enrasando la superficie del concreto con un enrasador de madera o metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que esté a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios mayores de 1.5 milímetros.

Condiciones de Almacenamiento Inicial de las Probetas.

Dentro de las primeras 24 horas posteriores al moldeado, durante el descimbrado y hasta el momento de proceder al transporte al lugar donde serán curados hasta la edad especificada, los especímenes deben almacenarse bajo condiciones que mantengan la temperatura del ambiente entre 16 y 27 grados centígrados y con la protección necesaria para evitar la pérdida de humedad en ellos. Con este propósito, es necesario que los especímenes sean mantenidos bajo techo, de preferencia en ambiente cerrado y cubierto, pudiendo ser almacenados en este periodo en cajas herméticas de madera, pozos con arena húmeda, dentro de bolsas de plástico impermeable perfectamente cerradas, o siguiendo cualquier otro procedimiento que cumpla con los requisitos de mantener las condiciones de temperatura especificada sin pérdida de humedad.

Cuando los especímenes elaborados son de forma cilíndrica, deben retirarse de los moldes de preferencia a las 24 horas después del moldeo, permitiéndose un margen de entre 16 y 48 horas; transportándose posteriormente para continuar su curado.

de acuerdo a lo especificado anteriormente. Se coloca dentro del molde todo el concreto de una capa, antes de iniciar la vibración de la misma; se coloca la última capa en tal forma, que se evite rebasar el molde en más de cinco milímetros. el diámetro de la flecha del vibrador interno, debe ser como máximo la tercera parte del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al del vibrador y debe ser de cuatro o mayor. Al compactar el espécimen, el vibrador no debe tocar el fondo a los lados del molde y se extra cuidadosamente, con el fin de evitar oquedades en el espécimen. Después de vibrar cada capa se golpean ligeramente los lados del molde, para asegurar la eliminación de burbujas de aire atrapado en la superficie del espécimen.

En el caso de los cilindros, para cada capa se introduce tres veces el vibrador en diferentes puntos, permitiendo que penetre la capa en proceso y aproximadamente dos centímetros en la capa inmediata inferior.

Para las vigas y prismas se introduce el vibrador, en separaciones que no excedan de 15 centímetros a lo largo de ambos lados. Para especímenes de ancho mayor de 15 centímetros, se introduce el vibrador en forma alternada a lo largo de dos líneas, permitiendo que penetre aproximadamente dos centímetros en la capa inmediata inferior.

El acabado de los especímenes, después de ser compactados, se realiza enrasando la superficie del concreto con un enrasador de madera o metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que esté a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios mayores de 1.5 milímetros.

Condiciones de Almacenamiento Inicial de las Probetas.

Dentro de las primeras 24 horas posteriores al moldeado, durante el descimbrado y hasta el momento de proceder al transporte al lugar donde serán curados hasta la edad especificada, los especímenes deben almacenarse bajo condiciones que mantengan la temperatura del ambiente entre 16 y 27 grados centígrados y con la protección necesaria para evitar la pérdida de humedad en ellos. Con este propósito, es necesario que los especímenes sean mantenidos bajo techo, de preferencia en ambiente cerrado y cubierto, pudiendo ser almacenados en este periodo en cajas herméticas de madera, pozos con arena húmeda, dentro de bolsas de plástico impermeable perfectamente cerradas, o siguiendo cualquier otro procedimiento que cumpla con los requisitos de mantener las condiciones de temperatura especificada sin pérdida de humedad.

Cuando los especímenes elaborados son de forma cilíndrica, deben retirarse de los moldes de preferencia a las 24 horas después del moldeo, permitiéndose un margen de entre 16 y 48 horas; transportándose posteriormente para continuar su curado.

Cuando los especímenes se elaboran en forma de vigas, deben permanecer en sus moldes durante 48 horas, después de las cuales deben ser transportados en sus moldes hasta el lugar donde deben ser descimbrados y continuar su curado hasta la edad especificada.

Curado de los Especímenes.

Hay dos formas de curar los especímenes, la primera se aplica a los especímenes hechos para comprobar si el proporcionamiento de laboratorio da la resistencia requerida, o como base de aceptación, procediendo a mantener las probetas en condición húmeda después de desmoldadas, a una temperatura entre 18 y 24 grados centígrados, hasta el momento de su ensaye.

Condición húmeda es aquella en la que se mantiene agua libre sobre las superficies de los especímenes todo el tiempo evitándose las corrientes de agua. Cuando las probetas se almacenen en agua, se deberá usar una solución saturada de cal.

La segunda, usada para determinar la fecha en que una estructura puede ser puesta en servicio, consiste en que después de desmoldados los especímenes, éstos se almacenan en la estructura, en un punto tan cercano como sea posible del lugar del muestreo, y deberán recibir la misma protección en contra de los elementos, que se proporcione a las porciones de la estructura que representen.

Los especímenes de control de campo se deberán proteger contra daños mientras estén en la obra. Cuando su ensaye ocurra a la edad de 28 días, deberán enviarse al laboratorio 7 días antes de la prueba. Para otras edades de prueba, los especímenes deberán mantenerse en el campo por lo menos durante $\frac{3}{4}$ partes del tiempo especificado para dicha prueba. Ya en el laboratorio las probetas se conservarán a la temperatura de éste entre 24 y 48 horas antes de la prueba manteniéndose sumergidas en agua.

Cabeceo de los Cilindros.

Debido a que las bases de los especímenes, en general no presentan superficies verdaderamente planas, por lo tanto la carga aplicada durante su ensaye no se distribuirá uniformemente, ocasionando con esto resultados erróneos, por lo cual se hace necesario "emparejar" dichas caras mediante el empleo de un material que desarrolle una resistencia a la compresión igual o mayor a la esperada del espécimen en el tiempo de la prueba. La resistencia del material se determina mediante la elaboración de cubos estándar de 5x5x5 centímetros por lado, ensayados a la compresión.

Al hecho de emparejar las caras de los cilindros se le denomina "cabeceo" y se realizará en los especímenes para pruebas de compresión que no sean planos, con una

tolerancia de 0.005 centímetros. Las superficies cabeceadas no deberán variar del plano en más de 0.005 centímetros y deberán formar ángulos rectos con el eje de los especímenes comprobándose esto midiendo las bases cabeceadas de cada diez probetas y haciendo por lo menos tres lecturas en diferentes diámetros con el apoyo de una regla rígida e bordes rectos y un calibrador de laminillas para espesores. El cabeceo deberá ser lo más delgado

posible y no se deberá escurrir o fracturar cuando se pruebe el espécimen. Se conocen dos procedimientos de cabeceo que son:

- a) Para cilindros recién moldeados
- b) Para cilindros de concreto endurecido

Cabeceo de Cilindros recién moldeados.

Para ello se emplea pasta de cemento portland puro, aplicándola sobre el extremo expuesto hasta que el concreto ha fraguado en el molde, generalmente entre dos o cuatro horas después de moldeado.

Se elabora la pasta de cemento de dos a cuatro horas antes de que se vaya a emplear, a fin de permitir que adquiera su contracción inicial. La resistencia de la pasta, depende de la consistencia en función de la relación agua/cemento, curado, marca y tipo de cemento.

El cabeceo se deberá hacer, colocando una cantidad de pasta en forma cónica sobre el espécimen y después se presiona ligeramente con una placa de cabeceo recién aceitada, hasta que la placa haga contacto con el borde del molde. Se realiza un movimiento torsional para retirar el exceso de pasta y disminuir al mínimo los huecos de aire dentro de la pasta.

Las capas de cemento puro tipo I y tipo III requieren generalmente un mínimo de seis y dos días respectivamente para desarrollar una resistencia aceptable.

Este procedimiento se emplea en especímenes que vayan a ser curados por vía húmeda hasta el momento de la prueba.

Cabeceo de Especímenes de Concreto Endurecido.

Para especímenes que se vayan a probar 18 horas después de ser cabeceados, se podrán usar mezclas de azufre y materiales granulares (generalmente limo).

El mortero de azufre comercial o preparado en el laboratorio se utiliza si endurece en dos horas, debiendo cumplir con los siguientes requisitos:

Resistencia a la compresión a la edad de dos horas.	350 kg/cm
% de materiales combustibles	55.0 a 70.0
% de inertes incombustibles	30.0 a 45.0

El procedimiento consiste en calentar el mortero de azufre de 140 ± 10 grados centígrados; el plato o los dispositivos para el cabeceo deben ser calentados ligeramente antes de ser empleados, para disminuir la velocidad de endurecimiento y permitir la elaboración de capas delgadas, teniendo alrededor de tres milímetros de espesor y en ninguna parte de la misma su espesor excederá a los ocho milímetros.

Inmediatamente antes de vaciar cada capa, se aceita ligeramente el plato de cabeceo y se agita el mortero de azufre fundido. Las bases de los cilindros previo al cabeceo deben estar libres de polvo y humedad, para evitar que formen burbujas de vapor o bolsas de espuma de diámetro mayor a los seis milímetros.

El empleo del mismo material no debe exceder de doce veces, para disminuir al mínimo la pérdida de resistencia y de fluidez; ocasionada por la contaminación del mortero con aceite o con desperdicios de distintas clases y pérdidas de azufre por volatilización.

Los especímenes curados por vía húmeda deben ser mantenidos en condiciones húmedas durante el término comprendido entre el terminado del cabeceo y el momento de la prueba, regresándolos al almacenamiento húmedo o protegiéndolos con una manta o material similar para evitar la evaporación.

Ensayo a la Compresión de Especímenes de Cocreto.

El procedimiento para la prueba de resistencia a la compresión de cilindros de concreto es el siguiente:

La máquina de ensayo podrá ser de cualquier tipo que tenga la capacidad suficiente y que permita aplicar las cargas adecuadamente. La máquina deberá estar provista de dos bloques de apoyo, de acero con superficies de contacto endurecidas (dureza Rokwell no menor de C 60) uno de los cuales deberá ser de asiento esférico y que generalmente se apoyará sobre la superficie superior del espécimen y el otro deberá ser un bloque rígido sencillo sobre el cual descansará el espécimen. Las superficies de apoyo deberán ser, por lo menos del tamaño de la superficie del espécimen sobre la cual se va a aplicar la carga, y de preferencia ligeramente mayores pero que no excedan a los de la siguiente tabla:

Diámetro de los especímenes de prueba (mm)	Diámetro máximo del bloque (mm)
50	100
75	125
100	165
150	250
200	280

Las superficies de apoyo no deberán variar en ningún punto, más de 0.001 centímetro respecto a la condición plana y se deberán mantener dentro del límite de variación permisible de 0.002 centímetros. En el bloque de asiento esférico, el diámetro de la esfera no deberá exceder considerablemente al diámetro del espécimen y el centro de la esfera deberá coincidir con el centro de la superficie de apoyo. La porción móvil de este bloque deberá sostenerse firmemente en el asiento esférico, pero el diseño será tal que la superficie de apoyo se pueda girar libremente o inclinarse formando pequeños ángulos en cualquier dirección. Si la máquina empleada registra la carga en una carátula, ésta debe estar provista de una escala graduada que se pueda leer por lo menos con una aproximación de 100 kilogramos además la escala de graduación debe comenzar en cero y numerada en forma progresiva.

Los especímenes curados en húmedo deben ser ensayados tan pronto como sea posible después de retirarlos del lugar de su curado. Ninguno de los dos extremos de los especímenes de prueba o compresión, se debe apartar de la perpendicular en más de 0.5 grados. Los especímenes deberán ser probados en condición húmeda, y su diámetro se determinará promediando las medidas de los diámetros perpendiculares entre sí y con aproximación de 0.25 milímetros. Cuando la altura del cilindro sea menor de 1.8 diámetros o mayor de 2.2 diámetros ésta será determinada, con aproximación de 0.05 diámetros.

A continuación se coloca el espécimen sobre el bloque interior de la máquina de carga, alineando su eje cuidadosamente con el centro del bloque de carga con asiento esférico; mientras el bloque superior se baja hacia el espécimen, se gira lentamente su parte móvil a mano, para obtener un contacto uniforme.

La carga se aplica en forma uniforme y continua sin impactos. En las máquinas de prueba de tornillo, la cabeza móvil se debe desplazar a una velocidad aproximada de 1.3 mm/minuto, cuando se accione libremente sin el espécimen de prueba. En máquinas hidráulicas, la velocidad de aplicación de la carga debe ser constante dentro del intervalo de 1.4 a 3.5 kg/cm²/segundo. Se puede permitir una velocidad mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima esperada. No se deberá tener ningún ajuste en los controles de la máquina de prueba cuando un espécimen esté cediendo rápidamente momentos antes de la falla. Se aplica la carga hasta que el espécimen falle y se registra la

carga máxima soportada durante la prueba. Se describe el tipo de falla y apariencia del concreto.

Se calcula la resistencia del espécimen a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por éste durante la prueba entre su área de la sección transversal promedio, expresándose en kilogramos sobre centímetro cuadrado y con aproximación de un kilogramo sobre centímetro cuadrado.

Cuando existen defectos de enrasado y el material del cabeceo no tiene la resistencia adecuada, se producen fallas por concentración de esfuerzos en las partes más altas y se registran fallas como las que se muestran a continuación.

Primer caso:

Al enrasar con cinta metálica, si queda un promontorio, se concentrará la carga al centro y aunque las caras sean paralelas se provocará una falla que pueda partir del cilindro en dos mitades o puedan observarse fallas longitudinales, que generalmente soportan cargas de fallas más bajas que las que se alcanzan con un buen ensaye de compresión.

