



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS
TERRESTRES

**“PROPUESTA DE UN MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE
PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO EN LA CIUDAD DE
MORELIA”**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS
TERRESTRES

PRESENTA:

ING. MARCOS MONROY MENDOZA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RAFAEL SOTO ESPITIA

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. JORGE ALARCÓN IBARRA

MORELIA, MICHOACÁN. AGOSTO 2017

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por haberme acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de experiencias, aprendizajes y sobre todo felicidad. Agradezco al Consejo Nacional De Ciencia Y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto.

Quiero agradecer de manera muy especial al Dr. Rafael Soto Espitia por guiarme tan acertadamente durante la realización de este proyecto, por sus consejos, sugerencias, tiempo y dedicación. Al Dr. Cesar I. Medina Chávez por su apoyo para la selección de este proyecto. Del mismo modo le agradezco al Dr. Jorge Alarcón Ibarra, por transmitirme la pasión por los pavimentos y a todos mis profesores del posgrado.

Le agradezco a mi esposa la Lic. Cecilia León Carriedo, por su continuo apoyo incondicional, su paciencia y comprensión que me brinda día con día, no solo para el desarrollo de esta tesis, sino también en mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles.

Le doy gracias a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores q me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. A mis hermanos Magdalena y Daniel por creer en mí, por todo el apoyo y confianza brindados.

Resumen

El pavimento de concreto hidráulico más usado en vialidades urbanas en México es el pavimento de concreto hidráulico simple con juntas. Estos pavimentos pueden presentar deterioros prematuros ocasionados principalmente por procedimientos constructivos deficientes, ausencia de control de calidad y diseños de pavimentos inadecuados, estos factores reducen la vida útil del pavimento, provocando que se incrementen los costos de operación y de mantenimiento.

Los propósitos de este trabajo es presentar un manual donde se pueda orientar a los ingenieros civiles con procedimientos constructivos adecuados y prácticas recomendables en la construcción de un pavimento de concreto hidráulico simple con juntas, a partir de un análisis de la normativa existente relacionada con la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, así como conocer las metodologías de diseño para pavimentos de concreto hidráulico y la importancia de cada factor que interviene en el diseño.

Palabras Clave: Pavimento, procesos constructivos, concreto hidráulico, normativa, factores de diseño

Abstrac

The most used hydraulic concrete pavement in Mexican urban roads is the pavement made of simple hydraulic concrete with joints. These pavements may show early deterioration caused mainly by poor constructing procedures, lack of quality control and inadequate pavement designs, these factors reduce the pavement life, causing increased operating and maintenance costs.

The porpouses of this work is to present a guidance where civil engineers can be oriented with adequate construction procedures and recommended practices in constructing simple hydraulic concrete pavements with joints, based on an analysis of the current regulations related to construction of hydraulic concrete pavements, as well as to know design methodologies for hydraulic concrete pavements and the importance of each factor involved in the design.

Keywords: Pavement, construction processes, hydraulic concrete, normative, factors design.

Contenido

Agradecimientos.....	i
Resumen.....	ii
Abstrac.....	iii
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras	xi
1. Introducción	1
1.1 Justificación y Delimitación de la Investigación	4
1.1.1 Justificación.....	4
1.1.2 Delimitación.....	5
1.2 Objetivos De La Investigación.....	5
1.3 Objetivo General.....	5
1.4 Objetivos Específicos.....	6
2. Estado del Arte	7
2.1 Antecedentes	7
2.1.1 Antecedentes en México.....	13
2.2 Elementos que Constituyen los Pavimentos de Concreto Hidráulico.....	15
2.2.1 Capa Subrasante.....	16
2.2.2 Capa Subbase	17
2.2.3 Capa Base.....	19
2.2.4 Superficie de Rodamiento de Concreto Hidráulico	21
2.2.5 Juntas	38
2.2.6 Pasajuntas.....	40
2.3 Tipos de Pavimento de Concreto Hidráulico.....	41
2.3.1 Pavimento de Concreto con Juntas (JCP).....	42
2.3.2 Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP)	45
2.3.3 Pavimento de Concreto de Refuerzo Continuo (CRCP).....	46
3. Análisis de Normativa	48
3.1 Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT) N-CTR-CAR-1-04-009-06 “Carpetas de Concreto Hidráulico”	49
1. Contenido.....	49

2.	Definición y Clasificación.....	50
3.	Referencias.....	50
4.	Materiales.....	50
5.	Equipo.....	51
6.	Transporte y Almacenamiento.....	51
7.	Ejecución.....	51
8.	Criterios de Aceptación o Rechazo.....	56
9.	Medición.....	61
10.	Base de pago.....	62
11.	Estimación y Pago.....	62
12.	Recepción de la Obra.....	63
3.2	Normas de Construcción del Distrito Federal.....	63
3.2.1	Definición, Clasificación y Objeto.....	63
3.2.2	Referencias del Concepto en Otros Documentos.....	64
3.2.3	Materiales Componentes del Concreto.....	65
3.2.4	Requisitos de Ejecución.....	66
3.2.5	Alcances, Unidades de Medida, Criterios para Cuantificar y Base de Pago.....	68
3.3	Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León. 70	
3.3.1	Concepto.....	71
3.3.2	Calidad del Material.....	71
3.3.3	Pruebas de Ensayos para Materiales de Concreto Hidráulico.....	72
3.3.4	Control de Calidad del Material.....	72
3.3.5	Control de Ejecución.....	73
3.3.6	Control de Recepción.....	74
3.3.7	Ensayos de Información.....	75
3.3.8	Espesores.....	75
3.3.9	Textura Superficial.....	76
3.3.10	Regularidad Superficial.....	77
3.4	Reglamento de Construcción y de los Servicios Urbanos para el Municipio de Morelia.....	78

4. Análisis de Procedimientos Constructivos de Pavimentos de Concreto Hidráulico con Juntas.....	88
4.1 Planeación.....	88
4.2 Elaboración de concreto hidráulico	89
4.2.1 Cemento.....	89
4.2.2 Agregados.....	90
4.2.3 Agua	90
4.2.4 Medición y dosificación.....	90
4.3 Mezclado.....	91
4.3.1 Concreto hidráulico fabricado en Planta.....	91
4.3.2 Concreto no fabricado en Planta.....	92
4.3.3 Tiempo de mezclado.....	93
4.4 Transporte del concreto hidráulico.....	93
4.5 Tipos de pavimentaciones	95
4.6 Pavimentación con cimbra fija.	95
4.6.1 Cimbra.....	95
4.6.2 Colocación de pasajuntas.....	99
4.6.3 Colocación del concreto hidráulico.....	100
4.6.4 Compactación.....	102
4.6.5 Texturizado	104
4.6.6 Curado.....	105
4.6.7 Descimbrado.....	108
4.6.8 Aserrado y sellado de las juntas.....	108
4.7 Pavimentación con cimbra deslizante.....	114
4.7.1 Colocación de la Línea de Referencia.....	114
4.7.2 Colocación del concreto hidráulico.....	116
4.7.3 Compactación.....	118
4.7.4 Texturizado.	118
4.7.5 Aserrado y sellado de la junta.....	118
5. Análisis de Metodología de Diseño.....	119
5.1 Método de la Portland Cement Association.....	119
5.1.1 Análisis por fatiga	120



5.1.2	Análisis por erosión.....	121
5.1.3	Factores requeridos en el método de la PCA.....	122
5.1.4	Programas de Diseño PCAPAV y StreetPave.....	124
5.2	Método de la AASHTO 93	126
5.2.1	Factores de diseño de la guía AASHTO 1993 para pavimentos de concreto hidráulico.....	127
5.2.2	Programa WinPAS.....	136
5.3	Comparación entre el Método de la PCA y el Método AASHTO.....	137
5.3.1	Parámetros del método PCA y AASHTO.....	138
6.	Discusión de Resultados.....	140
6.1	Comparativa de Normativa Existente de Pavimento de Concreto Hidráulico.....	140
6.2	Procedimientos Constructivos de Pavimentos de Concreto Hidráulico con Juntas. 143	
6.3	Método de diseño de pavimento de concreto hidráulico PCA y AASHTO.....	144
6.3.1	Análisis de sensibilidad de los parámetros de entrada del método de la PCA 144	
6.3.2	Análisis de sensibilidad de los parámetros de entrada del método AASHTO 146	
6.4	Recomendaciones.....	157
7.	Conclusiones.....	158
	Referencias.....	159
	Apéndice I.....	163
	Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia	163

Índice de tablas

Tabla 2.1.-Valores de Calidad del SCT y Propuestos por el IMT para Materiales de Subrasante. (Elaboración Propia).....	17
Tabla 2.2.-Requisitos de Granulometría de los Materiales para Subbase. (N-CMT-4-02-001/11, 2011).....	18
Tabla 2.3.-Requisitos de Calidad para Materiales para Subbase. (N-CMT-4-02-001/11, 2011).....	19
Tabla 2.4.-Requisitos de Granulometría de los Materiales para Bases de Pavimentos con Carpeta de Concreto Hidráulico. (N-CMT-4-02-002/11, 2011).....	20
Tabla 2.5.-Requisitos de Calidad de los Materiales para Bases de Pavimentos con Carpeta de Concreto Hidráulico. (N-CMT-4-02-002/11, 2011).	21
Tabla 2.6.-Tipos de Cemento y sus Principales Componentes. (NMX-C-414-ONNCCE-2010, 2010).....	23
Tabla 2.7.-Especificaciones Físicas según la Clase Resistente del Cemento. (NMX-C-414-ONNCCE-2010, 2010).....	24
Tabla 2.8.-Especificaciones de los Cementos con Características Especiales. (NMX-C-414-ONNCCE-2010, 2010).....	25
Tabla 2.9.- Límites de Granulometría para el Agregado Fino. (NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).....	30
Tabla 2.10.-Límites Máximos de Partículas Deleznable y Carbón o Lignito en Agregados Finos. (NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).....	30
Tabla 2.11.- Material Máximo Permisible en la Masa Total de la Muestra en %. (NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).....	31
Tabla 2.12.- Cantidades de Material Máximo Permisible Menor que la Criba 0,075 mm (No.200) en Agregados Finos. (NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).....	31
Tabla 2.13.- Límites Granulométricos del Agregado Grueso. (NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).....	32
Tabla 2.14.- Límites Máximos de Contaminación y Requisitos Físicos de Calidad del Agregado Grueso. (NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).....	33
Tabla 2.15.- Material Máximo Permisible Menor de la Criba 0,075mm (No. 200) en Agregados Finos y Gruesos. (NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).....	33