Segundo Caso:

Cuando al enrasar, en la cara superior queda una depresión, al aplicarse la carga se produce una falla que hace que aparezca una "corona" y si el operador registra la pérdida de carga como la carga máxima alcanzada, descargando en ese momento la máquina, generalmente el valor anotado será menor que el que podría alcanzarse aún en esas condiciones, ya que la parte central del cilindro aún no falla.

Tercer Caso:

Cuando las caras del cilindro no quedan aproximadamente paralelas (fuera de la especificación 0.5°) aunque el material cabeceador tenga la resistencia adecuada se provoca generalmente una falla del tipo de corte diagonal.

El tipo de falla óptima para los especímenes ensayados a compresión es el que presenta la forma de un "reloj de arena" y que da un índice de que la prueba se realizó correctamente.

Colocación y Curado del Concreto

2.10.- Colocación

Las técnicas necesarias para la colocación del concreto dependen del tipo de miembro que será colocado: esto es, si es una columna, una viga, un muro, una losa, una cimentación, una presa de concreto o una extensión de un concreto previamente colocado y endurecido. Para vigas, columna y muros, los moldes deberán estar bien lubricados después de haberlos limpiado, y el refuerzo libre de óxido y otros materiales dañinos. En cimentaciones, la tierra deberá compactarse y humedecerse alrededor de 6 in de profundidad para evitar la absorción de la humedad presente en el concreto húmedo. Siempre deberá colocarse el concreto en capas horizontales las cuales se compactarán por medio de vibraciones de alta frecuencia ya sea de tipo sumergido o externo, como el caso lo requiera, a menos que sea colocado por bombeo. Debe tenerse presente que una sobrevibración es dañina debido a que causa la segregación del agregado y el afloramiento del concreto.

2.11.- Curado

Como se vió anteriormente, la hidratación del cemento se lleva a cabo con la presencia de humedad a temperaturas arriba de 50°F. A fin de que la reacción química de hidratación tome lugar, es necesario mantener dicha condición. Si el secado es demasiado rápido, se desarrollan superficies de agrietamiento. Esto vendrá a disminuir la resistencia del concreto debido al agrietamiento así como la falla para lograr una completa hidratación química.

Para facilitar unas buenas condiciones de curado puede utilizarse cualquiera de los siguientes métodos:

- 1. Riego continuo con agua.**
- 2. Inundación con agua.**
- 3. Cubrir el concreto con un yute húmedo, película plástica o papel de curado impermeable.**
- 4. Uso de compuestos líquidos para curación con membrana para retener la humedad original en el concreto húmedo.**

Curado a vapor en los casos donde el miembro de concreto es hecho en fábrica, tal es el caso de vigas y tuberías precoladas y travesaños y pértigas presforzadas. Las temperaturas del curado a vapor son alrededor de 150°F. El tiempo de curado es generalmente de un día,

comparado con los cinco o siete días que se necesitan cuando se utilizan los otros métodos.

Propiedades del Concreto Endurecido

Las propiedades mecánicas del concreto endurecido pueden clasificarse como (1) propiedades instantáneas o de corta duración y (2) propiedades de larga duración. Entre las primeras se encuentran (1) resistencia en compresión, tensión y cortante y (2) rigidez medida por el módulo de elasticidad. Las propiedades de larga duración pueden clasificarse en términos de flujo plástico y contracción. Las siguientes secciones presentan algunos detalles de las propiedades mencionadas anteriormente.

Resistencia a la compresión

Las resistencias a compresión del concreto depende del tipo de mezcla, las propiedades del agregado y el tiempo y calidad del curado. La producción comercial del concreto con agregado ordinario está en el rango de 100 a 300 kg/cm² siendo las resistencias del concreto más comunes en el rango de 100 a 250 kg/cm².

La resistencia a la compresión, f'_c se basa en cilindros estándar de 6" por 12" cuadrados bajo condiciones normales de laboratorio y probados a los 28 días de edad a un tipo de carga especificado. Las especificaciones utilizadas en los Estados Unidos son tomadas por lo general del ASTM C-39. Debe mencionarse que en la estructura real la resistencia del concreto puede no ser la misma del cilindro debido a la diferencia en las condiciones de compactación y curado.

Debe enfatizarse que la f'_c de diseño no será la resistencia promedio de cilindro. El valor de diseño se escogerá de acuerdo con la resistencia mínima de cilindro concebible.

3.- PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

3.1.- Estructura de Pavimento de Concreto Hidráulico

3.1.1.- Sub base

Las principales funciones de la sub base de un pavimento de concreto hidráulico son las siguientes:

1. Proporcionar apoyo completo a la losa de concreto.

comparado con los cinco o siete días que se necesitan cuando se utilizan los otros métodos.

Propiedades del Concreto Endurecido

Las propiedades mecánicas del concreto endurecido pueden clasificarse como (1) propiedades instantáneas o de corta duración y (2) propiedades de larga duración. Entre las primeras se encuentran (1) resistencia en compresión, tensión y cortante y (2) rigidez medida por el módulo de elasticidad. Las propiedades de larga duración pueden clasificarse en términos de flujo plástico y contracción. Las siguientes secciones presentan algunos detalles de las propiedades mencionadas anteriormente.

Resistencia a la compresión

Las resistencias a compresión del concreto depende del tipo de mezcla, las propiedades del agregado y el tiempo y calidad del curado. La producción comercial del concreto con agregado ordinario está en el rango de 100 a 300 kg/cm² siendo las resistencias del concreto más comunes en el rango de 100 a 250 kg/cm².

La resistencia a la compresión, f'_c se basa en cilindros estándar de 6" por 12" cuadrados bajo condiciones normales de laboratorio y probados a los 28 días de edad a un tipo de carga especificado. Las especificaciones utilizadas en los Estados Unidos son tomadas por lo general del ASTM C-39. Debe mencionarse que en la estructura real la resistencia del concreto puede no ser la misma del cilindro debido a la diferencia en las condiciones de compactación y curado.

Debe enfatizarse que la f'_c de diseño no será la resistencia promedio de cilindro. El valor de diseño se escogerá de acuerdo con la resistencia mínima de cilindro concebible.

3.- PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

3.1.- Estructura de Pavimento de Concreto Hidráulico

3.1.1.- Sub base

Las principales funciones de la sub base de un pavimento de concreto hidráulico son las siguientes:

- 1. Proporcionar apoyo completo a la losa de concreto.**

2. Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y la capa subrasante.
3. Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar el suelo que forme las terracerías o la subrasante.
4. Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa subrasante.
5. Evitar el bombeo.

Los esfuerzos que se transmiten a la sub base son pequeños, por lo que la resistencia no suele ser un requisito importante; para que las losas tengan un correcto trabajo deben estar adecuadamente apoyadas, sobre un apoyo que se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento. Cuando el ancho de las bandas de circulación sea tal que las ruedas de los vehículos pesados se mantengan en la zona interior de las losas, puede estimarse que el esfuerzo que llegue a la sub base estará en el orden del 3 al 4% de la presión actuante en la superficie de la losa; esto ocurre con las bandas de circulación del orden de 3 m, las llantas exteriores de los vehículos pesados circulan muy cerca del borde exterior de las losas, y en esta zona se inducen a la sub base mayores esfuerzos que pueden llegar al orden de 0.5 kg/cm^2 . Con los datos anteriores se cuantifica y detalla, la afirmación de que los esfuerzos aplicados por el tránsito a la sub base no suelen imponer condiciones críticas, aún en los casos más desfavorables.

Las funciones que se han anotado más arriba para la sub base de un pavimento de concreto hidráulico definen como material ideal uno granular bien compactado, relativamente grueso y de granulometría más bien uniforme.

El bombeo es un efecto especial de los pavimentos de concreto hidráulico, sumamente indeseable, pero muy frecuente cuando no se toman precauciones especiales. Cuando la carga del tránsito pasa sobre una grieta o junta de la losa, ésta descierde y transmite presión al material bajo de ella. Si el suelo está muy húmedo o saturado, la mayor parte de esta presión la tomará el agua, que tenderá a escapar por la grieta o junta. Después de pasar la carga, la losa se recupera y levanta, y este movimiento produce una succión que ayuda al movimiento del agua bajo la losa. Si el agua tiene capacidad de arrastrar las partículas del suelo, saldrá sucia, creando progresivamente un vacío bajo la losa, que tiende a hacer que el fenómeno se acentúe; además, el remoldeo que este efecto produce al suelo hace que se forme un lodo o suspensión con el agua, con lo que el fenómeno se agudiza. El final del proceso es la ruptura de la losa bajo carga por falta de sustentación, para que se produzca el bombeo es preciso que el material de soporte de una losa sea muy fino, sobre todo del tipo CH y que esté muy humedecido o saturado y es condición indispensable que se produzca un gran número de repeticiones de carga.

Si los suelos en los que se apoya la losa son granulares y no han sido suficientemente compactados, puede producirse en ellos un fenómeno muy similar al bombeo, combinado con densificación, de análogos efectos destructivos.

La experiencia parece indicar que los efectos del bombeo pueden presentarse sólo si la intensidad del tránsito en el tramo en cuestión es superior a 300 ó 400 vehículos diarios.

Para intensidades de tránsito superiores a 1000 vehículos pesados por un día, se recomienda que la sub base cumpla con los siguientes requisitos, adicionalmente al hecho de estar constituida por materiales básicamente no susceptibles al bombeo.

- El tamaño máximo de materiales constitutivos no debe ser mayor de 1/8 de espesor de la sub base.
- La sub base no debe contener más del 15% de material que pase por la malla No. 200.
- El índice de plasticidad del material constitutivo no debe ser menor que 6.
- El límite líquido de material constitutivo debe ser menor que 25%.

Para evitar los ya mencionados efectos de densificación en sub bases granulares deberán compactarse cuidadosamente, seguramente con un nivel no inferior al 100% de la prueba AASHO estándar.

Los requisitos de granulometría son los mismos que se solicitan para las bases de pavimentos asfálticos.

3.1.2.- Losa de Concreto Hidráulico

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre los 200 y 400 kg/cm². Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o preesforzado. Cuando se utiliza el concreto simple o reforzado, el tamaño de las losas es similar, tendiendo generalmente a ser cuadradas con 3 a 5 m de lado, pero en la actualidad existe tendencia a aumentar su área. El concreto pre esforzado permite la utilización de superficies continuas de área muy superior, este hecho, unido a considerables ahorros de espesor que es posible lograr en este caso, induce una tendencia en favor del uso cada vez más frecuente del concreto pre esforzado.

Los factores que afectan al espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice. Las principales propiedades que se deben observar en los materiales que lo constituyen, como son las gravas y las arenas son: dureza, plasticidad, sanidad, forma de la partícula y granulometría.

En cuanto a la plasticidad, la grava y arena deben ser materiales inertes, es decir que deben tener un índice plástico y una contracción lineal de 0; deben cumplir con las normas de desgaste y el intemperismo acelerado, con lo cual se asegura su dureza y durabilidad, aunque también es necesario conocer si los agregados tienen alcalis, y si estos le son perjudiciales al concreto a través del tiempo.

En cuanto a la forma de las partículas conviene que sean lo más rugosas posibles, es decir, que tengan un alto valor de fricción, ya que así se alcanza un buen valor de adherencia con la pasta agua cemento, lo cual no sucede con las partículas redondeadas, como pueden ser los materiales de arroyos y ríos.

Es necesario conocer la granulometría de los materiales para garantizar la resistencia y la densidad del concreto endurecido; sin embargo, no es un elemento determinante para aceptar o rechazar los materiales; así si un determinado concreto no satisface la densidad o la dureza de un concreto endurecido o los vacíos de un concreto fresco, se pueden variar las porciones de los agregados o de la lechada en relación a aquellos, para obtener los resultados necesarios.

Se puede utilizar aditivos para el concreto que se tienen en el mercado para diferentes usos: retardantes o acelerantes de la resistencia; para reducir la cantidad de agua sin disminuir fluidez.

3.1.3.- Juntas

Dentro de la estructuración de un pavimento de concreto hidráulico es muy importante mencionar las juntas; tan indispensables para el buen funcionamiento del pavimento.

Las juntas pueden dividirse en cuatro grupos principales:

- a) Juntas de contracción**
- b) Juntas de expansión**
- c) Juntas de construcción**
- d) Juntas de alabeo o articulación**

Además las juntas suelen denominarse longitudinales o transversales, según el sentido en el que estén dirigidas dentro de la carretera o calle.

Las juntas de Contracción se disponen para aliviar los esfuerzos de tensión causados por contracciones del concreto. Las juntas de Expansión se disponen para permitir que las losas de concreto se expandan una contra otra sin destruirse. Las juntas de Construcción corresponden a las interrupciones de las operaciones de colado y deben garantizar la continuidad estructural. Fundamentalmente las juntas de alabeo o juntas articuladas tienen por misión evitar los agrietamientos a lo largo del eje central de los

pavimentos o en las líneas de unión de las diferentes hileras de losa que se producirán al elevarse sus bordes cuando la losa está cargada.

Las losas suelen hacerse o bien ranurando el concreto, pero garantizando la continuidad a través de la junta por apoyo de concreto contra concreto, o provocando una ranura que se rellena de algún material apropiado o, finalmente, estableciendo la continuidad a ambos lados de la ranura o barras de acero liso (pasajuntas) o corrugado (barras de sujeción).

3.1.3.1.- Juntas de Contracción

Para que el agrietamiento del concreto no sea irregular, sino en forma perpendicular al eje del colado y asegurar el trabajo en conjunto de las losas, es necesario la construcción de juntas de construcción a distancias predeterminadas; de acuerdo al tipo de juntas de contracción que se utilicen, se pueden utilizar tres tipos de losas:

1. De concreto simple.
2. De concreto con pasajuntas de sujeción.
3. De concreto armado

Se dice que un pavimento es de concreto simple cuando no se usa dentro de la masa ninguna cantidad de acero; para asegurar que las grietas no se abran más de 3 mm, se debe tener una relación de largo a ancho de las losas menor de 1.25 siendo muy usual el valor de 1.15. Es práctica común que las losas no sean mayores, en este caso, de 4.50 m la grieta puede inducirse efectuando una muesca por aserrado en la parte superior de la losa de 5 cm mínimo de profundidad y de 4 a 6 mm de ancho; para disminuir el costo del aserrado, ya que el desgaste del disco de diamante o tungsteno es importante, se puede introducir una lámina delgada a todo lo ancho de la losa cuando el concreto todavía esté fresco, retirándola de 10 a 15 minutos después y rellenando la ranura con lechada fresca, utilizando las llanas de los operarios, para que a las 24 hrs, en el mismo lugar, se efectúe la muestra de aserrado; de esta manera ya no se harán los cortes en las gravas, que fueron desalojadas hacia los lados; también se puede reducir la profundidad del aserrado si en la parte inferior, sobre la base impregnada en los mismos sitios en donde se va a aserrar, se colocan pequeñas tiras de madera de sección triangular, con una arista hacia arriba.

Cuando la longitud de la losa es mayor de 4.5 (ancho de la franja de 3.60 m) o sea que la relación de largo ancho es mayor que 1.25 pero menor que 1.4 (largo menor de 6.50 m), se deben utilizar pasajuntas de sujeción, que son varillas corrugadas que se colocan en el sitio de aserrado, hacia la mitad del espesor, con 40 cm de longitud dentro de cada losa. La separación es función del espesor del concreto, de la resistencia de las capas inferiores y del diámetro de la varilla usada. La colocación de estas pasajuntas se realizan antes del colado y se fijan por medio de silletas parecidas al armado de castillos, de forma triangular, en los lugares preseleccionados de acuerdo a la relación, largo ancho adoptada.

En caso de que la relación largo-ancho sea mayor de 1.4 o sea que las losas sean mayores a 6.5 m, entonces se debe utilizar el llamado concreto hidráulico con armado continuo, para lo cual se pueden utilizar mallas prefabricadas o armadas en su lugar, debiendo quedar en el centro del espesor, por lo que en realidad no tiene valor estructural. La cantidad usual de acero colocada longitudinalmente es de 6% del área transversal de la losa.

3.1.3.2.- Juntas de Expansión o Dilatación

Para evitar que cuando las losas de concreto se dilaten, se tengan fuertes esfuerzos de compresión al chocar con un obstáculo, que pueden ser las paredes, o un pavimento rígido de una avenida importante que intercepta al de una secundaria, se deben construir este tipo de juntas.

Estas juntas pueden ser a tope o con pasajuntas de transferencia de carga.

Las juntas de expansión a tope se colocan en donde un pavimento se encuentra con algún obstáculo. Estas juntas se elaboran dejando un espacio de 2 a 4 cm, entre ellas, el cual se rellena con cartón o fibras asfálticas que se comprimen cuando se presentan los esfuerzos de compresión y se expanden, aunque sea parcialmente, al cesar los esfuerzos. En las zonas cercanas al lugar en el cual se tienen obstáculos, se pueden colocar juntas de expansión con pasajuntas para reducir la abertura que se tenga en la junta a tope.

3.1.3.3.- Juntas de Construcción.

Tratándose de pavimentos de concreto hidráulico, se tienen juntas de construcción, las cuales se producen si por algún motivo se suspende el colado del concreto fresco; los motivos pueden ser de carácter fortuito o por procedimientos de construcción; motivos fortuitos pueden ser que terminen los áridos o que se descomponga la mezcladora o que el concreto premezclado no llegue a tiempo y que el colado se suspenda por más de 30 minutos etc; por procedimiento de construcción, se puede suspender un colado al terminarse la jornada de trabajo o al terminarse el ancho de la franja de colado.

Cuando se suspende el colado por una situación de emergencia, o por que se finalizó la franja de colado o se terminó la jornada de trabajo, se procurará que de alguna manera se cuele una losa completa, en donde se forma la sección vertical lisa y se insertan varillas corrugadas, que a la vez no permiten la abertura de la grieta, también sirvan de transmisoras de carga; la varilla debe embeberse 40 cm dentro de la losa ya construida y deberán quedar 40 cm hacia afuera, que serán cubiertos por el nuevo concreto al reanudarse el colado.

3.1.3.4.- Juntas Longitudinales de Construcción

Para colar las franjas de losa, lateralmente se deben colar las franjas de losas, lateralmente deben de colocar una cimbra que contenga el concreto fresco y forme las juntas longitudinales de construcción que son del tipo machimbrado, llamado también de

bisagra o articulada. En algunas ocasiones se colocan pasajuntas de liga, cuya separación a lo largo de la junta se puede encontrar por medio de gráficas. Cuando se cuelan las siguientes franjas laterales, se coloca cemento asfáltico en la parte lateral de la junta de las losas de la franja colada con anterioridad.

En carreteras el uso de las pasajuntas y barras de sujeción es recomendable en las juntas de expansión, pero aquellos elementos suelen suprimirse en las de contracción cuando el espaciamiento entre juntas es menor de 6 m, a no ser que se trate de zonas en que las condiciones de servicio sean particularmente severas, tales como cruces o uniones de pavimentos de concreto hidráulico diferentes.

La junta machihembrada se utiliza también a veces como junta de alabeo donde estos efectos sean de temer, convendrá siempre dotar las juntas de barras.

La tabla siguiente agrupa los requerimientos mínimos recomendados para la colocación de pasa juntas y dispositivos de transmisión de carga en pavimentos de diferentes espesores. El dispositivo típico es una varilla lisa y redonda de acero. La barra de sujeción corrugada no se diseña como un dispositivo típico en transmisión de carga en general; se coloca para resistir las fuerzas de tensión que se generan por las restricciones de fricción que existen entre la losa y la sub base. Cuando estos elementos sean necesarios, su espaciamiento es de acuerdo a las normas de la tabla.

Tipo y grado de acero	Esf. de trabajo kg/cm ²	Espesor del pavimento cm	Barras # 4				Barras # 5			
			Longitud total cm	3m	Espaciamiento ancho de la banda 3.30 m	3.68	Longitud total cm	3m	Espaciamiento ancho de la banda 3.30 m	3.68 m
Acero grado estructural de lingote o de eje	1.5	15	50	115	105	95	60	120	120	120
		17.5		98	90	82		120	120	120
		20		85	77	70		120	120	112
		22.5		75	70	62		120	107	100
		25		67	62	57		107	97	90
Acero grado intermedio de lingote o de eje	1.9	15	60	120	120	117	68	120	120	120
		17.5		120	110	100		120	120	120
		20		105	95	87		120	120	120
		22.5		92	85	77		120	120	120
		25		85	77	70		120	120	120
Acero de riel o de lingote o de eje grado duro	2.3	15	68	120	120	120	88	120	120	120
		17.5		120	120	120		120	120	120
		20		120	117	107		120	120	120
		22.5		115	105	95		120	120	120
		25		102	92	85		120	120	120

El espaciamiento de las barras de sujeción no debe exceder de 1.2 m.

3.2.- Procedimiento de Construcción.

El procedimiento de construcción empleado para la formación de las capas de terracerías, subrasante, así como la sub base del pavimento de concreto hidráulico, es similar al del pavimento asfáltico.

Losa de Concreto Hidráulico

El procedimiento de construcción para una franja de losa de pavimento de concreto hidráulico, es como se indica a continuación; por lo general se requieren más de tres franjas, por lo que el procedimiento se repetirá las veces que se necesite.

Primeramente se eligen los bancos de materiales pétreos (arena y grava), para lo cual es necesario realizar una exploración de la zona en la que se construirá la obra; los probables bancos, que pueden ser playones de río o arroyo, depósitos de materiales aglomerados, conglomerados o roca, se muestrean y se llevan al laboratorio para que se realicen las pruebas de clasificación necesaria, con lo cual, previo estudio económico, se decide cuáles de los bancos se va a utilizar y se recomiendan los tratamientos que se requieren.

Se elige el tipo y marca de cemento Portland, así como los aditivos que se usarán y se encuentran las proporciones que intervendrán; cemento, agua, arena, grava y la cantidad y tipo de aditivo que se usará por unidad de peso o volumen.

Se extrae el material de los bancos y dependiendo de los tamaños, se realizan en su caso los tratamientos previos necesarios como son: cribado, triturado, lavado, etc.

Se acarrean los materiales al lugar de mezclado, que puede ser al pie de la obra si se utilizan mezcladoras de 1 a 3 sacos, o a las plantas de mezclado.

Se realiza el mezclado de los materiales, para lo cual se deberán llevar a cabo las correcciones necesarias, principalmente por la humedad que contienen los pétreos; así mismo, se hará la calibración de los envases o la velocidad de las bandas o abertura de las compuertas, para que de acuerdo a la capacidad de la revoladora se realice la dosificación de los materiales, que pueden ser por volumen, por peso o por el gasto que proporcionan a las bandas, si se usan.

La sub base debidamente compactada e impregnada se humedecerá para que no absorba el agua del concreto fresco, cuidando de no provocar encharcamientos y una vez mezclados adecuadamente los ingredientes, se realiza el vaciado en el encofrado o moldes, los cuales deben colocarse con la debida anticipación y fijados de tal manera que la sub base, que no vayan a tener movimiento con la presión del concreto fresco. También con anticipación se deben colocar, si se va a utilizar el acero necesario, ya sea que el proyecto marque el uso de pasajuntas o de acero continuo. Este acero debe estar soportado, de tal forma, que se encuentre a la mitad del espesor de la losa.

El encofrado habitualmente consiste de la cimbra lateral, de madera o de acero, que debe tener una altura igual a la del espesor de proyecto de la losa y tener una sección transversal tal, que forme una junta de construcción longitudinal tipo bisagra.

El concreto vaciado en el encofrado deberá acomodarse y compactarse por medio de vibradores de inmersión para darle la densidad adecuada; en seguida, se enrasa la mezcla por medio de un vibrador de superficie, con lo cual se da el espesor necesario y un primer acabado.

Si así está indicado, se introducirá a la mezcla en los lugares marcados con anticipación ya sea una lámina de acero o material plástico, para separar las gravas en ese lugar. La lámina de acero se extraerá a los diez o quince minutos y la ranura se rellenará con una lechada por medio de las llanas de los operatorios.

Se dará a la superficie el acabado necesario para que tenga el coeficiente de rugosidad que se requiere, lo cual se puede hacer por medio de cepillos, escobas o utilizando telas fibrosa. Existen también máquinas acanaladoras especiales, que realizan un trabajo muy fino en la superficie de rodamiento y que además de aumentar la fricción entre llanta y superficie, evitan el acuplano, ya que el agua de lluvia que no drena con rapidez hacia los lados, es atrapada por los pequeños canales al paso de los vehículos.

Se elaboran las juntas transversales de contracción, para lo cual, en los lugares señalados, por medio de una cortadora de sierra se forman las muescas que servirán para debilitar la sección del concreto y obligarlo a que se agriete. El aserrado se debe realizar entre 24 y 35 horas después del colado, de tal manera que, al elaborarse la muesca no provoque desprendimiento de concreto a los lados de la sierra.

Se deberán sellar lo más pronto posible estas muescas, para evitar que entren en ellas partículas extrañas que puedan provocar concentraciones de esfuerzos y posibles desportillamientos de las orillas de las losas.

Para el sellado se pueden utilizar materiales tipo termoplásticos, como el cemento asfáltico que endurecen al enfriarse, o los del tipo de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuro o poliuretanos, de venta en el mercado y que hayan tenido buen comportamiento regional.

También se deben efectuar las juntas de expansión, colocando los materiales de relleno y el aserado donde se requiera.

Las obras no se deben abrir al tránsito hasta que el concreto alcance la resistencia del proyecto.