Tabla 3.1.- Tolerancia para líneas y pendientes. (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006)	60
Tabla 3.2.- Referencias de Conceptos en Otros Documentos. (Gobierno del Distrito Federal, 2013)	65
Tabla 3.3.- Modulo de Ruptura en Base a la Categoría de Tráfico Pesado. (Estado de Nuevo León, 2010)	72
Tabla 3.4.- Valores de macrotextura y microtextura de acuerdo al tipo de vialidad. (Estado de Nuevo León, 2010)	76
Tabla 3.5.- Características del material del cuerpo del terraplén. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	78
Tabla 3.6.- Características del material de la capa subrasante. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	79
Tabla 3.7.- Valores de algunas características de acuerdo a la granulometría del material. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	80
Tabla 3.8.- Equivalente de arena e Índice de ductibilidad en caminos. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	81
Tabla 3.9.- Equivalente de arena e Índice de ductibilidad en patios y plataformas. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	81
Tabla 3.10.- Límites de granulometría del agregado fino. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	82
Tabla 3.11.- Tolerancias de sustancias perjudiciales en el agregado fino. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	82
Tabla 3.12.- Composición granulométrica del agregado grueso. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	83
Tabla 3.13.- Tolerancias de sustancias perjudiciales en la grava. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	83
Tabla 3.14.- Requerimientos mínimos para pasajuntas en diferentes espesores de losa. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)	87
Tabla 4.1.- Tolerancias típicas de dosificación de componentes del concreto hidráulico. (Elaboración propia)	90
Tabla 5.1.- Relación entre valores de CBR y k.	129
Tabla 5.2.- Coeficiente de transferencia de carga. (AASHTO, 1993)	130



Tabla 5.3.-Valores de Confiabilidad de Acuerdo a la Clasificación del Camino. (AASHTO, 1993)	131
Tabla 5.4.-Relación Nivel de Confianza - Desviación Normal Estándar. (AASHTO, 1993)	131
Tabla 5.5.-Valores de Coeficientes de Drenaje Recomendados para el Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico. (AASHTO, 1993)	132
Tabla 5.6.-Variables de Entrada Requeridas en el Método de la PCA y AASHTO. (Elaboración propia)	138
Tabla 6.1.- Comparativa de Normativas Referente a la Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico. (Elaboración propia).....	140
Tabla 6.2.- Espesores de acuerdo a la variación de ESAL's, por el Método PCA y AASHTO. (Elaboración propia)	155

Índice de figuras

Figura 1.1.-Pavimento de concreto en Avenida Juárez, Morelia Mich. (Elaboración Propia).....	3
Figura 1.2.-Pavimento de concreto en Avenida Juárez, Morelia Mich. (Elaboración propia).....	3
Figura 1.3.-Pavimento de concreto en Avenida Periodismo, Morelia Mich. (Elaboración propia).....	4
Figura 2.1.- Pista de Prueba Bates. (Delatte, 2008).....	9
Figura 2.2.- Preparación de Pasajuntas y Barras de Amarre para el Pavimento de Concreto. (Delatte, 2008).....	11
Figura 2.3.- a) y b) Pavimentadora de Concreto Deslizante. (Delatte, 2008).....	12
Figura 2.4.- Elementos de un pavimento de concreto con juntas. (Elaboración propia).....	16
Figura 2.5.- Pavimento de Concreto sin pasajuntas.(Elaboración propia).....	43
Figura 2.6.- Pavimento de Concreto con Pasajuntas.(Elaboración propia).....	43
Figura 2.7.- Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP). (Elaboración propia).....	45
Figura 2.8.- Pavimento de Concreto con Refuerzo Continuo (CRCP).(Elaboración propia).....	46
Figura 3.1.- Ubicación de los puntos a nivelar. (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006).	60
Figura 3.2.- Zona de Especificaciones Granulométricas.....	79
Figura 4.1.- Concreto hidráulico fabricado en planta central.....	92
Figura 4.2.- Armazones de barras de pasajuntas (Canastillas). (Elaboración propia).....	100
Figura 4.3.-Tiempo para realizar el aserrado de la junta. (Elaboración propia)	109
Figura 5.1.- Diagrama de Flujo del Método de la PCA. (Elaboración propia)	125
Figura 5.2.- Programa de Diseño StreetPave.....	126
Figura 5.3.- Nomograma para Resolver la Ecuación AASHTO 93. (AASHTO, 1993).....	135
Figura 5.4.- Diagrama de Flujo del Método AASHTO 93. (Elaboración propia).....	136
Figura 5.5.- Programa de Diseño de Pavimento Utilizando la Guía AASHTO 93. ...	137



Figura 6.1.- Efecto del Módulo de Ruptura en el Espesor de la Losa, Método PCA. (Elaboración propia)	145
Figura 6.2.- Efecto del Módulo de Reacción en el Espesor de la Losa, Método PCA. (Elaboración propia)	146
Figura 6.3.- Efecto del Módulo de Ruptura en el Espesor de a Losa, Método AASHTO. (Elaboración propia)	148
Figura 6.4.- Efecto del Módulo de Reacción en el Espesor de la Losa, Método AASHTO. (Elaboración propia).....	149
Figura 6.5.- Efecto de la Confiabilidad (R) en el Espesor de la Losa, Método AASHTO. (Elaboración propia)	150
Figura 6.6.- Efecto del Coeficiente de Transferencia de Carga en el Espesor de la Losa. (Elaboración propia)	151
Figura 6.7.- Efecto del Coeficiente de Drenaje en el Espesor de la Losa, Método AASHTO. (Elaboración propia).....	152
Figura 6.8.- Efecto de la Serviciabilidad Inicial en el Espesor de la Losa, Método AASHTO. (Elaboración propia).....	153
Figura 6.9.- Efecto de la Serviciabilidad Final en el Espesor de la Losa. (Elaboración propia)	154
Figura 6.10.- Espesores de Acuerdo a la Variación de ESALs, por el Método PCA y AASHTO. (Elaboración propia).....	155

1. Introducción

Desde hace cientos de años la construcción de vías de comunicación han sido indispensables para el desarrollo de las civilizaciones, ya que el ser humano por naturaleza tiene la necesidad de relacionarse con sus semejantes y su entorno.

Conforme se ha visto la importancia de los caminos, éstos se han construido de distintos tipos de materiales a lo largo de la historia, los cuales buscan cumplir con su objetivo específico de proporcionar una superficie que facilite el traslado de un punto hacia otro.

En la actualidad la construcción de pavimentos se divide en dos grandes grupos; los pavimentos flexibles y los pavimentos de concreto hidráulico. Referente a la construcción de los pavimentos de concreto hidráulico se ha observado que algunos de los nuevos pavimentos que se construyen al poco tiempo de ser puestos en operación empiezan a presentarse deterioros significativos en el pavimento. Los deterioros prematuros en los pavimentos se pueden presentar principalmente debido a las siguientes causas:

- a) Deficiencia de los procesos constructivos y control de calidad.
- b) Diseño inadecuado de los pavimentos.

Se presentan deficiencias en los procesos constructivos cuando no se aplica la forma correcta de ejecutar los trabajos para llegar a cumplir con lo que se establece en las normativas, se puede dar el caso que para economizar la obra los procesos constructivos que se emplean no son los indicados, repercutiendo en la calidad de la obra.

Otro factor importante para que los pavimentos presenten deficiencias prematuras se da cuando no se lleva un control de calidad adecuado de los trabajos que se ejecutan. Al no llevar un control de la calidad no se puede asegurar que los trabajos que se realizan cumplan con los parámetros establecidos en la normativa o los que se indiquen en el proyecto. El cumplimiento de todos los parámetros es vital para que los pavimentos tengan el comportamiento que se desea. Todos los trabajos que se requieren hacer para la construcción de los pavimentos de concreto hidráulico van

ligados entre sí, y cada uno depende del otro para que todo el pavimento funcione correctamente, ya que si un concepto de trabajo no cumple con las características o lo indicado en la normativa puede repercutir en los demás trabajos. Por ejemplo, si en una parte no se realiza una buena compactación de la base, la losa de concreto no tendría un buen soporte, por lo cual, cuando se someta la losa a las cargas de tránsito, ésta se agrietara y será susceptible a la entrada de agua de lluvia, la cual se pueda infiltrar en la base y subrasante provocando que se produzcan mayores deformaciones y se produzcan más deterioros en el pavimento.

El diseño de un pavimento se realiza considerando las características particulares del sitio donde se pretende construir. Existen diferentes metodologías para el diseño de pavimentos, pero todos requieren ser alimentados por datos reales que indiquen las características del sitio donde se plantea construir el pavimento. Estos datos y características se obtienen por medio de diferentes estudios.

En muchas ocasiones no se realizan los estudios necesarios para realizar los diseños de pavimento, por lo que se intuyen datos que no representan la realidad, por lo cual los diseños que se efectúan son inadecuados y no van a trabajar como se espera, ya que están sometidos a factores diferentes a los que se diseñan.

La construcción de pavimentos de concreto hidráulico en la ciudad de Morelia se ha estado incrementando en los últimos años, muchos de ellos presentan deterioros prematuros debido a algunas de las causas mencionadas previamente, dando la impresión a los usuarios que este tipo de pavimentos no son funcionales ni apropiados para la ciudad de Morelia.

Tal es el caso del pavimento de la Avenida Juárez el cual al poco tiempo de ser abierto al tráfico comenzó a presentar una gran cantidad de deterioros como se observa en la Figura 1.1 y Figura 1.2.



Figura 1.1.-Pavimento de concreto en Avenida Juárez, Morelia Mich. (Elaboración Propia).