3.3.- Costos por Metro Cuadrado

Construcción de la capa subrasante (16 cm)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Corte de material existente de capa subrasante desperdiciando.	M ³	0,15	7.27	1.09
Compactación de terreno descubierto en el noventa por ciento (90%)	M ³	0,15	4.29	0.64
Extracción de los materiales aprovechables y de los desperdicios; para materiales aprovechables tendidos, conformados y afinados, utilizando equipo mecánico.	M ³	0,19	6.32	1.20
Operación de cribado de los materiales por la malla setenta y seis (76) milímetros (3") tanto para los aprovechables como para los que se desperdicien.	M ³	0,23	5.07	1.97
Carga de los materiales almacenados	M ³	0,18	2.78	0.50
Acarreo de los materiales para cualquier distancia, de material de préstamo de banco para la construcción de la capa subrasante				
a) Para el primer kilómetro	M ³	0,18	2.75	0.50
b) Para kilómetros subsecuentes (9km)	M ³ -Km	1,62	2.06	3.33
Operación de acamellonamiento.	M ³	0,18	1.42	0.26
Operación de mezclado, tendido, conformado y afinamiento para dar el acabado superficial.	M ³	0,18	11.42	2.06
Suma:				N\$10.75

Construcción de la capa subrasante (16 cm)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Extracción de los materiales aprovechables y los desperdicios	M ³	0,19	6.32	1.20
Operación de cribado por la malla de treinta y ocho (38) milímetros (1 1/2")	M ³	0,23	5.79	1.33
Carga de los materiales almacenados	M ³	0,18	2.78	0.50
Acarreo de los materiales seleccionados, medido en el camellón, en los almacenamientos o en los vehículos de transporte				
a) Primer kilómetro	M ³	0,18	2.75	0.50
b) Kilómetros subsecuentes (9km)	M ³	1,62	2.06	3.33
Operación e acamellonamiento	M ³	0,18	1.42	0.25
Operación de mezclado, tendido y compactado en la construcción de sub bases, cuando se empleen dos materiales pétreos, compactados al cien por ciento (100%)	M ³	0,18	1.46	2.63
Suma:				NS9.75

Riego de Impregnación

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Barrido de la superficie a tratar.	M ²	1	0.1	0.1
Suministro de materiales asfálticos (asfalto FM-1), incluye acarreo	Lt	1,75	0.5	1.0
Almacenamiento de materiales asfálticos en tanques o fosa del contratista	Lt	1,75	0.11	0.20
Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos	Lt	1,75	0.12	0.21
Riego de impregnación con asfalto FM-1	Lt	1,75	0.30	0.53
Suma:				NS20.04

Losas de Concreto Hidráulico

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Losas de concreto armado para pavimento; concreto f'c = 300 kg/cm ² , varilla #3 de 60 cm, @ 60 cm. (pasajuntas), casquillos de pvc de 1/2" 30 cm. de longitud, en pasajuntas por extremo, espesor de losa 15 cm. acabado rústico, incluye: cimbra de frontera, juntas de cartón asfáltico, herramienta y mano de obra	M ²	1	69.17	69.17
Suma:				N\$ 69.17

Resumen

Subrasante	10.75
Sub base	9.75
Riego de impregnación	2.04
Losa de concreto hidráulico	<u>69.17</u>
Costo por m²	91.71

3.4.- Durabilidad

Es complicado definir la durabilidad que se logre para un pavimento de concreto hidráulico, ya que dicha durabilidad está ligada a varios factores de orden económico y social, lo cual no nos permite valorar con exactitud su duración.

Aunque tomando en cuenta en el diseño de un pavimento de este tipo, como son las condiciones de tránsito, la tasa de crecimiento del mismo, así como las características de los materiales a emplear para su construcción, se puede hacer una propuesta en el diseño el cual normalmente es de 40 años como período de diseño; aclarando que un pavimento se considera que ha llegado al final de su vida útil cuando su índice de servicio llega a ser menor o igual al de 2.5. Aunque dicho pavimento debido a diversos factores no halla alcanzado el número de años para el cual se diseñó. Para lo cual se hace indispensable aumentar en estos casos la vida útil del pavimento, arreglándolo y reconstruyéndolo.

3.5.- Fallas

Las fallas más comunes en los pavimentos de concreto hidráulico pueden deberse a dos causas principales. Una, se refiere a deficiencias de la propia losa y comprende por un lado los defectos del concreto previamente dicho, tales como la utilización de material y agregados no adecuados, y por otro lado, defectos de construcción o insuficiencia estructural de la losa, tales como la inapropiada colocación o insuficiente dotación de elementos de transmisión de carga, insuficiente resistencia ante las restricciones de fricción impuestas a los movimientos de la losa por la sub base, alabeo de las losas o mal comportamiento de las juntas de contracción o expansión.

La otra causa principal de falla en los pavimentos rígidos se refiere al inadecuado comportamiento estructural del conjunto losa, sub base, subrasante y aún terracería y terreno de cementación. De este tipo son las fallas por bombeo, la distorsión general, la rotura de esquinas o bordes, por falta del apoyo necesario y otras del mismo estilo.

El uso de agregados inapropiados, no duraderos se traduce en la aparición de grietas que comienzan por ser capilares, muy próximas y que se desarrollan con trayectorias semicirculares en torno a juntas o a los bordes de las losas; el fenómeno es progresivo y suele terminar con la desintegración total de la losa.

Otros defectos comunes que causan la desintegración del concreto son el fabricarlo con una mezcla demasiado húmeda, el uso de agregados con excesivo contenido de finos o el uso de sales.

Los agrietamientos causados por trabajo defectuoso de las pasajuntas son debido casi siempre a que estos elementos quedan mal lubricados y no permiten el movimiento para el que fueron diseñados. El espaciamiento excesivo de estos elementos también es fuente de problemas.

Otro defecto común por mal funcionamiento de juntas se tiene cuando éstas faltan o se espacian en demasía a lo largo de un trecho importante del pavimento. Naturalmente, el concreto crea por agrietamientos sus propias juntas de contracción y expansión pero estas grietas se disponen a espaciamientos irregulares, dando al pavimento una apariencia deteriorada que generalmente no corresponde a una verdadera deficiencia estructural, en el sentido de que las grietas formadas liberan los esfuerzos y trabajan, en principio, como verdaderas juntas; el comportamiento puede ser no tan satisfactorio a largo plazo, pues las grietas naturales carecen de todo tratamiento o de los rellenos plásticos apropiados de manera que en ellas el concreto se va disgregando, pulverizando y ejerciendo una acción autoabrasiva, que puede llegar a agrandar las grietas más allá de lo conveniente, pudiendo llegar a presentarse en ellas también fenómenos de bombeo. Naturalmente, la insuficiencia de espesor las losas conduce a su agrietamiento bajo la acción del tránsito.

De los fenómenos en los que se ve envuelto el material de la sub base, ya se ha mencionado el bombeo que es el más importante; conduce a la destrucción de losas sobre todo en las losas de esquina. En las losas de borde pueden desarrollarse agrietamientos más o menos paralelos al mismo, cuando el material de los hombros genera importantes restricciones al movimiento de las losas por fricción, lo que es común cuando dicho material es arenoso.

Los movimientos del terreno de cimentación o de espesores importantes de material de terracería compresible, conducen al agrietamiento de las losas cuando los asentamientos diferenciales son importantes en trechos cortos y ocurren con rapidez de todas maneras, la experiencia indica que la flexibilidad de los pavimentos de concreto hidráulico ante estos problemas es bastante mayor de lo que generalmente se piensa.

También es relativamente común que las grietas que por esta causa se puedan llegar a producir no lleguen a plantear graves deficiencias en el funcionamiento del pavimento, especialmente si se van sellando apropiadamente a medida que se producen.

A continuación se describen las principales fallas que se presentan en este tipo de pavimentos.

3.5.1.- Descascarado de las Orillas

Se deben a la presencia de partículas duras que se han introducido en las juntas por insuficiente calafateo y que les producen esfuerzos concentrados muy grandes.

3.5.2.- Grietas Transversales

Losas demasiado largas sin pasajuntas o sin armado continuo. Pueden ser fallas estructurales incipientes.

3.5.3.- Grietas en Orillas y Esquinas

Se deben a que la losa se construye sobre material fino, y se presenta el fenómeno de bombeo, o sea que carece de sub base, o a mala compactación de las capas inferiores incluyendo esta última.

3.5.4.- Descarnado de Superficies de Rodamiento

Se debe a que en la construcción se proporcionó al concreto fresco un fuerte vibrado, propiciando un ascenso de la lechada (mortero fluido), formándose una pequeña película dura que más tarde, con el tránsito, se agrieta y se desgasta, dejando sin

protección superficial a los agregados. También se presenta cuando la resistencia de la arena es baja.

3.5.5.- Falla Estructural

Se debe a que se terminó la vida útil del pavimento si es que la falla se presenta después de 25 años de construido o a mal proyecto si es un pavimento reciente. Se presenta muy a menudo en calles o avenidas que sin haberse tomado en cuenta el proyecto, se permite el paso de numerosos vehículos pesados. Se puede presentar en forma prematura en zonas con fuerte pendiente longitudinal y sub bases naturales que se tubifiquen fácilmente con el agua que escurra bajo la losa.

3.6.- Conservación

El mantenimiento de este tipo de pavimentos es bastante simple si es que está bien proyectado, es decir, si se han relacionado en forma conveniente los elementos correspondientes como son entre otros: El tránsito y las resistencias del concreto y de la capa subrasante; de otra manera, lo más probable es que se presente la falla estructural y haya que desechar este pavimento.

Las principales actividades en el mantenimiento de pavimentos de concreto hidráulico son: Limpieza de juntas, debido a que los productos que se utilizan para sellar las juntas longitudinales y transversales, con el tiempo se endurecen y se agrietan, es necesario que cuando menos cada 3 años se limpien extrayendo de ellos tanto el sello anterior como cualquier material extraño que se encuentre; en seguida, se vuelve a sellar la junta con material fresco.

Cuando se tengan indicios de que se esté presentando el fenómeno de bombeo o de plano, debido a que la losa se fracturó al quedar sin apoyo al salir hacia el exterior el material que la sustentaba, es necesario efectuar inyecciones de mortero fluido que ocupe los huecos que se tienen; si la losa está fracturada es conveniente nivelar la zona antes de la inyección.

Los agrietamientos, que debido al fenómeno anterior o a cualquier otro se hayan presentado, es necesario que se calafateen para evitar la introducción de materias extrañas o que no penetre el agua.

Cuando por efecto del gradiente de temperatura entre las partes superior e inferior de la losa, ésta se encuentre alabeada con la concavidad hacia arriba, es necesario hacer un rebaje de las orillas de las losas para nivelarlas y evitar un tránsito defectuoso a través

de ellas, sobre todo en aeropuertos, para ello existen máquinas desbastadoras especiales; cuando la concavidad es hacia abajo el rebaje se hace hacia el centro de las losas, si es que es necesario, ya que en general esta deformación es menor que la anterior.

Cuando un pavimento presenta un fuerte descarnado de la superficie de rodamiento, se puede provocar la desintegración de la losa, por lo que es necesario, en este caso la construcción de una carpeta esfáltica del orden de los 3 a 5 cm de espesor, para evitar que el concreto se siga deteriorando.

Este tipo de carpetas esfálticas se pueden construir también para mejorar el tránsito sobre pavimentos de concreto hidráulico con alabeo en sus losas.

Si un pavimento se ha comportado adecuadamente; pero se prevé que en los años siguientes el tránsito va a ser más intenso de lo previsto o se quiere aumentar su vida útil, se puede construir una sobrelosa para lo cual es necesario asegurar la unión entre el concreto antiguo y el nuevo, por lo que en primer lugar se hace una corrugación de la actual superficie de rodamiento, y antes del colado se esparcirá un aditivo especial que suelda las dos losas, estos aditivos se expenden comercialmente.

4.- ANÁLISIS COMPARATIVO

En lo que va del siglo se ha hecho frecuente la presencia de pavimento de concreto esfáltico como una repercusión natural de la tecnología norteamericana.

Por ello es indispensable analizar para efectos comparativos la opción pavimento esfáltico frente al pavimento de concreto hidráulico aquí analizado. Iniciamos este capítulo con la descripción de un concreto esfáltico para finalizar con un análisis comparativo utilizando los datos del capítulo anterior.

4.1.- Estructura de un Pavimento Asfáltico.

Para la estructuración de la sección transversal de las vías terrestres es necesario considerar diversos factores que influyen en el funcionamiento como son: Aspecto económico, Características de los materiales de construcción: calidad, tratamiento y posición de las capas en que se usan, tránsito, etc.

La capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y una calidad tal, que se logra que los esfuerzos transmitidos a las capas inferiores sean compatibles con la calidad de ésta.

La superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y calidad, pero entre ella y las terracerías de interpone un sistema de varias capas de materiales seleccionados cuya calidad, por lo común, va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito, que siguen una ley en ese mismo sentido decreciente.

A continuación se describen cada una de estas capas.

Capa Subrasante

La capa subrasante tiene una gran importancia, en su utilización desde el punto de vista mecánico, ocupando una importante función estructural, pero también es importante mencionar en favor de su utilización sistemática una consideración de orden económico.

Una subrasante de suficiente espesor y calidad permitirá muy importantes ahorros en los espesores de los pavimentos suprayacentes, sin perjuicio de la función estructural conjunta, pues será capaz de absorber niveles de esfuerzo relativamente altos, provenientes de la superficie y transmitirlos suficientemente disminuidos a las terracerías. Desde el punto de vista económico resultan igualmente importantes la calidad y el espesor, los materiales que se usan en la capa subrasante nunca pueden ser demasiado buenos, de manera que la contribución de la capa usualmente descansa más en el espesor que en la calidad, pero es cuestionable que si se logra una alta calidad en el material de la subrasante, (guardando las razonables proporciones en relación a los de la sub base y la base), podrán tenerse importantes ahorros en los espesores de las capas de pavimento.

Dentro de las principales características que presenta la capa subrasante podemos mencionar las siguientes:

Espesor de la capa	30 cm mínimo y 5 cm máximo
Tamaño máximo:	7.5 cm (3 plg)
Grado de compactación:	95%: del P.V.S.M.
Valor relativo de soporte:	5% mínimo
Expansión máxima	5%

Estos dos últimos valores se deben obtener por medio de la prueba POSTER STANDAR hasta la fecha las especificaciones marcan para las dos últimas características, los valores anotados, pero los proyectistas están exigiendo el valor relativo de soporte de 15% mínimo y expansión máxima de 5%; sin embargo, estas características deben adecuarse a la función que tendrá esta capa en la obra.