Figura 1.2.-Pavimento de concreto en Avenida Juárez, Morelia Mich. (Elaboración propia).

Otro pavimento construido recientemente en la ciudad de Morelia fue el de la Avenida Periodismo, el cual está empezando a presentar deterioros prematuros como se observa en la Figura 1.3.



*Figura 1.3.-Pavimento de concreto en Avenida Periodismo, Morelia Mich.
(Elaboración propia).*

1.1 Justificación y Delimitación de la Investigación

1.1.1 Justificación

Una gran cantidad de los pavimentos en la ciudad de Morelia, Michoacán tienen más de 20 o 30 años de haber sido construidos. Estos pavimentos envejecidos presentan varios deterioros, por lo que es necesario realizar actividades de mantenimiento, en algunos casos rehabilitarlos para que cumplan con las condiciones estructurales y funcionales requeridas.

Por otro lado, la mayoría de las rehabilitaciones y construcciones realizadas en los últimos años en la ciudad de Morelia se han hecho empleando pavimentos de concreto hidráulico (p. ej. Av. Juárez, Av. Periodismo y Av. Camelinas). Es por ello que es de gran importancia que los trabajos constructivos que se lleven a cabo sean adecuados y tengan una metodología bien planeada. De este modo será posible evitar que los pavimentos nuevos presenten fallas prematuras.

El presente trabajo de tesis propone realizar una evaluación de las necesidades técnicas y constructivas para determinar las causas de deterioro prematuro de los pavimentos de concreto hidráulico. Del mismo modo, se propone un manual de

procedimientos constructivos que permitirá que tanto el municipio como las empresas privadas, puedan llevar a cabo trabajos de pavimentación con concreto hidráulico de una manera bien planeada, minimizando así las posibilidades de deterioros o fallas prematuras.

Para lograr el objetivo anterior, se revisará el proceso de construcción de los pavimentos de concreto hidráulico y las Normas Federales existentes, las cuales contienen aspectos a considerar en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico. Estas normas son de aplicación general y se emplean para todo el país, por lo cual no toman en cuenta las características particulares de cada zona geográfica. Así, es que es necesario contar con una guía o normativa que contenga mayor detalle de los procesos constructivos de acuerdo a las características particulares de la zona de Morelia.

1.1.2 Delimitación

El presente trabajo se limita a realizar una propuesta para un manual de construcción de pavimentos de concreto con juntas (JCP) en la ciudad de Morelia, de igual forma hacer una recomendación para la utilización de una metodología específica de diseño de pavimentos de concreto hidráulico.

1.2 Objetivos De La Investigación

1.2.1 Objetivo General

Emitir una propuesta de un manual para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico tipo JCP en la ciudad de Morelia.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Revisar las deficiencias comunes de los procesos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico.
2. Analizar la normativa vigente referente a la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, tomándola como una base fundamental para realizar la propuesta de un manual local.
3. Analizar las distintas metodologías de diseño de pavimentos de concreto hidráulico para hacer una propuesta de que metodología utilizar en la construcción de pavimentos de concreto tipo JCP en la ciudad de Morelia.

2. Estado del Arte

2.1 Antecedentes

El primer pavimento de concreto fue construido en Bellefontaine, Ohio, en 1891, por George Bartholomew. Él aprendió de la producción de cemento en Alemania y Texas y encontró los materiales necesarios para su producción en la parte central de Ohio.

La sección del pavimento fue de 2.44 m de ancho a lo largo de la plaza Courthouse. Después de este primer tramo, en 1893 se pavimentaron las calles Court Avenue y Opera Street; completando el primer cuadro en 1894 con Columbus Avenue. El proyecto de 1894 fue construido por William TG Snyder, un constructor de caminos de Bellefontaine siendo el primer contratista de pavimentos de concreto de Estados Unidos. (Delatte, 2008)

Cabe mencionar que en aquella época, no se había generalizado el uso del término “concreto” y que al pavimento se le llamó “piedra artificial”, realizando la mezcla de los materiales manualmente.

Cuando se dio a conocer el éxito del pavimento de concreto, una serie de ciudades comenzó a construir pavimentos de concreto, ya que hasta entonces los caminos eran de tierra o pavimentados con ladrillos o de asfalto pobre.

En 1913 se construyó el primer camino de concreto hidráulico, con una longitud de 36.8 km, un ancho de 2.74 m y espesor de 12.7 cm, en Arkansas. Este fue seguido en 1914 por 79 km de pavimento en Mississippi, y para finales de 1914, un total de 3778 km de pavimento de concreto se habían construido en los Estados Unidos.

Con el advenimiento del automóvil, los usuarios demandaban más y mejores caminos, pero otro grupo de usuarios, el de los ciclistas, fueron los primeros que se organizaron para formar la Liga Americana de Usuarios, quienes ayudaron a organizar la Asociación Americana de Constructores de Caminos en 1910 y posteriormente, en

1916 se constituyó la Asociación de Cemento Portland (PCA), para promover el uso del Cemento Portland y del Concreto. (Delatte, 2008)

Para complementar la teoría y desarrollar procedimientos de diseño para pavimentos de concreto, se construyeron los primeros tramos de prueba, como el construido en 1909 por el Departamento de Trabajos Públicos de Detroit, en donde se colocaron cadenas y ruedas metálicas para simular el paso de caballos y carretas y determinar la durabilidad del pavimento.

De 1912 a 1923 el Estado de Illinois realizó pruebas en secciones de diferentes materiales y espesores creando la Pista de Pruebas Bate (Figura 2.1) en donde utilizaban viejos camiones de la Primera Guerra Mundial con cargas de 454 a 4900 kg. Se sometieron a prueba 22 secciones de ladrillo, 17 de asfalto y 24 de concreto hidráulico de las cuales resistieron satisfactoriamente las cargas de los vehículos una de ladrillo, tres de asfalto y diez de concreto. De los resultados se derivaron varias formulaciones de diseño utilizadas en la construcción del primer sistema de carreteras estatal en Estados Unidos, así como el “Design and Construction of Concrete Pavements” que en 1930 adopta una ecuación que involucra el esfuerzo en la losa inducido por una carga en la esquina. (Delatte, 2008)



Figura 2.1.- Pista de Prueba Bates. (Delatte, 2008).

Hasta 1922 los pavimentos de concreto se habían construido sin juntas con una sección central engrosada en un intento de evitar la formación de grietas longitudinales irregulares que se desarrollaban en pavimentos de 4.9 a 5.5 m de ancho. En base a los resultados obtenidos en Illinois se construyeron juntas en el centro para eliminar el agrietamiento longitudinal (ACPA 2006).

En Pittsburg California realizaron pruebas de 1921 a 1923 comparando pavimentos de concreto reforzado con pavimentos de concreto sin refuerzo. Esta prueba no mostro ninguna ventaja particular en el uso del concreto reforzado, pero las secciones de prueba fueron construidas sin juntas y no reflejaban la práctica moderna.

Durante la década de los años 20, los pavimentos de concreto se construían sobre el terreno natural, una vez realizado el despalme y nivelado el terreno. Este apoyo era suficiente para tener un buen comportamiento del concreto hasta finales de la década de los 30, cuando se incrementó el tránsito en las carreteras, lo que da origen a los problemas de bombeo y a la necesidad de utilizar subbases.

Los pavimentos de concreto fueron construidos directamente sobre la subrasante independientemente del tipo de subbase o condiciones de drenaje. Los espesores utilizados fueron de 6 plg a 7 plg. Con el aumento del tráfico después de la Segunda Guerra Mundial el bombeo se convirtió en un fenómeno cada vez más importante. En los años 1930 y 1940 se construyeron pavimentos con secciones engrosadas en los bordes, por ejemplo, se construía un pavimento de 6 plg en el centro y 8 pulgadas en los bordes y se conocía como un diseño 8-6-8.

Con el tiempo los diseños fueron evolucionando, los pavimentos se construyeron sobre subbases granulares con el fin de evitar el fenómeno del bombeo. En climas propensos al congelamiento se utilizaban bases robustas para protegerlas contra las heladas. Los espesores de las carpetas se aumentaron a 9 y 10 plg. En la práctica moderna, los diseños más robustos se utilizan para carreteras muy transitadas.

Los equipos con los que se hacían las pavimentaciones fueron presentando mejoras con el paso del tiempo, pasando de realizar las mezclas a mano a utilizar mezcladores motorizados. La extendidora de concreto deslizante se desarrolló en Iowa entre 1946 y 1949 por los ingenieros James W. Johnson y Bert Myers (Figura 2.3). El equipo se utilizó por primera vez en 1949 para pavimentar un camino con un ancho de 2.7 m y 150 mm de espesor. Utilizando dos extendidoras de concreto deslizante se podía construir un camino en una sola pasada. Con el uso de estos equipos las juntas aserradas fueron sustituyendo a las juntas hechas a mano y mejorando el confort del pavimento.

Conforme avanzó la construcción de carreteras pavimentadas con concreto hidráulico, los ingenieros de caminos reconocieron la necesidad de estudiar su comportamiento y de establecer métodos de diseño. La pista de prueba más famosa es la Pista de Prueba ASSHO, la cual se desarrolló entre 1958 y 1960, se construyeron seis pistas de prueba diferentes y cargados todo el día durante dos años. Doce diferentes combinaciones de ejes y diferentes espesores de asfalto y de concreto fueron evaluadas con el fin de establecer las historias de desempeño.

En la Pista de Prueba ASSHO había dos modos de falla distintivos en los pavimentos de concreto, los pavimentos muy delgados fallaron por el bombeo continuo en los bordes causado por el agrietamiento longitudinal. Los pavimentos más gruesos fallaron por el bombeo en juntas originado por las grietas transversales empezando particularmente en las juntas por el paso del tráfico.

Con estas pruebas se identificaron las condiciones que pueden dar lugar al bombeo como suelos con finos, el agua en el subsuelo y frecuentes cargas de ejes pesados, cuando existían estas condiciones se coloca una capa de subbase entre el pavimento de concreto y el subsuelo para evitar o reducir el bombeo.