Las funciones que puede desempeñar esta capa son:

- **Recibir y resistir las cargas del tránsito, que le son transmitidas por el pavimento.**
- **Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas de tránsito al cuerpo del terraplén. Esta función como la anterior son del tipo estructural y son comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.**
- **Evitar que cuando el cuerpo del terraplén esté formado de materiales finos plásticos, éstos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén, y las granulares del pavimento.**
- **Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, cuando éstas estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes). En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén, y los granulares del pavimento (base o sub base).**
- **Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie del rodamiento.**
- **Uniformar los espesores del pavimento principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería a lo largo del camino.**
- **Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.**

Los elementos principales que definen la subrasante son de carácter topográfico, geométrico y de costo. Por lo tanto la capa subrasante económica debe tomar en cuenta:

- **Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.**
- **Debe tener la suficiente altura, para dar cabida a las obras de drenaje.**
- **Debe tener la suficiente altura, para que el agua capital no afecte el pavimento.**
- **Debe provocar los acarrees más económicos posibles.**

Sub base Hidráulica

La principal función para muchos, de la sub base de un pavimento flexible, es de carácter económico, ya que se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el que se usa en la capa de base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirla en parte por una capa de menor calidad, aunque tenga que ser aumentado el

espesor, pues, naturalmente, cuando menor sea la calidad del material colocado tendrá que ser mayor el espesor necesario para soportar y transmitir los esfuerzos.

Otra función de la sub base consiste en servir de transición entre el material de la base, que generalmente es granular grueso y de la subrasante, que tiende a ser más fino. La sub base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante.

La sub base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante; por ejemplo, cambios volumétricos asociados con cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento.

Otra función de la sub base es actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre desde arriba y para impedir la ascensión capilar hacia la ase, de agua procedente de la terracería.

De todas las funciones anteriores, la estructural y económica existen seguramente en todas las sub bases que se proyectan; las otras dependen un tanto de las circunstancias del caso y de la calidad del material que se utilice en la propia sub base.

Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de sub base, que son la resistencia friccionante y la capacidad drenante. La primera beneficiará la resistencia del conjunto y, a la vez será garantía de buen comportamiento en cuanto a deformabilidad, pues un material que posee esa calidad de resistencia será poco deformable a condición de estar bien compactado. La capacidad drenante es muy deseable para la doble función drenaje, ya mencionada, que permitirá al pavimento eliminar convenientemente tanto el agua que se filtre por su superficie, como la que asciende por capilaridad.

Resumiendo se consideran como funciones primordiales de la capa de sub base:

- Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o losa).
- Transmitir, adecuadamente distribuidas, estas cargas a las terracerías.
- Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
- En caso de que haya alguna introducción de agua por la parte superior, permitir que ésta descienda hasta la capa subrasante en la que por el efecto del bombeo, o sobre elevación, sea desalojada hacia el exterior.

Los espesores de sub base son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 13 ó 15 cm como la dimensión mínima constructiva.

Base

Hasta cierto punto existe en la base, que es la capa que sigue a la sub base en el orden ascendente adoptado, una función económica a la mencionada para la propia sub base, pues permite reducir el espesor de la carpeta, la cual es más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento flexible es estructural y consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas. La base como la sub base, tienen también una importante función drenante, la cual debe ser capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir radicalmente la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

Carpeta

La carpeta debe proporcionar en el pavimento flexible, una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenaje, los producidos por la fuerza centrífuga, los impactos, etc. deben tener la textura para permitir un rodamiento seguro, cómodo y un frenaje apropiado. La naturaleza de la carpeta debe ser tal que resista la acción de los agentes del intemperismo. Es de desear que tenga un color que evite reflejos del sol durante el día o de luces artificiales durante la noche. Es cada vez mayor la utilización de carpetas de concreto asfáltico de gran espesor, que a las funciones tradicionales arriba enlistadas añaden necesariamente una importante función estructural e influyen mucho en el comportamiento esfuerzo-deformación de toda la sección resistente de la vía terrestre, al incorporar al conjunto un elemento cuya rigidez no debe ignorarse.

La exposición directa a las cargas de tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior nula, que priva en la frontera superior del pavimento; en otras palabras se requiere ahora un material que posea "cohesión" y es precisamente el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporciona, en el caso de las carpetas bituminosas.

4.2.- Procedimiento Constructivo

Construcción del Cuerpo Terraplen

Para el caso en que las condiciones del camino, no, exija la construcción del cuerpo del terrapién, y una vez tratada adecuadamente la superficie del terreno natural, donde descansará el terrapién, la cual, deberá estar exenta de material orgánico y de dudosa calidad, se procederá a conformarse el cuerpo del terrapién con material previamente acarreado, de lugares de corte o de préstamos de diferentes bancos que se localicen lo más cerca posible de las zonas en cuestión.

El espesor de las capas a compactarse será de acuerdo al equipo de construcción existente, aunque normalmente éstas son de 20 cm de espesor: sobre cada una de las capas que formen el cuerpo del terrapién debe pasar un tractor de orugas, como mínimo tres veces por cada punto de la superficie, con movimientos de zig zag, es conveniente que para mejorar el acomodo, se proporcione cierta cantidad de agua (100 lts por m³ de material).

Generalmente se tiene el grado de compactación de los materiales del orden del 90% P.V.S.M

Construcción de la subrasante

Normalmente se procede a quitar la capa orgánica, así como el material de dudosa calidad, de el arroyo del camino (acción llamada comúnmente "abrir caja"). Y una vez ya exenta la superficie de estos materiales, se comienza a compactar el terreno descubierto. A continuación se procede a realizar los acarreos correspondientes al material de subrasante, para que luego se acamellone lo cual una vez acarreado en su totalidad, con ayuda de la motoconformadora se extiende, para que con la pipa se proceda a humedecer el material, mezclándolo para llevarlo cerca de su contenido óptimo de humedad, una vez logrado lo anterior se comienza a construir la subrasante en capas de 15 a 20 cm, compactando cada una de ellas, hasta lograr el grado de compactación del 95% P.V.S.M. requerido para esta capa.

Es indispensable, una vez conformada y compactada la capa subrasante, realizar un afine de la superficie para evitar al máximo las ondulaciones existentes.

Construcción de la sub base y base

Los procedimientos de construcción para las sub bases y las bases son similares, por tal motivo se procederá a explicar en conjunto.

Primeramente con la ayuda del laboratorio, se procede a seleccionar el banco adecuado, el cual debe tener una buena calidad de los materiales así como el volumen de los mismos, a continuación se extrae el material necesario del banco o bancos seleccionados para que después se proceda a acarrear éste hasta el lugar de la obra, en donde se acamellonan, es decir, se hace el acordonamiento de sección constante para medir su volumen, en caso de que haya faltante, se realizarán los recargues necesarios.

En caso de que se empleen dos o más materiales para la construcción de cualquiera de las dos capas, se procederá a mezclar dichos materiales, tomando el material que constituye el mayor volumen, una vez acamellonado y medido, se forma una capa en parte de la corona de la obra, y sobre ella se coloca el material que se le va a mezclar en forma acordonada; si es necesario, se disgrega para luego mezclarlos con ayuda de la motoconformadora hasta homogeneizarlos, después de lo cual, conviene volver a acamellonarlos para comprobar el volumen, pues la suma de los volúmenes de material separados es mayor que cuando ya están unidos.

El material acamellonado se abre parcialmente hacia la corona de la obra; y pasa la pipa haciendo un primer riego de agua, luego, la motoconformadora abre una nueva cantidad de material y la coloca sobre el ya humedecido, vuelve a pasar la pipa y en seguida, hasta que se proporciona toda el agua necesaria; en seguida se homogeneiza la humedad en todo el material por medio de la motoconformadora, que hace cambios sucesivos del material hacia un lado y hacia otro, sobre la corona de la obra. Toda esta acción es encaminada a obtener la humedad óptima de campo del material, la cual es menor que la del laboratorio, porque las máquinas que se utilizan son de gran peso, aunque se debe compensar el agua que se evapora mientras se hacen los tratamientos. El agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas de la pipa, con el que se humedece el material.

Ya que se consiguió uniformar la humedad en todo el material se distribuye a través de la corona, para formar la capa con el espesor suelto necesario, cuidando que el material no se disgregue, es decir que no se le separen los finos de los gruesos; para ello es conveniente que el material húmedo se coloque en el centro de la corona y se vaya distribuyendo hacia los lados por medio de la o de las motoconformadoras que operan a una velocidad moderada, más bien baja.

Una vez que se tiene extendido el material, se compacta hasta alcanzar el grado de proyecto, que en general es del 95% del P.V.S.M., aunque a últimas fechas se ha estado pidiendo el 100%, a este respecto, cabe mencionar que para pasar del 95% al 100% de compactación, se requiere de un gran esfuerzo de energía, que se traduce en un mayor costo; sin embargo, el aumento de la resistencia es relativamente bajo; en este caso valdría más la pena agregar un poco más de cal o cemento portland, con lo que se aumentaría la resistencia en forma considerable.

La compactación de este material se realizará con máquinas de rodillos sin salientes, ya sea metálicos, lisos o cajas con neumáticos; el peso de estos equipos puede

variar entre 15 y 25 tons.; si se cuenta con ellos con una unidad vibratoria, la eficiencia para obtener la compactación es mayor.

Riego de Impregnación

Una vez alcanzado en las bases el grado de compactación de proyecto, se dejan secar superficialmente durante varios días una vez que se tiene a la capa en esa condición se barre para retirar de ella la basura, polvo y partículas sueltas que pueda haber; esta operación se puede realizar con cepillos manuales o mecánicos. En seguida se debe proporcionar a la base un riego llamado de impregnación, que se realiza distribuyendo asfalto de fraguado medio (FM-1), en proporción de 1.5 lt/m². Este riego de impregnación sirve para tener una zona de transición, entre la base de materiales naturales y la carpeta asfáltica. El asfalto debe penetrar en la capa de base cuando menos 3 mm; si la superficie de la capa está muy "cerrada", es posible que se deba a que tenga un exceso de finos y el riego es probable que no penetre; en estos casos, conviene cambiar la granulometría, reduciendo los finos para proporcionar la penetración de asfalto; si la base, por el contrario está muy "abierta", conviene que la proporción de asfalto se aumente a 1.8 lt/m², para que cumpla su finalidad, la absorción recomendable no deberá pasar en más de 24 horas.

En algunas ocasiones se generan charcos del producto asfáltico, cosa que no es común, cuando esto suceda se retirará el excedente por medio de rodillos o cepillos de cerdas.

La base está impregnada se cerrará al tránsito por un lapso no menor de 48 horas. El número del fraguado medio a emplear depende de la textura de la base, en términos generales se puede decir que es aconsejable emplear el FM-2 en bases de textura "abierta", el FM-1 en las medias y el FM-0 en las cerradas.

Construcción de la Carpeta

a) Carpeta Asfáltica de un riego

Estas carpetas están formadas por un sólo riego de productos asfálticos del tipo FR-3, con una proporción a razón de 1.5 a 2.0 lt/m², inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas de 3/8" y No.8 (3A) a razón de 6 a 8 lts/m², se rastrea uniformemente y se compacta con aplanadora de 6 a 8 ton de peso, pudiéndose abrir al tránsito 72 horas después, debiendo barrerse de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que vaya a ayudar a formar ondulaciones en la carpeta.

Estas carpetas son recomendables en lugares por donde circulen de 200 a 300 vehículos diarios; dentro su limitación se seleccionan como superficie de desgaste para usarse en el mejoramiento de caminos revestidos, calles y ciudades sin urbanizar y viejas superficies asfálticas.

b) Carpeta Asfáltica de dos riegos.

Este tipo de carpetas son las que se construyen mediante los riegos de productos asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de material pétreo de diferentes tamaños, triturados o cribados sobre la base de pavimento ya impregnada y seca, se aplica un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.0 lt/m^2 , inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas de $1/2''$ y $1/4''$ a razón de 12 lts/m^2 , se rastrea uniformemente y se compacta con aplanadora de 6 a 8 ton de peso, 48 horas después de compactada se barre el material excedente y se da un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2.0 lt/m^2 , inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas $1/4''$ y No.8 a razón de 8 lt/m^2 , se rastrea uniformemente y se compacta con aplanadora de 6 a 8 ton de peso; 72 horas después se barre de la carpeta el material excedente y se abre al tránsito.

Estas carpetas son recomendables en lugares por donde circulen vehículos con números inferiores a 700 por día.

c) Carpeta Asfáltica de tres riegos

Estas carpetas son las que se construyen mediante tres riegos de productos asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de material pétreo de diferentes tamaños, triturados o cribados; sobre la base del pavimento ya impregnada y seca se aplica un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 lt/m^2 , inmediatamente se cubre con material clasificado entre las mallas de $1''$ y $1/2''$ en proporción de 24.0 lt/m^2 , se rastrea uniformemente y se compacta con aplanadora de 6 a 8 tons de peso; 48 horas después de compactado se barre el material excedente y se aplica un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.0 lt/m^2 , inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas $1/2''$ y $1/4''$ en proporción de 13 lt/m^2 , se rastrea uniformemente y se compacta con aplanadora de 6 a 8 ton de peso; 48 horas después de compactada se barre el material excedente y se aplica un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2.0 lt/m^2 , inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas de $1/4''$ y No.8 con una dosificación de 8 lt/m^2 , se rastrea uniformemente y se compacta con aplanadora de 6 a 8 ton de peso. Después de 72 horas de compactados se barre de la carpeta el material excedente y se abre el tránsito.

Estas carpetas son recomendables en lugares en donde circulen de 900 a 1300 vehículos por día.

d) Carpeta Asfáltica elaborada por el sistema de mezcla en el lugar

Así se llama porque se hace en el sitio donde se va a usar o sea que se elabora sobre el camino mediante el mezclado, tendido y compactado de material pétreo y asfalto de fraguado rápido a la temperatura de 80°C . Las carpetas construidas por estas

mezclas, son de bajo costo y de baja calidad, puesto que no es posible el control riguroso de la granulometría del material pétreo.

Sobre la base del pavimento ya impregnada y seca, se acumula el material pétreo, para que a continuación se extiende el material pétreo a un lado del camino para su desecación, y una vez seco el material se extiende a lo largo del camino en una capa uniformemente, y se le dan varios riegos de producto asfáltico que varía por lo general de 3 a 4 lt/m², esta cantidad se determina por las pruebas realizadas en el laboratorio. Después de que el material pétreo ha recibido un riego de producto asfáltico, se mezclan ambos productos con motoconformadora, al mezclarse ambos, deben presentar un aspecto en color y granulometría uniforme; después del mezclado se acumula de nueva cuenta el material y se da un riego de liga con producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 0.5 lt/m², inmediatamente después, se extiende la mezcla a lo largo del camino, en una capa uniforme preestablecida y se compacta livianamente para que el producto asfáltico alcance el fraguado necesario e inmediatamente después se hace la compactación definitiva.

A continuación se le da un riego de sello con producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.0 lt/m² cubriendo inmediatamente con material pétreo clasificado entre las mallas de 1/4" y No.8 el cual se compacta con planadora liviana de 6 a 8 ton.

e) Carpetas elaboradas con concreto asfáltico

Este tipo de carpetas se hacen mezclando materiales pétreos y cemento asfáltico, dosificadas por eso en plantas estacionarias. Estas mezclas se seleccionan para los pavimentos de más alta calidad, tales como: aeropistas, pavimentación de ciudades de intenso tránsito, caminos de tránsito pesado o intenso. Se elabora en una planta que calienta el material pétreo a temperaturas que van desde los 133°C a los 177°C y se selecciona el material en cuanto a calidad, tamaño y cantidad, de acuerdo con la granulometría de proyecto.

El cemento asfáltico se calienta antes de ser mezclado a la temperatura menor a 177°C y la cantidad de cemento asfáltico para ser mezclado se fija en el laboratorio por cada metro cúbico de material pétreo.

Se introduce en una mezcladora el material pétreo y el cemento asfáltico para su mezclado.

Las mezclas se transportan en camiones de volteo al lugar donde se van a usar, y se coloca en la máquina terminadora, que efectúa el trabajo en capas uniformes en espesor y anchos requeridos. Después se compacta la capa a una temperatura mayor a 90°C hasta cumplir con las especificaciones de proyecto.

f) Carpetas elaboradas por el sistema McAdam asfáltico

Esta carpetas son las que se construyen mediante capas sucesivas de piedras, limpias y angulosas, progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba. Cada capa se compacta mediante vibración e inmediatamente después se riega con producto asfáltico de tipo FR-3 entre 65°C y 95°C, el número de capas varía de 3 en adelante y por lo general se utilizan aplanadoras de 12 tons de peso.

4.3.- Costo por Metro Cuadrado

Construcción de la capa subrasante (16 cm)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Construcción de la capa subrasante (15 cm) corte de material existente de capa subrasante desperdiciando	M ³	0,15	7.27	1.09
Compactación de terreno descubierto en el área de desplante a el 90%	M ³	0,15	4.29	0.64
Extracción de los materiales aprovechables y de los desperdicios; para materiales aprovechables tendidos, conformados y afinados, utilizando equipo mecánico.	M ³	0,19	6.32	1.20
Operación de cribado de los materiales por la malla setenta y seis (76) milímetros (3") tanto para los aprovechables como para los que se desperdicien.	M ³	0,23	5.068	1.165
Carga de los materiales almacenados	M ³	0,18	2.77	0.50
Acarreo de los materiales para cualquier distancia, de material de préstamo de banco para la construcción de la capa subrasante				
a) Para el primer kilómetro	M ³	0,18	2.75	0.50
b) Para kilómetros subsecuentes (9km)	M ³ -Km	1,62	2.06	3.33
Operación de acamellonamiento.	M ³	0,18	1.42	0.25
Operación de mezclado, tendido, conformado y afinamiento para dar el acabado superficial.	M ³	0,18	11.42	2.05
			Suma:	10.74

Construcción de la capa subrasante (20 cm)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Extracción de los materiales aprovechables y los desperdicios	M ³	0,25	6.3	1.58
Operación de cribado por la malla de cincuenta y un (51) milímetros (2")	M ³	0,3	5.79	1.73
Carga de los materiales almacenados	M ³	0,24	2.77	0.66
Acarreo de los materiales seleccionados, medido en el camellón, en los almacenamientos o en los vehículos de transporte				
a) Primer kilómetro	M ³	0,24	2.75	0.66
b) Kilómetros subsecuentes (9km)	M ³	2,16	2.06	4.44
Operación e acamellonamiento	M ³	0,24	1.42	0.34
Operación de mezclado, tendido y compactado en la construcción de sub bases, cuando se empleen dos materiales pétreos, compactados al noventa y cinco por ciento (95%)	M ³	0,24	1.46	3.51
Suma:				N\$12.94

Construcción de la capa subrasante (15 cm)

(Base)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Extracción de los materiales aprovechables y los desperdicios	M ³	0,19	6.32	1.20
Operación de cribado por la malla de treinta y ocho (38) milímetros (1 1/2")	M ³	0,23	5.79	1.33
Carga de los materiales almacenados	M ³	0,18	2.77	0.50
Acarreo de los materiales seleccionados, medido en el camellón, en los almacenamientos o en los vehículos de transporte				
a) Primer kilómetro	M ³	0,18	2.75	0.50
b) Kilómetros subsecuentes (9km)	M ³	1,62	2.06	3.33
Operación e acamellonamiento	M ³	0,18	1.42	0.25
Operación de mezclado, tendido y compactado en la construcción de bases, cuando se empleen dos materiales pétreos, compactados al cien por ciento (100%)	M ³	0,18	1.46	2.63
Suma:				N\$ 9.75

Riego de Impregnación

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Barrido de la superficie a tratar.	M ²	1	0.1	0.1
Suministro de materiales asfálticos (asfalto FM-1), incluye acarreo	Lt	1,75	0.56	1.00
Almacenamiento de materiales asfálticos en tanques o fosa del contratista	Lt	1,75	0.11	0.20
Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos	Lt	1,75	0.12	0.21
Riego de impregnación con asfalto FM-1	Lt	1,75	0.30	0.53
Suma:				N\$ 2.04

Riego de Liga

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Barrido de la superficie a tratar.	M ²	1	0.1	0.1
Suministro de materiales asfálticos (asfalto FR-3), incluye acarreo	Lt	0,5	0.56	0.28
Almacenamiento de materiales asfálticos en tanques o fosa del contratista	Lt	0,5	0.11	0.50
Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos	Lt	0,5	0.12	0.06
Riego de impregnación con asfalto FR-3	Lt	0,5	0.30	0.15
Suma:				N\$0.65

Construcción de la carpeta asfáltica subrasante (15 cm)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Extracción de los materiales aprovechables y los desperdicios	M ³	0,104	12.97	1.34
Operación de cribado por la malla de trece (13) milímetros (1/2")	M ³	0,124	9.88	1.22
Carga de los materiales almacenados	M ³	0,108	3.99	0.43
Acarreo de los materiales seleccionados, medido en el camellón, en los almacenamientos o en los vehículos de transporte				
a) Primer kilómetro	M ³	0,108	2.75	0.30
b) Kilómetros subsecuentes (9km)	M ³	0,972	2.06	2.00
Operación e acamellonamiento	M ³	0,108	1.42	0.15
Suministro de materiales asfálticos rebajados (asfalto FR-3), incluye acarreo	Lt	11,88	0.56	6.75
Almacenamiento de materiales asfálticos en tanques o fosa del contratista	Lt	11,88	0.11	1.37
Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos	Lt	11,88	0.12	1.44
Riego de asfalto FR-3 para carpetas asfálticas construidas por el sistema de mezcla en el lugar, compactadas al cien por ciento (100%)	M ³	0,108	55.42	5.98
Suma:				NS 21.02

Riego de Sello

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Barrido de la superficie a tratar.	M ²	1	0.10	0.10
Suministro de materiales asfálticos (asfalto FR-3), incluye acarreo	Lt	1	0.56	0.56
Almacenamiento de materiales asfálticos en tanques o fosa del contratista	Lt	1	0.11	0.11
Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos	Lt	1	0.12	0.12
Riego de impregnación con asfalto FR-3	Lt	1	0.30	0.30
Suministro del material tipo 3-A, incluye del centro del productor al almacenamiento, medidos en los vehículos de transporte	M ³	0,012	2.68	3.21
Operación del tendido, planchado, rastreo y remoción del material excedente, para el material 3-A	M ³	0,012	4.10	0.49
Suma:				N\$ 4.92

Resumen

Base	9.75
Subrasante (16 cm)	10.74
Sub base	12.94
Riego de impregnación	2.04
Riego de liga	0.65
Carpeta asfáltica	21.02
Riego de sello	<u>4.92</u>

Costo por m² N\$ 62.05

4.4.- Durabilidad

Es difícil definir cual es la durabilidad deseable que haya de lograrse en un caso dado. Evidentemente que ésta está ligada a una serie de factores económicos y sociales del propio camino; en una obra modesta, la duración del pavimento puede ser mucho menor que la del camino, con tal que la serie de reconstrucciones que entonces se requieran valgan menos que el costo inicial de un pavimento mucho más durable, más el valor que pueda darse a las interrupciones de servicio, a que las reconstrucciones den lugar, por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Una vez fijado el criterio que proporcione la duración deseada en el pavimento, surgen muchas incertidumbres de carácter práctico para lograrla; ya se ha mencionado que el efecto del clima y del tránsito dista de estar bien establecido, de manera que su influencia en la vida del pavimento no puede definirse con exactitud. Los pavimentos pueden estar expuestos durante su vida útil a circunstancias de orden extraordinario, tales como lluvias ciclónicas, inundaciones, terremotos, etc. Resulta aún más complicado tratar de establecer la resistencia deseable de un pavimento ante este tipo de eventos o las normas de proyecto que han de implantarse para alcanzar una determinada duración.

Hay que mencionar que las ayudas de diseño del Instituto del Asfalto, refieren un período de diseño de 20 años; en general, este instituto recomienda que se considere que se ha llegado al final de la vida útil cuando el índice de servicio del pavimento llega a ser de 2.5; a partir de ese momento será preciso arreglar el pavimento anterior o reconstruirlo. El índice de servicio es un concepto propuesto por la AASHO que se basa en el promedio de calificaciones que entre 1 y 5 adjudica a un determinado pavimento un grupo de usuarios, al recorrerlo en condiciones

4.5.- Fallas

Falla estructural

Es el colapso de la estructura del pavimento o de alguno de sus componentes, de tal manera que el pavimento es incapaz de soportar las cargas, o bien, se reduce a una interrupción en su continuidad e integridad.

Falla funcional

Es cuando el pavimento no cumple con su función primordial, provocando incomodidad e inseguridad en el usuario, así como los esfuerzos imprevistos de los vehículos.

Las fallas de los pavimentos pueden posiblemente dividirse en tres grupos fundamentales, de origen bien diferenciado.

1. Fallas por Insuficiencia Estructural

Se trata de pavimentos contruidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. En términos generales esta falla que se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo constante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiada.

2. Fallas por Defectos Constructivos

Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales lo suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento del conjunto.

3. Fallas por Fatiga

Se trata de pavimentos que quizá originalmente estuvieron en condiciones apropiadas, pero por la continua repetición de cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y, en general pérdida de resistencia y deformación acumulada.

Las fallas desde el punto de vista estrictamente mecánico, suelen ser resultado de la deformación bajo esfuerzos cortantes o de la deformación por consolidación o por aumento de compacidad; estos procesos pueden tener lugar en cualquiera de las capas del pavimento o aún de la terracería. A continuación se describen algunas de las fallas más comunes en los pavimentos asfálticos.

Rodera

Son deformaciones longitudinales, que se presentan en la superficie de rodamiento, en la zona de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos; si son menores de 1 cm se deben a deformación de la carpeta asfáltica; pero si son mayores se debe a una insuficiencia en la base, o a que ésta no es la de la calidad adecuada.

Superficie de Rodamiento Lisa

Este defecto se debe a exceso de asfalto en el riego de liga, en la mezcla asfáltica o en el riego de sello. El exceso de asfalto por acción del tránsito se bombea hacia la superficie de rodamiento, provocando su alisamiento y aún se puede tener una capa de asfalto de 1 ó 2 mm en forma de nata. Esto es muy peligroso porque los vehículos derrapan con facilidad.