Figura 2.2.- Preparación de Pasajuntas y Barras de Amarre para el Pavimento de Concreto. (Delatte, 2008).

Con los análisis realizados en la Pista de Prueba ASSHO, entre octubre de 1961 y abril de 1962 se publicaron las Guías Provisionales para el Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles y Pavimentos de Concreto Hidráulico, respectivamente. El objetivo de las pruebas era establecer ecuaciones de diseño que relacionaran el comportamiento estructural del pavimento compuesto por capas de espesores definidos, bajo cargas de magnitudes y frecuencias conocidas.



Figura 2.3.- a) y b) Pavimentadora de Concreto Deslizante. (Delatte, 2008).

2.1.1 Antecedentes en México.

En 1925 se creó la Comisión Nacional de Caminos, con la que inicio la época moderna de las carreteras en México. El primer pavimento de concreto hidráulico que se construyó fue en la década de los años treinta, una carretera llamada Camino al Desierto de los Leones, cuyo pavimento sigue en servicio en la ruta transformada en calle del Distrito Federal. Durante mucho tiempo fue la única carretera de concreto hidráulico, esto se debió a varias razones, entre ellas a que México es un país petrolero, lo que puso a disposición grandes cantidades de asfalto. De igual forma la política de integración territorial para comunicar entre sí los principales centros de población, y abrir las puertas del país hacia el exterior. Esta política demandó que se hiciera una menor inversión inicial, con la finalidad de extender al máximo la cobertura de la red en el menor tiempo posible. Otra razón es que se tenía un poco demanda que imponía un tránsito ligero y escaso.

De igual forma se tenían algunas suposiciones por las cuales no se utilizaba el concreto hidráulico, una de ellas y la más difundida, fue el aparente mayor costo inicial de los pavimentos de concreto hidráulico frente a los pavimentos realizados con asfalto, sin tomar en consideración el ahorro sustancial en los costos de conservación al emplear pavimentos de concreto hidráulico. También, dentro de las suposiciones poco fundadas, aún persiste la idea de que los pavimentos de concreto hidráulico sólo son convenientes utilizarlas sobre terracerías de muy buena calidad y en carreteras por las que transita un elevado número de vehículos pesados, sin reparar que un pavimento de concreto hidráulico distribuye las cargas en una mayor área, por lo que transmite muy bajos esfuerzos a las capas inferiores en comparación a los pavimentos flexibles, lo que los hace especialmente adecuados en terracerías poco resistentes.

También contribuyeron a la exclusión de los pavimentos de concreto hidráulico sus malas características originales de comodidad o calidad de rodamiento, principalmente por el golpeteo del vehículo en las juntas entre losas colocadas aisladamente, inconveniente hoy totalmente superado mediante el aserrado de las

losas colocadas en forma continua. Un efecto significativo de este golpeteo fue el incremento necesario del espesor de la losa para alargar hasta 10 o 12 m la separación entre las juntas, en la actualidad esta longitud puede reducirse a 4 o 5 metros con el ahorro correspondiente en el espesor de la losa y su costo inicial.

En los primeros años de la década de los noventa se construye en México el primer pavimento moderno de concreto hidráulico en el estado de Morelos. A partir de entonces, se han construido o modernizado con losas de concreto una gran cantidad de autopistas y carreteras troncales. Hoy en día se cuenta con más de 10 millones de metros cuadrados de carreteras de concreto hidráulico.

En lo que corresponde a la utilización de concreto hidráulico para la construcción de vialidades urbanas la situación es un poco diferente, ya que hace varias décadas que se han empleado los pavimentos de concreto, por lo cual en la actualidad existen varias decenas de millones de metros cuadrados con este tipo de pavimento.

El aspecto del proyecto de esos tipos de pavimento deja mucho que desear ya que no siempre ha estado en manos de especialistas, por lo cual se han encontrado deficiencias importantes en el conocimiento de los principios básicos de diseño, lo que ha ocasionado fallas prematuras en los pavimentos. El proyecto se maneja en muchas ocasiones mediante la aplicación de recetas o recomendaciones prácticas, utilizando cementos convencionales, etc. Es de hacer notar que en la gran mayoría de los casos no se cuenta con especificaciones y metodologías adecuadas para el proyecto de los pavimentos de concreto hidráulico.

En términos generales, puede señalarse que se detectan problemas en los siguientes aspectos:

- a) Espesores.
- b) Calidad del concreto hidráulico.
- c) Especificación de juntas.
- d) Uso de pasajuntas.
- e) Especificaciones de construcción en general

- f) Especificaciones de tolerancias y acabados.

En la actualidad los pavimentos de concreto hidráulico son una opción muy viable para la construcción de vialidades urbanas y carreteras, y estas tendrán un buen desempeño siempre y cuando sean construidas aplicando adecuadamente una metodología de diseño y tomando las precauciones adecuadas durante su construcción y conservación.

2.2 Elementos que Constituyen los Pavimentos de Concreto Hidráulico

Los elementos principales que conforman un pavimento de concreto simple con juntas (AASHTO, 1993) son (Figura 2.4):

- a) Subrasante.
- b) Base.
- c) Carpeta de rodadura.
- d) Juntas.
- e) Mecanismos de transferencia de carga y confinamiento.
- f) Texturizado.

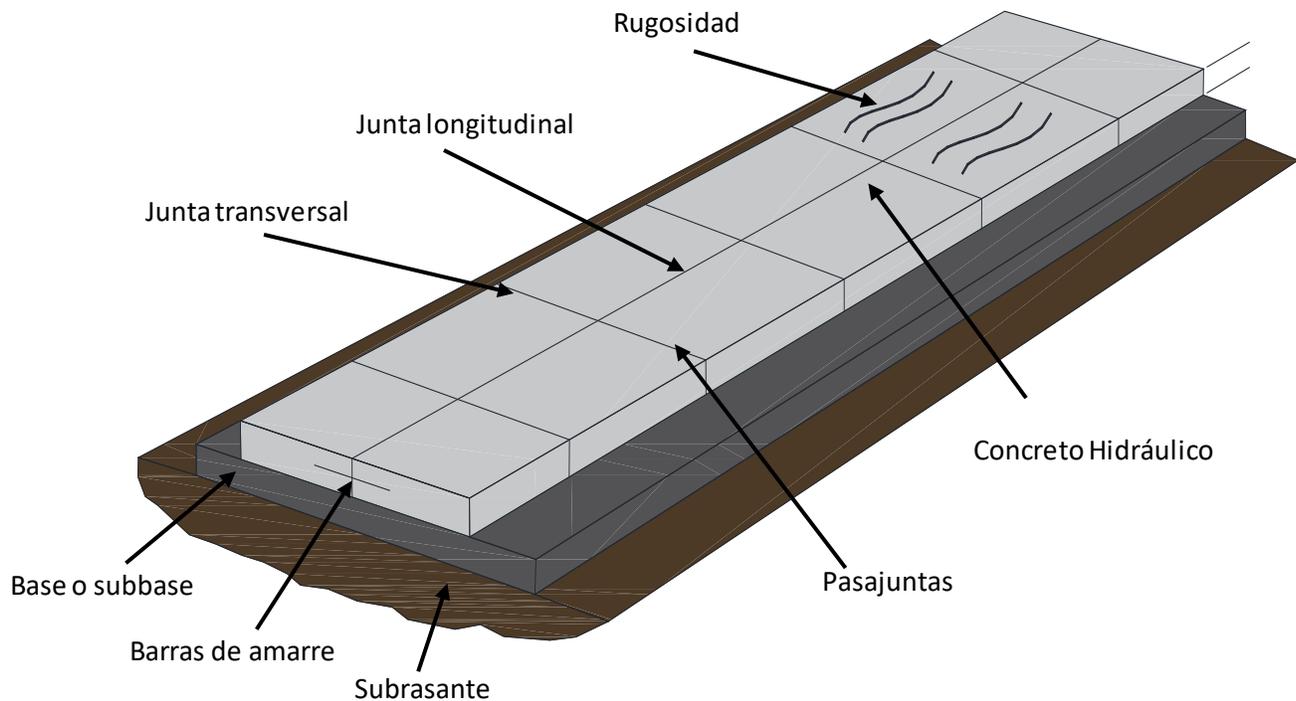


Figura 2.4.- Elementos de un pavimento de concreto con juntas. (Elaboración propia).

2.2.1 Capa Subrasante

La subrasante constituye la capa superior de las terracerías, constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos. Los materiales empleados para la capa subrasante son los suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa.

Para la construcción de la capa subrasante existe en México una normativa para la infraestructura del transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), dentro de estas normas se encuentra la norma N-CMT-1-03/02 “Materiales para Subrasante” la cual establece las características que deben tener los materiales para poder emplearlos para la construcción de la capa subrasante.

De igual modo el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) tiene recomendaciones propuestas para la calidad del material de capa de subrasante en la categoría de calidad deseable. La Tabla 2.1 hace una comparativa de la características que se definen en norma N-CMT-1-03/02 y de la propuesta del IMT. (IMT, 1990).

Tabla 2.1.-Valores de Calidad del SCT y Propuestos por el IMT para Materiales de Subrasante.

Característica	SCT	IMT
Tamaño máximo; mm	76	76
Contenido de finos; %, máximo		25
Límite líquido; %, máximo	40	30
Índice plástico; %, máximo	12	10
Valor Soporte California (CBR) %, mínimo	20	30
Expansión, máxima; %	2	-
Grado de compactación %	100±2	100

(Elaboración Propia)

2.2.2 Capa Subbase

Tiene como funciones principales controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción (k). Son materiales granulares, que se colocan normalmente sobre la subrasante, para formar una capa de apoyo para la base del pavimento.

Para la construcción de la capa subbase existe en México una Normativa de la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT), dentro de estas normas se encuentra la norma N-CMT-4-02-001/11 “Materiales para Subbases” la cual establece las características que deben tener los materiales para poder emplearlos para la construcción de la capa subbases.

De acuerdo a la norma N-CMT-4-02-001/11, el material tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 2.2, considerando que el tamaño máximo de sus partículas no será mayor de veinticinco por ciento del espesor de la subbase, con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2.3, en función de la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas, esperado durante la vida útil del pavimento.

Tabla 2.2.-Requisitos de Granulometría de los Materiales para Subbase.

Malla		% Pasa	
Plg	mm	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
3"	75	100	100
2"	50	85-100	85-100
1 1/2"	37.5	75-100	75-100
1"	25	62-100	62-100
3/4"	19	54-100	54-100
3/8"	9.5	40-100	40-100
4	4.75	30-100	30-80
10	2	21-100	21-60
20	0.85	13-92	13-45
40	0.425	8-75	8-33
60	0.25	5-60	5-26
100	0.15	3-45	3-20
200	0.075	0-25	0-15

(N-CMT-4-02-001/11, 2011).

Tabla 2.3.-Requisitos de Calidad para Materiales para Subbase.

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
Límite líquido; %, máximo	30	25
Índice plástico; %, máximo	10	6
Valor Soporte California (CBR) %, mínimo	50	60
Equivalente de arena, mínimo	30	40
Desgaste los Angeles, máximo	50	40
Grado de compactación %	100	100

(N-CMT-4-02-001/11, 2011).

2.2.3 Capa Base

Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de las losas. Otro aspecto importante que debe cumplir la base es evitar la eyección de material fino a través de juntas y grietas, al paso de vehículos pesados. La base es una capa de materiales pétreos seleccionados, el empleo de la base implica una mejora en la capacidad de soporte de suelo, soportar las cargas que éstas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y proporcionar a la estructura del pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea, se colocan normalmente sobre la subbase.

Para la construcción de la capa base existe en México una Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), dentro de estas normas se encuentra la norma N-CMT-4-02-002/11 “Materiales para Bases Hidráulicas” la cual establece las características que deben tener los materiales para poder emplearlos para la construcción de la capa base.

Dentro de la norma N-CMT-4-02-002/11 establece que el material para la base hidráulica será cien por ciento producto de la trituración de roca sana, cuando el tránsito esperado durante la vida útil del pavimento sea mayor de diez millones de

ejes equivalentes acumulados de 8.2 toneladas, cuando ese tránsito sea de uno a diez millones, el material contendrá como mínimo setenta y cinco por ciento de partículas producto de la trituración de roca sana y si dicho tránsito es menor un millón, el material contendrá como mínimo cincuenta por ciento de esas partículas.

Cuando inmediatamente después de la construcción de la base se coloque una carpeta de concreto hidráulico, el material para la base tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 2.4

Tabla 2.4.-Requisitos de Granulometría de los Materiales para Bases de Pavimentos con Carpeta de Concreto Hidráulico.

Plg	Malla		% Pasa
		mm	
1 1/2"		37.5	100
1"		25	70-100
3/4"		19	60-100
3/8"		9.5	40-100
4		4.75	30-80
10		2	21-60
20		0.85	13-44
40		0.425	8-31
60		0.25	5-23
100		0.15	3-17
200		0.075	0-10

(N-CMT-4-02-002/11, 2011).

El material cribado, parcialmente triturado, totalmente triturado o mezclado, que se emplee en la construcción de bases para pavimentos de concreto hidráulico, cumplirá con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5.-Requisitos de Calidad de los Materiales para Bases de Pavimentos con Carpeta de Concreto Hidráulico.

Característica	Valor %
Límite líquido; %, máximo	25
Índice plástico; %, máximo	6
Valor Soporte California (CBR) %, mínimo	80
Equivalente de arena, mínimo	40
Desgaste los Angeles, máximo	35
Partículas alargadas y lajeadas, máximo	40
Grado de compactación %	100

(N-CMT-4-02-002/11, 2011).

2.2.4 Superficie de Rodamiento de Concreto Hidráulico

El material más utilizado a nivel mundial para la construcción es el concreto hidráulico elaborado con cemento portland, por lo cual es de vital importancia que el concreto que se utiliza en la construcción para las distintas obras tenga un buen comportamiento y satisfaga las necesidades de los usuarios, esto se logra fabricando un concreto de calidad. El concreto hidráulico se forma con la combinación de agregados pétreos, agua y cemento. Cada uno de estos materiales debe de cumplir con ciertas características para que el concreto hidráulico que se produzca tenga el comportamiento que se desea. Existe en México normativa que establece los parámetros que debe de cumplir los distintos materiales que conforman el concreto hidráulico, en dichas normas se establecen procedimientos para realizar las distintas pruebas y caracterizar los componentes del concreto. El Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) se dedica al desarrollo de actividades de normalización que tiene como propósito a la mejora de la calidad de los productos y procesos constructivos.

La carpeta de concreto hidráulico está conformada por mezcla de concreto hidráulico, la cual se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura

uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006)

2.2.4.1 COMPONENTES DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

El concreto hidráulico (Steven H. Kosmatka, 2004), es una mezcla de agregados, cemento y agua a la que además se le pueden añadir algunos aditivos que modifiquen algunas características. Esta mezcla crea una masa similar a la de una roca, esto es debido a la reacción química que se genera al mezclar el cemento y el agua. Usualmente el volumen del cemento corresponde entre el 7% y 15%, en volumen del agua está entre 14% y 21% y el contenido de aire varía entre un 4% y 8% del volumen. Los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto. La calidad del concreto está en función de la calidad de sus componentes (cemento, agua, agregados) y de la unión que logran entre sí.

2.2.4.1.1 CEMENTO

El cemento portland hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado compuesto principalmente de silicatos hidráulicos de calcio, el cual al agregarle agua ya sea sola o mezclada con arena, grava u otros tipo de materiales similares tiene la propiedad de fraguar y endurecer, esto es debido a la reacción química con el agua (hidratación), una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad.

2.2.4.1.1.1 COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS CEMENTOS

Los componentes principales del cemento son (Fahl, 2006): silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferro aluminato tetracálcico. De estos componentes aproximadamente el 75% del cemento son el silicato tricálcico y el silicato dicálcico los cuales le proporcionan características de desarrollo de resistencia al concreto, el silicato tricálcico endurece rápidamente proporcionándole resistencia temprana al

concreto generando un alto calor alto de hidratación, el silicato dicálcico se seca más lentamente haciendo que el concreto incremente su resistencia después de aproximadamente una semana.

2.2.4.1.1.2 TIPOS DE CEMENTO EN MÉXICO

De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2010 hay seis tipos de cementos básicos los cuales deben cumplir con las especificaciones de la Tabla 2.6.

Tabla 2.6.-Tipos de Cemento y sus Principales Componentes.

Tipo	Denominación	Clinker Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Componentes (% en masa)		Caliza	Minoritarios
				Materiales puzolánicos	Humo de sílice		
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	95 - 100	--	--	--	--	0-5
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	50 - 94	--	6 - 50	--	--	0-5
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	40 - 94	6-60	--	--	--	0-5
CPC	Cemento Pórtland Compuesto	50 - 94	6-35	6-35	1 - 10	6 - 35	0-5
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	90 - 99	--	--	1 - 10	--	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20 - 39	61	--	--	--	0-5

(NMX-C-414-ONNCCE-2010, 2010).

Cemento Portland Ordinario (CPO).- Es el cemento producido a base de la molienda del clinker Portland y usualmente sulfato de calcio, el cual puede tener hasta un 5% de adiciones de materiales como escorias, puzolanas, humo de sílice o caliza.

Cemento Portland Puzolánico (CPP).- Este cemento resulta de la integración de clinker Portland, materiales puzolánicos y sulfato de calcio, puede poseer del 6% al 50% de material puzolánico con relación a la masa total del cemento.

Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno (CPEG).- Este cemento se compone de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio, el cual contiene del 6% al 60% de escoria con relación a la masa total del cemento.

Cemento Portland Compuesto.- Se integra de clinker Portland, sulfato de calcio y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza, las adiciones pueden componer del 6% al 35% de escoria, del 6% al 35% de material puzolánico, del 1% al 10% de humo de sílice y del 6% al 35% de caliza, la cantidad de clinker portland y yeso debe ser del 50% al 94%.

Cemento Portland con humo de sílice (CPS).- Se forma por la combinación de clinker Portland del 90% al 99% y de humo de sílice del 1% al 10%.

Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno (CEG).- Es el cemento que resulta de la integración de escoria granulada de alto horno, clinker portland y sulfato de calcio, presenta una gran cantidad de escoria la cual oscila entre el 61% y 80%.

Los cementos se pueden clasificar también por su resistencia a la compresión en cinco clases, y estas clases deben cumplir con las especificaciones físicas de la Tabla 2.7. Si el cemento tiene especificada una resistencia a 3 días se le añadirá una letra R (Resistencia rápida).

Tabla 2.7.-Especificaciones Físicas según la Clase Resistente del Cemento.

Clase Resistente	Resistencia a compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	3 días mínimo	28 días mínimo	máximo	Inicial mínimo	Final máximo	Expansión máximo	Contracción máximo
20	---	20	40	45	600	0.8	0.2
30	---	30	50	45	600	0.8	0.2
30 R	20	30	50	45	600	0.8	0.2
40	---	40	---	45	600	0.8	0.2
40 R	30	40	---	45	600	0.8	0.2

(NMX-C-414-ONNCCE-2010, 2010).

Los cementos se pueden clasificar por sus características especiales y deben cumplir las especificaciones de la Tabla 2.8.

Tabla 2.8.-Especificaciones de los Cementos con Características Especiales.

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por	Expansión por la		Calor de hidratación		Blancura (min. %)
		ataque de sulfatos (max. %)	reacción álcaliagregado (max. %)		(Max.) kJ/kg (Kcal/kg)		
		1 Año	14 días	56 días	7 días	28 días	
RS	Resistente a los Sulfatos	0.1	---	---	---	---	---
BRA	Baja Reactividad Álcali Agregado	---	0.02	0.06	---	---	---
BCH	Bajo Calor de Hidratación	---	---	---	250	290	---
B	Blanco	---	---	---	---	---	70

(NMX-C-414-ONNCCE-2010, 2010).

2.2.4.1.1.3 PROPIEDADES DEL CEMENTO.

Es importante conocer las propiedades físicas y químicas del cemento para saber el comportamiento que va a presentar el cemento.