Otro defecto que produce el derrape de los vehículos es la presencia de una capa de polvo sobre la superficie de rodamiento, la cual se presenta a menudo en las zonas en donde entroncan a la carretera, caminos de terracerías o mal revestidos; sin embargo, se pueden tener longitudes grandes de camino con este defecto cuando la carpeta sin sello, o los sellos, se elaboran con pétreos suaves como las calizas, que con el tránsito se van desgastando y queda el polvo en la superficie de rodamiento. En ambos casos, el tiempo de lluvias, sobre todo si éstas son ligeras, producen una pequeña capa de lodo que es sumamente peligrosa.

También, cuando los riegos de sello se dan en forma inadecuada por exceso de asfalto, escasez de pétreos o mala adherencia de estos con el asfalto se produce un alisamiento de la superficie de rodamiento, que debe evitarse por su alta peligrosidad.

Pequeñas Deformaciones Rítmicas.

Esta falla es muy molesta al tránsito, se presenta cuando la base no está adecuadamente cementada, o que en definitiva se construyó con materiales inertes y se debe a las deformaciones producidas por la vibración y esfuerzos tangenciales provocados por los vehículos y se reflejan hacia la superficie de rodamiento; en caso de que ésta sea de concreto asfáltico, se agrieta muy poco después de abierta al tránsito.

Desintegración de la carpeta

Se presenta en carpetas asfálticas antiguas por oxidación del asfalto o en carpetas relativamente recientes con insuficiente contenido de asfalto; también se presenta en carpetas elaboradas con material pétreo deleznable, o entre las grietas si no se atienden en forma oportuna.

Grietas Longitudinales a la orilla de la carpeta

Este problema se presenta en las terracerías, ya sea por contracciones que se presenten en ellas o por estar construidas sobre terrenos blandos, también pueden deberse a que el tránsito se acerca mucho a las orillas, cuando la carpeta cubre toda la corona de la vía, en cuyo caso no se tiene suficiente confinamiento lateral. También se presentan

cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada, con materiales sin compactación o sin anclajes adecuados con la parte antigua. Con el tiempo, a veces corto, estas grietas van apareciendo en la superficie de rodamiento propagándose hacia el centro.

Presencia de calaveras

Las calaveras son huecos que se presentan en la superficie de rodamiento y que pueden llegar a ser muy numerosos; su tamaño no es mayor a 15 cm. Se deben a una insuficiente calidad en la base o a carpetas con contenido de asfalto menor al óptimo o porque se coloca una carpeta sobre otra agrietada y calavereada, reflejándose en la nueva fallas de la anterior.

Baches

Se debe a la desintegración de la carpeta y base por mala calidad de los materiales inferiores, incluyendo las terracerías con alto contenido de agua. también se puede deber a la presencia de grietas o calaveras que no fueron tratadas en forma adecuada y oportuna.

Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo o mapeo

Se debe a una carpeta de mala calidad o que ésta se colocó sobre una base con rebote; en caso de que la carpeta se haya elaborado con concreto asfáltico, esta falla se debe a que la base no se rigidizó en forma adecuada. Se presenta también en carpetas con asfalto oxidado.

Corrimiento de la carpeta asfáltica

Se debe a la baja estabilidad de la mezcla, ya sea por el exceso de asfalto o por haberse usado un asfalto blando en zonas de altas temperaturas; también se presentan en el carril de subida en tramos de fuerte pendiente y en curvas en las que los esfuerzos de tracción de los vehículos son muy grandes.

Descarnado de la carpeta

Se debe al uso de aditivos inadecuados en las mezclas. Se presentan en zonas de fuertes esfuerzos horizontales provocados por el tránsito, como en la zona de arranque y frenado, en avenidas o calles de ciudades.

Deformaciones de la superficie del orden de 5 cm

Se deben a mala calidad de la base o insuficiencia en el espesor del pavimento.

Deformaciones fuertes de la superficie del pavimento

Se debe a insuficiente espesor o mala calidad de los materiales del pavimento, y la mala calidad de las terracerías a menudo con notable falta de compactación desde la construcción. Casi siempre se tiene la presencia de gran cantidad de agua por falta de cunetas, sub drenaje u otras obras para el control de agua. Las obras que fueron diseñadas para un volumen determinado de tránsito, que no se rehabilitan en forma oportuna y adecuada, cuando éste aumenta en forma considerable también se presenta este problema.

Deformaciones de la corona junto a las cunetas

Se deben a un exceso de humedad en el terreno natural por no existir cunetas revestidas y a falta o mal funcionamiento del sub drenaje.

4.6.- Conservación

Una conservación eficiente de los pavimentos asfálticos comprende: la oportuna reparación de zonas relativamente poco extensas y la vigorización superficial por medio de aplicaciones de riegos asfálticos, con o sin recubrimiento pétreo.

Los trabajos de conservación, en los pavimentos asfálticos, consisten generalmente de:

- Bacheo
 - Riegos de vigorización en zonas
 - Tratamientos superficiales extensos
 - Tratamientos antiresbaladizos
- Reconstrucción

Bacheo

El bacheo debe llevarse a cabo cuando la superficie del pavimento presente puntos deteriorados o deformados y de carácter aislado. Deberá prestársele especial atención a esta práctica en los comienzos de la primavera y del otoño. Antes de iniciarse el bacheo, es necesario, como práctica ingenieril inspeccionar la zona afectada con el objeto de

determinar la causa o causas que dan origen a los deterioros y tomar entonces las providencias necesarias para evitar, o reducir al mínimo, la repetición de las fallas.

Riesgo de vigorización en zonas

Estos riesgos encabezan la serie de trabajos de conservación de tipo preventivo, y consisten en la aplicación de un riego de asfalto para vigorizar y revivir zonas aisladas del pavimento donde se adviertan signos de desgaste, grietas o inminente desintegración de la superficie. A esta práctica debe prestársele atención preferencial en los meses de otoño de cada año.

Tratamientos Superficiales Extensor

La gran mayoría de los pavimentos asfálticos deben ser objeto, periódicamente de tratamientos superficiales que, a la vez se aseguran la impermeabilización de la carpeta, eviten el secado completo de las sustancias volátiles que comunican elasticidad a los productos asfálticos y la reviven cuando presente signos de oxidación o debilitamiento. Estos tratamientos superficiales pueden consistir de riegos livianos de productos asfálticos, solos o con materiales pétreos para darle mayor resistencia y durabilidad a la carpeta.

Tratamientos Antiresbaladizos

En muchos pavimentos asfálticos, ya sea por exceso de asfalto o por exceso de finos, la superficie de la carpeta se alisa hasta volverse resbaladiza y peligrosa, especialmente en tiempo húmedo. En estos casos es necesario recurrir a un tratamiento que subsane esta situación, que se agrava, aún más, en las fuertes pendientes y en las curvas.

Un método a seguir puede ser el calentamiento de la superficie y el inmediato cubrimiento con el material pétreo clasificado entre las mallas de 1/4" y No. 10, el cual se plancha con rodillo liso liviano a fin de incrustar el material pétreo en el asfalto sobrante y sin dañar a la carpeta existente.

Reconstrucción

En muchas ocasiones los deterioros del pavimento pueden abarcar un área bastante grande y resultan entonces antieconómicos los métodos de bacheo ordinario. En la mayoría de los casos la falla en zonas grandes de pavimentos obedece a deficiente drenaje de la subrasante o a la baja capacidad de soporte de la misma, o de la sub base o base.

Cuando la falla es por deficiente valor de soporte de la base, se hace necesario reemplazar el material de base por otro de mejor calidad, o estabilizarlo si es que con ello se puede corregir el mal.

Cuando los pavimentos de tratamientos superficiales exige una reparación general sobre una extensión considerable de su superficie, generalmente deben ser escarificados y reconformados restituyéndoles su perfil transversal y longitudinal, y la tersura superficial atendiendo la base reconstruida, perfilada, compactada, barrida e impregnada, se le coloca finalmente la nueva carpeta asfáltica escogida.

En los pavimentos asfálticos de calidad intermedia y superior también pueden asegurarse el procedimiento anterior pero pulverizando la carpeta, la cual puede formar parte de la nueva base, que debe ser de buena calidad al final de cuentas.

4.7.- Análisis

4.7.1.- Estructura de un Pavimento

Dentro de las características y propiedades físicas, que los usuarios exigen en la sección estructural de un pavimento y principalmente a su superficie de rodamiento, es la de proporcionar una flexibilidad tal, que permita un tránsito cómodo y seguro; y esta característica es una ventaja que presentan únicamente los pavimento del tipo asfáltico, ya que los pavimentos denominados de concreto hidráulico, proporcionan una superficie de rodamiento rígida para los usuarios.

Ahora bien los pavimentos asfálticos, también proporcionan ciertas desventajas, con respecto a los de concreto hidráulico, como se puede mencionar a continuación; presentan un coeficiente de rozamiento menor, entre la superficie de rodamiento y las llantas de los vehículos; así mismo estos tipos de pavimentos absorben más luz y la difunden en menor intensidad, además en época de lluvia o estando húmedos, tienden a producir espejismos al usuario.

Como consecuencia de la repetición de las cargas aplicadas por los vehículos, así como por los efectos de aceleración y frenaje, producen en los pavimentos asfálticos ondulaciones en su superficie de rodamiento.

Ya se ha mencionado que la estructura de un pavimento asfáltico está constituida por las capas de sub base, base y carpeta; que en comparación con la de concreto hidráulico, la cual consta únicamente con sub base y carpeta; tenemos que con este último se ahorra la construcción de la capa de base, lo que redundará en el tiempo empleado en su construcción, así como en el costo total de un pavimento.

4.7.2.- Construcción

Como se indicó en el punto anterior, en el proceso constructivo de un pavimento de concreto hidráulico, no se construye la capa de base, lo que permite una construcción relativamente más rápida. Pero hay que mencionar que en donde principalmente, se evalúa la rapidez de construcción de un pavimento, es en la superficie de rodamiento; carpeta asfáltica o losa de concreto hidráulico.

Es necesario hacer la observación de que en el proceso constructivo correspondiente únicamente a la carpeta del pavimento asfáltico, se presenta una elaboración más rápida; ya que en una jornada de trabajo en condiciones normales se pueden elaborar un promedio de 150 mts cuadrados de carpeta asfáltica; mientras que en el concreto hidráulico, únicamente se construye la cantidad de 20 mts cuadrados de losa de concreto. Lo anterior es debido a que en el primero se tiene que utilizar más maquinaria pesada, como es: motoniveladoras, compactadores, petrolizadoras, así como camiones de volteo para el acarreo de la mezcla asfáltica, al lugar de la obra, ya que normalmente dicha mezcla, se elabora en otro lugar, en donde no produzca incomodidades a la ciudadanía.

En las losas de concreto, se tiene la ventaja de que no se emplea este tipo de maquinaria, ya que en un momento dado, se puede construir con la participación directa de los colonos o beneficiarios, a través de la forma denominada "tequlo"; y claro, con la asesoría técnica adecuada, proporcionada por las dependencias estatales y/o municipales involucradas en la construcción de este tipo de obras.

Ahora bien, tomando en consideración los materiales empleados en la elaboración de la carpeta asfáltica, principalmente el asfalto; éste se tiene que trasladar desde las Ciudades de Salamanca Guanajuato o Tampico Tamps.; repercutiendo con esto que en algunas ocasiones, dicho traslado de asfalto, no es efectuado con la prontitud adecuada, trayendo como consecuencia, que en las obras se desfase el tiempo programado de ejecución, con el tiempo real, dando como resultado los incrementos naturales del costo y tiempo de ejecución. Mientras que en el caso de el material industrializado empleado en la construcción de losas de concreto hidráulico, como es el cemento Portland, varillas, así como el material de las pasajuntas, se puede obtener, a diferencia del asfalto, en cualquier tienda de materiales de construcción.

Una vez que las carpetas asfálticas de concreto hidráulico, han sido conformadas debidamente; las asfálticas tienen la propiedad de abrirse al tránsito vehicular más rápidamente que el de las de concreto hidráulico, debido a que en esta última, se tiene que cuidar debidamente el proceso de fraguado del concreto hidráulico empleado, el cual puede tener una duración máxima del orden de los 28 días, antes de alcanzar su resistencia adecuada.

4.7.3.- Costo

Por lo que respecta al costo de un pavimento, es difícil evaluar que tan costoso es este, ya que si únicamente se considera, el costo inicial de construcción esta ventaja es propia del pavimento asfáltico, ya que como resultado del presupuesto elaborado en su oportunidad, dicho pavimento alcanza un costo de construcción del orden de los \$62,060.37 pesos, que comparado con el importe de \$91,707.01 pesos, correspondientes al precio de un pavimento de concreto hidráulico, se puede observar que siguiendo esta misma consideración, el asfáltico presenta una economía de \$29,646.64 pesos con respecto al de concreto hidráulico, lo cual representa un 32.3% más barato.

Ahora bien, si esta evaluación se realiza tomando como consideración que un pavimento es económico, cuando la suma de los costos producidos por la construcción, conservación y operación sean mínimos, en comparación con otras alternativas consideradas. Como resultado de lo anterior podemos mencionar que un pavimento de concreto hidráulico es más económico, desde este punto de vista de comparación que el asfáltico.

Esta consideración se describirá con más detalle en páginas posteriores.

4.7.4.- Durabilidad

La estructura de un pavimento de tipo asfáltico, se le considera menos resistente que la correspondiente a uno de concreto hidráulico, ya que el primero de estos es más propenso a la destrucción producida por los diversos elementos que inciden en el; estos elementos, principales causantes de ciertos deterioros en el pavimento, son los producidos por las cargas de los vehículos, así como la acción destructora del agua, esto hace que los pavimentos asfálticos sean menos resistentes y durables.