Dentro de las propiedades están:

Tamaño de partícula y finura.- La distribución total de las partículas del cemento se le conoce como finura, esta propiedad afecta el calor liberado y la velocidad de hidratación. En México existe la norma NMX-C-056-ONNCCE-2013 y la NMX-C-049-ONNCCE-2013 las cuales se utilizan para determinar la finura de los cementantes hidráulicos, en Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-204, ASTM-C-430, ASTM-C-184 entre otras.

Sanidad.- Se refiere a la ausencia de un cambio volumétrico excesivo después del fraguado, provocado por la reacción de hidratación. La Norma Mexicana NMX-C-062-ONNCCE-2010 establece los procedimientos para determinar la sanidad de cementantes hidráulicos. En Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-151.

Consistencia.- Esta característica se refiere a la movilidad relativa de la mezcla fresca (habilidad de fluir), esta característica se utiliza para regular la cantidad de agua en las pastas. La Norma Mexicana NMX-C-057-ONNCCE-2010 se utiliza para determinar la consistencia normal. En Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-187.

Tiempo de fraguado.- Se debe determinar el fraguado inicial (tiempo que pasa desde el momento en que se le adiciona agua al cemento hasta que la pasta que se forma deja de tener fluidez y ser plástica) y el fraguado final (tiempo requerido para que la pasta adquiera un cierto grado de endurecimiento). La Norma Mexicana NMX-C-059-ONNCCE-2010 establece los procedimientos para determinar el tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos. En Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-191.

Fraguado falso y Fraguado instantáneo.- El fraguado falso es el desarrollo rápido de la rigidez de una pasta cementante sin el desarrollo de calor, esta rigidez puede desaparecer y volver a ser plástica mediante mezclado posterior sin adición de agua. El fraguado instantáneo se nota por una pérdida rápida de trabajabilidad de la pasta a una edad temprana. La Norma Mexicana NMX-C-132-ONNCCE-2010 establece los procedimientos para determinar el fraguado falso del cemento hidráulico. En Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-451.

Resistencia a compresión.- La Norma Mexicana NMX-C-061-ONNCCE-2010 establece el método para determinar la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos, son de gran influencia en la resistencia a la compresión el tipo de cemento y la finura de cemento. La Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2010 establece la resistencia mínima y máxima que deben de cumplir. Para medir la resistencia a la compresión en Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-109.

Calor de hidratación.- Se produce por la reacción entre el cemento y el agua, el calor de hidratación depende de la relación agua-cemento, el contenido de cemento, la finura del cemento y la temperatura del curado. En México la determinación del calor

de hidratación se establece en la Norma Mexicana NMX-C-151-ONNCCE-2010. En Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-186.

El cemento es un material que es sensible a la humedad ya que comienza a reaccionar, si un cemento se encuentra en contacto con la humedad cuando se utilice presentara un fraguado lento y su resistencia disminuirá en comparación con un cemento seco, por esta razón es importante que el cemento se encuentre seco y protegido de la humedad del ambiente.

2.2.4.2 AGUA PARA FABRICACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Para la fabricación de concreto el agua preferentemente debe ser potable que no presente fuerte olor o sabor, se puede utilizar algunas aguas que no se consideren potables pero es necesario verificar el desempeño que presenta en comparación con la utilización de agua potable en cuanto a resistencia e identificar los tiempos de fraguado.

En México existe la Norma Mexicana NMX-C-122-ONNCCE-2004, esta norma establece los requisitos para las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables que se pretendan emplear en la elaboración o curado del concreto hidráulico. Los diferentes tipos de aguas pueden ser agresivas para la elaboración y curado del concreto, depende de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas o en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados límites. A continuación se enlista algunos tipos de aguas y la forma en que actúan en el concreto:

Aguas ácidas naturales.- La presencia de gas carbónico libre (CO₂) y ácidos húmicos disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos.

Aguas fuertemente salinas.- Tienen grandes concentraciones de sales, las cuales interrumpen las reacciones de fraguado del cemento, puede ejercer acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

Aguas alcalinas.- Este tipo de agua produce ataques corrosivos en los cementos, ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

Aguas sulfatadas.- Son de las más agresivas para el concreto, estas aguas proporcionan la formación de una sal doble fuertemente hidratada, conocida como Sal de Candlot, que es un sulfo aluminato tricálcico bajo una forma pulverulenta y expansiva.

Aguas cloruradas.- Estas aguas en determinadas concentraciones puede ejercer una acción disolvente sobre los componentes del cemento y del concreto, y su agresividad es aún mayor en el caso del concreto armado.

En Estados Unidos de América la norma ASTM-C-94 establece la calidad del agua para el empleo en morteros y concretos.

2.2.4.3 AGREGADOS.

Los agregados para la fabricación del concreto se dividen en dos; los agregados finos (arenas) y los agregados gruesos (gravas). Estos agregados influyen en gran manera en las propiedades del concreto ya sea en estado fresco como endurecido, ya que los agregados constituyen del 60 al 70% del volumen del concreto, por lo cual es fundamental que el agregado sea del tipo y calidad que se requiere para poder formar un concreto de calidad. Los agregados deben de ser duros, resistentes, durables, limpios, libres de revestimiento de arcillas y productos químicos absorbidos.

Por la importancia de los agregados para la construcción existen varias normas para ver las características de los agregados, la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004

establece los requisitos de calidad que debe cumplir los agregados naturales y procesados, de uso común para la producción de concretos de masa normal (1800 kg/m³ a 2400 kg/m³). Esta norma no es aplicable a agregados ligeros con masas menores de 1800 kg/m³.

2.2.4.3.1 AGREGADO FINO.

El agregado fino es un material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros; que pasa por la criba 4,75 mm (malla No.4) y se retiene en la criba 0,075 mm (malla No. 200). Para ser utilizados en la fabricación de concreto debe cumplir las siguientes características:

- a) El agregado fino debe estar dentro de los límites establecidos en la Tabla 2.9
- b) El módulo de finura del agregado fino debe de estar entre 2.3 y 3.1
- c) El retenido parcial de la masa total en cualquier criba no debe ser mayor de 45%, puede aumentarse los porcentajes de retenido acumulado de la masa en las cribas No. 50 y No. 100 a 95% y 100%, siempre que se cumpla que el contenido de cemento del concreto en que se vaya a utilizar el agregado sea mayor de 250 kg/cm³ para concreto con aire incluido y de 300 kg/cm³ para concreto sin aire incluido, o se considere añadir un adicionante que supla la deficiencia de material que pasa por estas cribas.
- d) Los agregados finos deben de estar libres de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas.
- e) La contracción lineal de los finos no debe ser mayor que el 2%.
- f) Si los agregados no cumplen con lo indicado en los incisos anteriores, estos pueden ser utilizados siempre y cuando existan antecedentes de comportamiento aceptable en el concreto, de igual forma si se realizan pruebas a estos concretos y se obtienen resultados que sean satisfactorios. Los agregados se pueden utilizar haciendo un ajuste adecuado en el proporcionamiento del concreto para compensar las deficiencias del agregado.

Tabla 2.9.- Límites de Granulometría para el Agregado Fino.

Límites de granulometría para agregado fino.	
Criba mm (No.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa
9,5 (3/8")	100
4,75 (No 4)	95 - 100
2,36 (No 8)	80 - 100
1,18 (No 16)	50 - 85
0,600 (No. 30)	25 - 60
0,300 (No. 50)	10 - 30
0,150 (No 100)	2 - 10

(NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).

La cantidad de partículas deleznable y carbón o lignito en el agregado fino no debe de exceder los límites que establece la Tabla 2.10.

Tabla 2.10.-Límites Máximos de Partículas Deleznable y Carbón o Lignito en Agregados Finos.

Concepto	Material máximo permisible en la masa total de la muestra en %
Grumos de arcilla y partículas deleznable	3.0
Carbón y lignito:	
En concreto aparente	0.5
En otros concretos	1.0

(NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).

Los materiales finos que pasan la malla No 200 deben cumplir con lo establecido en las Tabla 2.11 y Tabla 2.12.

Tabla 2.11.- Material Máximo Permisible en la Masa Total de la Muestra en %.

Concepto	Material máximo permisible en la masa total de la muestra en %	
	En concreto sujeto a abrasión	5.0
En concretos presforzados	8.0	(1)
En otros concretos	15.0	(2)

(1) En caso de agregados triturados, si el material que pasa por la criba 0,075 mm (malla No. 200) es el resultado de la pulverización de rocas exentas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse a 6 % y 10 %, respectivamente.

(2) Este valor, queda condicionado por los parámetros de contracción por secado y deformación diferida del concreto cuando así se solicite en el proyecto, y por la naturaleza de estos finos como se establece en las tablas 5 y 6. Esto se verifica con la norma NMX-C-416-ONNCCE.

(NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004)

Tabla 2.12.- Cantidades de Material Máximo Permisible Menor que la Criba 0,075 mm (No.200) en Agregados Finos.

Limite líquido	Índice plástico	Material máximo permisible en
		masa que pasa por la criba 0,075 (No. 200), en por ciento %
Hasta 25	Hasta 5	15.0
Hasta 25	6 - 10	13.0
Hasta 25	11-15	6.0
26 - 35	Hasta 5	13.0
26 - 35	6 - 10	10.0
26 - 35	11-15	5.0
36 - 40	Hasta 5	10.0

(NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004)

2.2.4.3.2 AGREGADO GRUESO.

El agregado grueso es el material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria de alto horno, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros que es retenido por la criba 4,75 mm (malla No.4) y que pasa por la criba 90 mm (malla No.3 1/2"). Para ser utilizados en la fabricación de concreto debe cumplir las siguientes características:

- Debe cumplir con los límites granulométricos que se establecen en la Tabla 2.13. Si se tiene material fuera de los límites establecidos se debe procesar el material para que cumpla con los límites indicados.
- Se puede aceptar los agregados que no cumplan con los límites indicados siempre y cuando se realice un ajuste del proporcionamiento del concreto para compensar las deficiencias granulométricas y se debe demostrar que el concreto elaborado tiene un comportamiento satisfactorio.
- El coeficiente volumétrico de los agregados gruesos debe ser igual o mayor que 0.20, en el caso de utilizar agregados con el coeficiente volumétrico menor que 0.20 se debe realizar un estudio que muestre el impacto de su uso realizar el ajuste en las mezclas de concreto para satisfacer los requisitos de cohesión, trabajabilidad, módulo de elasticidad y contracción que se requieran. Estas especificaciones se verifican con la norma NMX-C-436-ONNCCE-2004.

Tabla 2.13.- Límites Granulométricos del Agregado Grueso.

Tamaño nominal, mm (Pulg.)	100	90 a 100	75 3"	63 2 1/2"	50 2"	37.5 1 1/2"	25 1"	19 3/4"	12.5 1/2"	9.5 3/8"	No 4 4.75	No 8 2.36	No 16 1.18
90,0 a 37,5 (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
63,0 a 37,5 (2 1/2" a 1 1/2")	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
50,0 a 25,0 (2" a 1")	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
50,0 a 4,75 (2" a No.4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---
37,5 a 19,0 (1 1/2" a 3/4")	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---
37,5 a 4,75 (1 1/2" a No.4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---
25,0 a 12,5 (1" a 1/2")	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15	0 a 5	---	---
25,0 a 9,5 (1" a 3/8")	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---
25,0 a 4,75 (1" a No.4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---
19,0 a 9,5 (3/4" a 3/8")	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---
19,0 a 4,75 (3/4" a No.4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---
12,5 a 4,75 (1/2" a No.4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---
9,5 a 2,36 (3/8" a No.8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

(NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004)

Las sustancias nocivas en el agregado grueso se especifican en la Tabla 2.14. Se toma como base la severidad del intemperismo del sitio donde se construya.

Tabla 2.14.- Límites Máximos de Contaminación y Requisitos Físicos de Calidad del Agregado Grueso.

Grupo	Elementos	Total de terrones de arcilla y partículas deleznable	Partículas de pedernal con masa específica menor de 2,4.	Suma de los conceptos anteriores (Dos primeras columnas).	Material fino que pasa por la criba 0,075 (Malla No.200).	Carbón y lignito.	Pérdida por abrasión	Pérdida en la prueba de sanidad (Intemperismo acelerado 5 ciclos) en %	
		%	%	%	%	%	%	NaSO4	MgSO4
Región de interperismo moderado									
1M	No expuestos a la intemperie; zapatas de cimentación, cimentaciones, columnas, vigas y pisos interiores con recubrimiento.	10.0	---	---	1.0	1.0	50.0	---	---
2M	Pisos interiores sin recubrimiento.	5.0	---	---	1.0	0.5	50.0	---	---
3M	Expuestos a la intemperie muros de cimentación, muros de retención, pilas, trabes, estructuras de muelles.	5.0	8.0	10.0	1.0	0.5	50.0	12.0	18.0
4M	Sujetos a exposición frecuente de agua o humedad: pavimentos, losas de puentes, guarniciones, autopistas, andadores, patios, pisos externos y estructuras marítimas.	5.0	5.0	7.0	1.0	0.5	50.0	12.0	18.0
5M	Concretos arquitectónicos expuestos a la intemperie.	3.0	3.0	5.0	1.0	0.5	50.0	12.0	18.0
Región de intemperismo no apreciable									
1N	Losas sujetas a tráfico abrasivo: losas de puentes, pisos, andadores, banquetas y pavimentos.	5.0	---	---	1.0	0.5	50.0	---	---
2N	Otras clases de concreto	10.0	---	---	1.0	1.0	50.0	---	---

(NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004)

Cuando el material que pasa por la criba 0.075 mm sea el resultado de la trituración de rocas exentas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse en 1.5%. Del mismo modo cuando la construcción con concreto sea mayor a 3000 metros sobre el nivel del mar estos requisitos deberán reducirse en 1%.

Los materiales finos que pasan la malla No 200 de una mezcla de agregados grueso y agregados finos no deben de exceder los límites que se establece en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15.- Material Máximo Permisible Menor de la Criba 0,075mm (No. 200) en Agregados Finos y Gruesos.

Limite líquido	Índice plástico	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0,075 (No. 200), en por ciento %
Hasta 25	Hasta 5	10.0
Hasta 25	6 - 10	9.0
Hasta 25	11-15	4.0
26 - 35	Hasta 5	9.0
26 - 35	6 - 10	7.0
26 - 35	11-15	3.0
36 - 40	Hasta 5	8.0

(NMX-C-111-ONNCCE-2004, 2004).

No se debe hacer uso de agregados que contengan rocas y minerales que hayan sido identificados como potencialmente reactivos con los álcalis.

A continuación se encuentran algunas pruebas realizadas a los agregados:

Resistencia a la abrasión y degradación.- Conocer esta característica proporciona un índice de calidad del agregado; resistencia desgaste de pisos y pavimentos. En la norma NMX-C-196-ONNCCE-2010 establece la determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de los agregados donde se obtiene el porcentaje máximo de pérdida de masa, profundidad de desgaste y tiempo.

Forma y textura superficial de las partículas.- La adherencia de los agregados con la mezcla de cemento se da mejor en superficies ásperas y angulares que en agregados redondeados y lisos. Las partículas con textura áspera, angulares o alongadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos, los agregados angulares requieren de más cemento para conservar la relación agua-cemento. La norma NMX-C-265-ONNCCE-2010 se refiere a realizar un examen petrográfico del agregado. En Estados Unidos de América se utiliza la norma ASTM-C-295.

Absorción y humedad superficial.- Es importante conocer la absorción y humedad superficial del agregado para conocer la cantidad de agua que puede absorber el agregado. Estos datos se utilizan para el cálculo y dosificación del concreto hidráulico, las normas que determinan esta característica son la NMX-C-164-2002 (agregado grueso) y NMX-C-165-2004 (agregado fino), en Estados Unidos de América se emplea la norma ASTM-C-127 y ASTM-C-128

Existen más pruebas que se le pueden hacer a los agregados para conocer las propiedades que presentan los agregados proporcionándonos información útil para saber si cumple con las características que se requiere como lo son: Resistencia a la congelación-deshielo, resistencia a la desintegración por sulfatos, degradación del agregado fino, densidad relativa, constituyentes del agregado, reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento, etc.

2.2.4.4 DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO

La dosificación de un concreto tiene por objeto determinar las proporciones (cantidad, ya sea en peso o en volumen) en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo, para obtener mezclas que reúnan las características y propiedades especificadas. Las características pueden incluir propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas del concreto endurecido.

La norma NMX-C-155-ONNCCE-2014 establece especificaciones y pruebas para la elaboración del concreto hidráulico, las características que deben tener los equipos de medición de los distintos materiales para tener una buena precisión. Los requisitos de mezclado transporte y mezclado se especifican dentro de la norma antes mencionada.

2.2.4.5 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

Para realizar las diferentes pruebas al concreto fresco y elaborar especímenes para su posterior análisis es necesario tomar una muestra representativa del concreto, la norma NMX-C-161-1997-ONNCCE establece como realizar el muestreo en el concreto fresco. Con estas muestras se realizan las pruebas que sirven para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad del concreto, en Estados Unidos la norma que se emplea es la ASTM C 172.

Esta norma establece los pasos para obtener una muestra representativa del concreto que se utiliza. El tamaño mínimo de la muestra empleada para pruebas de resistencia deberá ser de 28 litros. Las pruebas de contenido de aire, revenimiento y temperatura deberán realizarse dentro de los 5 minutos siguientes de la obtención de la mezcla.

La temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades del concreto tanto del concreto fresco como del endurecido. La norma NMX-435-ONNCCE-2010 establece el método para la medición de la temperatura del concreto con cemento hidráulico fresco. Es importante conocer la temperatura del concreto recién mezclado ya que un concreto con una temperatura inicial alta posiblemente tendrá una resistencia temprana mayor a lo normal a edades tempranas, pero a

edades tardías la resistencia será menor a lo normal. En cambio un concreto con una temperatura inicial baja va adquiriendo su resistencia a una velocidad más lenta pero adquiere resistencias altas.

Una vez que se tiene un proporcionamiento para una mezcla de concreto, se debe conocer su masa volumétrica, ya que un cambio en la masa volumétrica indica un cambio en uno o más de los requisitos del desempeño del concreto. Esta medida es fundamental para el control de calidad del concreto ya que una masa volumétrica inferior a la que se estima se puede deber a varios factores, entre ellos:

- a) Cambio en los materiales.
- b) Mayores contenidos de aire.
- c) Mayor contenido de agua.
- d) Cambio en las proporciones de los materiales.
- e) Menor contenido de cemento.

Una masa volumétrica más alta indica lo contrario de las características antes mencionadas.

La norma NMX-C-162-ONNCCE-2010 determina la masa unitaria (densidad) y volumen producido de concreto y contenido de aire. En el caso de los Estados Unidos de América se aplica la norma ASTM C 138.

Una prueba para determinar la consistencia del concreto hidráulico en concreto fresco es mediante el revenimiento. Esta prueba se encuentra en la norma NMX-C-156-ONNCCE-2010 donde se establece el procedimiento para medir el revenimiento. Mientras mayor sea el revenimiento, más húmeda es la mezcla. El contenido máximo de agua debe limitarse de manera que el revenimiento nominal del concreto no exceda de 10 cm.

El concreto debe de transportarse desde el lugar en que se mezcla al sitio final de colocación empleando métodos que eviten la segregación o la pérdida del material.

El tiempo de fraguado es el tiempo que tarda el concreto desde que se le adiciona agua y deja de tener fluidez (fraguado inicial), y el tiempo transcurrido para que el concreto tenga cierto grado de endurecimiento. El tiempo de fraguado puede

emplearse para determinar los efectos de variables como temperatura, cemento, diseño de mezclas y características de endurecimiento del concreto. La norma mexicana NMX-C-177-1997-ONNCCE determina el tiempo de fraguado de mezclas de concreto mediante la resistencia a la penetración, esta norma corresponde a la ASTM-C-403.