Los pavimentos de concreto hidráulico son proyectados tomando ciertos considerados bien definidos, los cuales proporcionan una vida útil del proyecto, bajo condiciones normales de trabajo. Esta vida útil es del orden de los 40 años.

Los pavimentos asfálticos, bajo las mismas consideraciones de proyecto anotadas anteriormente, presentan una vida útil de proyecto de 15 años; los cuales en comparación de los 40 años del concreto hidráulico, proporcionan una durabilidad menor.

Es importante indicar que la vida útil del proyecto, no es la misma que la que proporciona realmente un pavimento, ya que su durabilidad va ligada a lo que se denomina índice de servicio, el cual marca como nivel de rechazo 2.5 correspondiente a la calificación de un pavimento, en la escala decreciente de 5 como pavimento excelente y 0 como pésimo o intransitable.

4.7.5.- Conservación

Tomando en consideración los altos volúmenes vehiculares, que se mueven en las vialidades de una ciudad, así como las condiciones de un rápido crecimiento del tránsito, la falta de recursos económicos en el momento de la construcción, provoca que los pavimentos sufran diferentes tipos de fallas, las cuales pueden ir desde la falla por insuficiencia estructural, por defectos constructivos y por fatiga. Toda esta gama de fallas hacen que el nivel de servicio de los pavimentos vaya decreciendo, es por esto que es indispensable proporcionar trabajos de conservación y rehabilitación, acordes con los diferentes tipos de fallas que presenten los pavimentos.

Ahora bien un pavimento asfáltico, tiene una resistencia estructural muy reducida, lo que trae como consecuencia que con el aumento de las repeticiones de carga del tránsito, sufran efectos de fatiga y degradación estructural, produciendo con esto una amplia diversidad de fallas, no sólo en las superficies de rodamiento, sino que también repercutiendo en toda la capa del pavimento.

Aunque un pavimento de concreto hidráulico, tiene la ventaja de ser más resistente estructuralmente que el pavimento asfáltico, también está expuesto a diferentes tipos de fallas, las cuales traerán como consecuencia que la condición de la superficie, así como su nivel de servicio, no sea adecuado para los usuarios.

Es por lo anterior que la importancia que presenta la conservación durante la vida útil de un pavimento no se pierda, ya que es indispensable proporcionar en intervalos regulares, trabajos normales de mantenimiento y conservación, tratando con esto que durante su vida útil preste un servicio lo más eficiente posible.

Como ya se ha demostrado en un pavimento asfáltico; debido a su poca resistencia estructural, es necesario que aunado a los trabajos normales de conservación, se realicen trabajos importantes de rehabilitación, los cuales son costosos, y se deben de realizar

forzosamente por no disponer de fondos necesarios para poder emprender una rehabilitación formal, produciendo con esto que cada vez en lapsos de tiempo más cortos, sea necesario realizar inversiones para trabajos de conservación, lo cual traerá como consecuencia un costo acumulado de conservación demasiado alto, sin que los altos pavimentos representen una sustancial mejoría en su estructura.

En los pavimentos asfálticos se presenta la desventaja de que, es necesario estar realizando trabajos de conservación continuamente, tratando de que las fallas incipientes que se pudieran estar presentando en el pavimento, sean tratadas lo más oportunamente posible para evitar que éstas no se hagan mayores.

A diferencia de los anteriores, en los pavimentos de concreto hidráulico, en condiciones normales únicamente se les proporcionan los servicios esporádicos de

conservación, en lapsos de tiempo más prolongados, redundando con esto en el ahorro de la inversión de conservación.

En la siguiente figura se observa que un pavimento asfáltico, proporciona un costo inicial de construcción muy reducido, el cual comparado con el que representa un pavimento de concreto hidráulico, nos da como resultado que el costo del primero, representa aproximadamente la mitad de lo que nos costaría uno de concreto hidráulico.

Pero es importante observar que a el asfáltico, para poder seguir proporcionando un índice de servicio adecuado durante su vida útil, es necesario aplicar una alta cantidad de inversión, en un lapso de tiempo relativamente muy corto; esto nos dará como resultado que para una vida útil corta, se tenga que gastar el costo inicial de construcción una inversión muy baja; pero que esta inversión aunada a un elevado costo acumulado de conservación, nos proporciona un pavimento asfáltico, con un costo total demasiado alto o anti-económico a la larga.

Por lo que respecta, a un pavimento de concreto hidráulico, si bien es cierto que, este proporciona un costo inicial de construcción cercano al 50% más alto del costo presentado por el pavimento asfáltico, sus costos de conservación acumulados están muy debajo de los asfálticos, ya que como se podrá observar en la gráfica correspondiente al del concreto hidráulico, su curva es más prolongada, debido principalmente a que la inversión aplicada al rubro de conservación es muy inferior al del asfáltico; aunado a lo anterior, se observa que proporciona una vida útil en condiciones normales muy superior al pavimento asfáltico, dando como consecuencia que el pavimento de concreto hidráulico sea más económico a lo largo de su vida útil.

4.7.6.- Acabados

La acción sistemática del hombre comienza con la construcción de muros y caminos. Sin ambos elementos, hoy, es inconcebible un lugar para vivir. Para la morada sólo faltaría la cubierta, pero el espacio público libre está determinado, ante todo, por las cualidades visuales de caminos y muros.

Cuando hablamos de caminos le damos el contexto evolutivo desde el sendero hasta la superficie de circulación: peatonal, rodada y esparcimiento.

Se trata de hacer transitable una superficie, superar una altura, proteger de circunstancias adversas o ambas, así con el uso que le de el hombre determinan la apariencia.

De ahí que en todas las culturas existan numerosos ejemplos de imagen visual en los caminos. Por ello es fundamental entender la importancia de la riqueza de formas que permiten los pavimentos.

La gama de las distintas formas de pavimentos es aún más rica. Los pavimentos de concreto hidráulico permiten en base a la técnica tradicional ajustar el acabado a las exigencias de la imagen urbana.

La ductibilidad del concreto hidráulico antes de fraguar permite la aplicación de instrumentos tradicionales y maniobrabilidad que dan la forma requerida, por más caprichosa que resulte. El estampado; el tamaño de la "piedra"; la textura del pulido; así como, las diversas combinaciones de éstos, pueden dar una variedad incontable en las formas de acabados para pavimento hidráulico.

¿Cómo se logran los acabados en el pavimento de concreto hidráulico?

- I.** Una vez vaciado el concreto al espacio donde será confinado se realizan acciones de albañilería. La mano de obra basada al uso de la cuchara, la llana y el volteador sirven para pulir y dar forma después del espolvoreado de la piedra.
- II.** Cuando en la piedra de concreto desaparece el agua superficial, se procede al momento de "la marca": rayados, escobillados o estampados, según el diseño previo correspondiente a la imagen urbana del entorno.

El rayado: Se realiza con cualquier instrumento recto y resistente capaz de marcar (madera, ángulo, lámina, varilla).

Escobillado: Marca superficial a base de escoba, brochas o cepillos generalmente rectos u ondulantes.

Estampado: La rejilla para estampado es un instrumento fabricado expresamente para la obra que se realiza. El instrumento obedece a un diseño previo según la estampa que se desee integrar a la imagen urbana de la calle, camino. La fabricación puede hacerse en base a un marco de P.T.R. de 1.00 x 2.00 mts que resguarda figuras de fibra de vidrio o metálicas, respondiendo a las formas requeridas: piedra bova, cuadros ordenados y rectilíneos, adoquinados u ordenamientos diversos. El marcador (instrumento fabricado para estampar) debe tener la resistencia para soportar la aplicación de 50 kg/cm² que dé como resultado la impresión uniforme de la piedra de concreto hidráulico.

4.7.7.- Resultados

Una vez analizados los puntos principales correspondientes a los dos tipos de pavimentos en este trabajo, se podrá anotar como resultado que, las ventajas que presenta un pavimento asfáltico sobre un pavimento de concreto hidráulico, son las siguientes:

- 1. Son flexibles**
- 2. Su elaboración es más rápida**
- 3. Se abre al tránsito primero que los hidráulicos**
- 4. La construcción es más económica**

Pero las desventajas que presentan los pavimentos asfálticos sobre los concretos hidráulicos son:

- 1. Tienen un coeficiente de rozamiento menor.**
- 2. Producen ondulaciones.**
- 3. Absorben más luz y la difunden menos.**
- 4. Estando húmedos producen espejismos**
- 5. Menos resistentes y durables**
- 6. Alto gasto de mantenimiento (corto, mediano y largo plazo)**
- 7. Para la construcción de la carpeta es indispensable el empleo de maquinaria pesada.**
- 8. Requiere de mano de obra calificada.**
- 9. No genera mayor número de utilización de mano de obra.**
- 10. Es difícil de integrarse a programas de empleo.**
- 11. No hay versatilidad en el acabado y crea monotonía en la imagen urbana.**
- 12. El manejo del asfalto tiene un impacto ecológico mayor: utiliza recursos no renovables; aumenta la temperatura.**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Empleo.

Las características estructurales de México en el ámbito "económico", lo define como un país dependiente y endeble ante el exterior, por ello es de fundamental importancia generar servicios urbanos que necesariamente generen empleos. Empleos al mayor número de personas posibles.

Instrumentar programas de empleo derivado de la realización de obras que no requieran de mayor especialización técnica.

Utilización de los técnicos y organización tradicionales, del equipo y herramientas menor del albañil y peón que permita dotar de servicios de pavimento hidráulico en los centros urbanos, para evitar el desempleo masivo. Se contribuye así al trabajo.

2. Imagen urbana.

La versatilidad de los acabados que permite el concreto hidráulico para el caso de los pavimentos, permiten adecuar los mismos integrándose a la imagen urbana tan diversa en nuestras ciudades: turístico-coloniales, residenciales, habitacionales medias, colonias populares, andadores, atrios, patios de maniobras, plazas y parques, caminos vecinales, áreas de recreación y deportivas. Todo ello gracias a técnicas tradicionales y mano de obra no calificada que sólo usa: palos, picos, llanas, cuchara, regia, volteador, escoba, martillos, marcadores, hilo, metro, escantillón, botes, carretillas, barreta, marros, revolvedora, vibrador, cimbra y rejilla de estampado en su caso.

Nota: Rejilla de estampado es una estructura a base de ángulo o PTR que forman un marco para contener sellos o marcas a base de varilla, fibra de vidrio o ángulo que al presionar en la superficie de concreto hidráulico previamente pulido en una área determinada. Da el acabado final que sustituye al rayado o el escobillado ampliamente conocido.

3. Economía.

La ventaja de la utilización de pavimento de concreto hidráulico no sólo favorece por su ductibilidad para integrarse a la imagen urbana o bien como generador de empleo masivo, sino también como un reductor de gastos en mantenimiento ya que los costos a corto, mediano y largo plazo son menores comparados con el pavimento de concreto asfáltico.

BIBLIOGRAFIA

* Pavimentos y límites urbanos (caminos, calles, plazas públicas, peatonales y de tráfico rodado).
Dieter Boeminghaus , Gustavo Gil, S.A.
Barcelona, 1984

* Vías de comunicación Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos.
Carlos Crespo Villalaz.
(1979)

* La ingeniería de los suelos en las vías terrestres carreteras, ferrocarriles y aeropistas.
Alfonso Rico y Hermilo del Castillo.
Volumen II (1989)

* Estructuración de vías terrestres.
Fernando Olvera Bustamante.
(1986)

* Normas de calidad de materiales carreteras y aeropistas.
S.C.T. (1986)

* Apuntes del curso de diseño y construcción de pavimentos.
Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.
Gabriel García Altamirano. (1991)

* Concreto reforzado un enfoque básico.
Edward G. Nawy. (1988)

* Control de calidad estadístico
L. Grant, Eugene.
Continental S.A. 1973 México, D.F.

* La ingeniería de suelos en las vías terrestres (Volumen 2)
Rico, Alfonso y Del Castillo, Hermilo
Limusa 1984 México, D.F.

* Manual del Ingeniero Civil (Volumen 1)
S. Merrit, Frederick Mc Graw- Hill 1986 México D.F.

* Especificaciones Generales de Construcción (Parte novena libro segundo).
Secretaría de comunicaciones y Obras Públicas. 1985 México. D.F. ,

* Normas de calidad de los materiales (Libro 4, parte 01)
Secretaría de comunicaciones y Obras Publicas 1985 México, D.F.

* NOM-C-155-1976 "Concreto Premezclado"
Dirección General de Normas 1976 México, D.F.

* NOM-C-159-1976 "Elaboración y curado en el laboratorio, de
especímenes de concreto"
Dirección General de Normas 1976 México. D.F.

* NOM-C-160-1976 "Elaboración y curado en el laboratorio, de
especímenes de concreto"
Dirección General de Normas 1976 México, D.F.

* NOM-C-161-1976 "Muestreo del Concreto Fresco "
Dirección General de Normas 1976 México, D.F.

* Tesis Profesional"
"Análisis comparativo en la utilización de pavimento asfáltico o de
concreto hidráulico, para la Cd. de Oaxaca de Juárez."
César Oscar Hernández Vázquez
Instituto Tecnológico de Oaxaca , 1992.

* "Tesis Profesional"
"El control de calidad en la Industria de la Construcción"
Valentín Juventino Morales Domínguez .
Instituto Tecnológico de Oaxaca, 1990.