El curado es el proceso por el cual el concreto hidráulico madura y desarrolla propiedades en el tiempo como resultado de la hidratación continua, el curado propicia un ambiente de humedad y temperatura adecuados por un periodo de tiempo determinado para favorecer la hidratación del cemento hidráulico para que se puedan desarrollar las propiedades del concreto. El curado es vital para producir un concreto sano y prevenir un deterioro temprano. El ACI-308R-01 indica la práctica estándar para el curado del concreto.

La resistencia del concreto a compresión simple es una prueba que se realiza para conocer la resistencia que tiene el concreto a la compresión en especímenes de concreto, si los especímenes de concreto se elaboran en laboratorio debe ser según lo indicado en la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004, por otro lado si los especímenes se elaboran en la obra se deben realizar de acuerdo a la norma NMX-C-160-ONNCCE-2004. Es importante garantizar que los especímenes que se someten a la prueba de compresión representan las condiciones reales del concreto, ya que la resistencia del concreto es una de las principales características del concreto.

Los lineamientos para determinar la resistencia a la compresión de cilindros moldeados y corazones de concreto con masa volumétrica mayor a 900 kg/m³ se establecen en la norma NMX-C-083-ONNCCE-2002. Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, los cilindros se cabecean con cemento puro o mortero de azufre de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-109-ONNCCE-2013. El objetivo de estas pruebas es determinar la resistencia del concreto en un tiempo determinado.

La resistencia a la tensión es la propiedad del concreto que indica su capacidad para resistir la falla bajo cargas que causan que un miembro del concreto se tensione. La resistencia a la tensión directa del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a compresión. Para determinar la resistencia a la tensión del concreto se

realiza la prueba indicada en la norma NMX-C-303-ONNCCE-2010 donde se usa una viga simple libremente apoyada con carga en el centro del claro.

Las pruebas en vigas se requieren generalmente cuando el concreto es sometido a cargas de flexión, tales como en el caso de pavimentos de carreteras y vigas de pasos superiores y apoyados.

A partir de la prueba para determinar la resistencia a la tensión se obtiene el Módulo de Ruptura (MR) el cual es indispensable en el diseño de pavimentos de concreto hidráulico.

Existen una gran cantidad de pruebas que se le pueden realizar al concreto endurecido para conocer las características que presenta tales como: contenido de aire, densidad, absorción y vacíos, contenido de cemento, contenido de cloruros, análisis petrográfico, entre otros, los cuales proporcionan las características del concreto endurecido para saber si satisface su función.

2.2.5 Juntas

Los pavimentos convencionales (JCP, JRCP y CRCP) hacen uso de varios tipos de juntas transversal y juntas longitudinales. Las juntas de contracción transversales se utilizan en pavimentos JCP y JRCP, y por lo general se utilizan pasajuntas. Al final del día de la pavimentación, o para un retraso significativo en el pavimento, se colocan juntas transversales de construcción, estas generalmente se ubican en una junta de contracción prevista para JCP o JRCP.

El desempeño de los pavimentos de concreto depende en gran medida del correcto funcionamiento de las juntas. Algunos deterioros del pavimento se atribuyen a fallas en las juntas, como el bombeo, desprendimientos, grietas de esquina, agrietamientos.

La incorporación de estas características en el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto debe dar lugar a juntas capaces de realizar un desempeño satisfactorio durante la vida útil del pavimento. Independientemente del material sellador de juntas utilizado, se requerirá un resellado periódico para asegurar un desempeño satisfactorio a lo largo de la vida del pavimento. Además depende del

diseño de pavimentos adecuados, materiales de construcción de calidad y buenos procedimientos de construcción y mantenimiento.

Las juntas transversales de dilatación o aislamiento se colocan donde la expansión del pavimento dañaría puentes adyacentes u otras estructuras de drenaje. Las juntas longitudinales de contracción se crean cuando dos o más carriles u hombros son pavimentados al mismo tiempo. Por el contrario, las juntas longitudinales de construcción se utilizan entre los carriles u hombros pavimentados en diferentes momentos.

2.2.5.1 JUNTAS TRANSVERSALES

Una junta de construcción transversal se define como una ranura aserrada, formada, o labrada en un bloque de concreto que crea un plano vertical débil. Regula la ubicación del agrietamiento causado por los cambios dimensionales en la losa, y es, con mucho, el tipo más común de juntas en pavimentos de concreto.

Las juntas de contracción de pavimentos ligeramente cargados pueden depender únicamente de la trabazón de los agregados en las juntas, sin embargo en pavimentos con tránsitos pesados se debe utilizar pasajuntas para asegurar la transferencia de carga entre las losas. Las pasajuntas restringen el movimiento vertical entre las losas, pero permite el movimiento horizontal para abrir o cerrar la junta. El propósito principal de las juntas de contracción transversales es controlar el agrietamiento que resulta de la contracción y expansión en losas de concreto causados por el proceso de hidratación del cemento, cargas de tráfico, y el medio ambiente. Una junta deteriorada normalmente exhibe fallas y desprendimientos.

2.2.5.2 JUNTAS LONGITUDINALES

La junta longitudinal se forma entre dos losas y permite la deformación de la losa sin separación apreciable, estas juntas se utilizan para aliviar los esfuerzos de deformación y por lo general son necesarios para anchos de losa superior a 4.6

metros. Las juntas longitudinales deben coincidir con las líneas de carril pavimento siempre que sea posible, ya que no es recomendable que la junta longitudinal se localice sobre la huella del neumático, debido a los esfuerzos constantes a los que sería sometido, y de este modo presentar deterioros prematuros.

Para ayudar con la transferencia de carga se utilizan barras de amarre, estas barras son más delgadas y más largas que las pasajuntas, estas barras también es necesario protegerlas contra la corrosión. Las juntas longitudinales pueden ser aserradas o construidas como juntas de construcción. Si se construyen como juntas de construcción las barras de amarre se utilizan para conectar el concreto viejo con el nuevo. (Delatte, 2008).

2.2.6 Pasajuntas

Como se ha mencionado anteriormente la transferencia en juntas transversales es proporcionada por varios mecanismos: el soporte de la base, la trabazón entre los agregados (siempre y cuando la abertura de la junta sea pequeña), y los dispositivos de transferencia de carga mecánicos como las pasajuntas. El uso de bases bien compactadas o bases estabilizadas con transferencia de carga a través de la trabazón entre los agregados normalmente son suficientes para evitar el bombeo de los finos en losas menores a 4.5 metros en las zonas climáticas áridas secas con poca variación de temperatura y que llevan un volumen bajo de camiones pesados. Donde se presenta altos volúmenes de tráfico pesado es necesario proporcionar una mejor transferencia de carga entre las losas, esto para prevenir o minimizar el bombeo y la pérdida de soporte que resultaría en la falla de la losa.

Las pasajuntas son barras redondas de acero sólido que pueden revestirse con un epoxico o plástico para prevenir o reducir la corrosión. Las pasajuntas se utilizan para dos propósitos principalmente, en primer lugar, mantienen la alineación horizontal y vertical de la losa, también permite la expansión y contracción de la losa sin desalinearla. En segundo lugar, siempre que las condiciones relativas a sus características y utilización se cumplan, las pasajuntas proporcionan una buena transferencia de carga. Esta transferencia de carga reduce las deflexiones en la losa,

lo que impide o reducen significativamente el bombeo del material fino de debajo de la losa.

Las pasajuntas no solo mejoran la transferencia de carga y la durabilidad, también hace que la transferencia de carga sea menos sensibles a la abertura de la junta. Si las pasajuntas están bien colocadas y bien dimensionadas reducen significativamente el proceso de falla de la losa. Es necesario que las pasajuntas tengan un antiadherente para garantizar el libre movimiento horizontal de las losas debido a las variaciones de temperatura y humedad de la losa.

Cuando las cargas se aplican sobre la junta, una parte de esa carga se transfiere a través de las pasajuntas a la siguiente losa. La pasajunta que se encuentra inmediatamente debajo de la carga lleva la mayor parte de la carga, las demás pasajuntas llevan la carga progresivamente en menores cantidades.

El diámetro de las pasajuntas que se utiliza comúnmente es de 1/8 del espesor de la losa, pero puede ser más económico a largo plazo el uso de pasajuntas de un diámetro mayor.

2.3 Tipos de Pavimento de Concreto Hidráulico.

Los pavimentos de concreto hidráulico se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, esta capa tiene la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. El pavimento de concreto hidráulico tiene como objeto proporcionar al usuario una superficie de rodadura que sea uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006).

De acuerdo a las características particulares en las que se construye la losa de concreto, se pueden clasificar en distintos tipos como lo son:

- Pavimento de Concreto con Juntas (JCP).
- Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP).

- Pavimento de Concreto Reforzado Continuo (CRCP).
- Pavimento de Concreto Presforzado.

2.3.1 Pavimento de Concreto con Juntas (JCP).

Son los pavimentos más comúnmente empleados y están constituidos por concreto hidráulico vibrado en masa, divididos mediante juntas longitudinales y juntas transversales para formar elementos generalmente cuadrados o con una relación largo/ancho de 1 a 1.25.

La separación entre las juntas normalmente varía entre 4 y 6 metros, las juntas se construyen machihembrada cuando son juntas longitudinales, o bien, aserradas para debilitar el espesor de la losa y provocar una fractura controlada, generándose la transferencia de carga por el efecto de fricción y trabazón mecánica entre sus caras. Además, para mantener unidas las losas contiguas y asegurar el efecto de la transferencia de carga entre ellas, especialmente bajo la acción de los ejes de vehículos pesados, se utilizan pasajuntas metálicas de varillas lisas en el caso de juntas transversales, y de varillas corrugadas llamadas barras de amarre en las juntas longitudinales.

Las juntas están espaciadas para que las grietas no deban formarse en las losas hasta finales de la vida del pavimento, por lo tanto las expansiones y contracciones que presenta se abordan a través del uso de las juntas.

Los pavimentos de concreto con juntas se dividen en dos tipos; sin pasajuntas (Figura 2.5) y con pasajuntas (Figura 2.6)

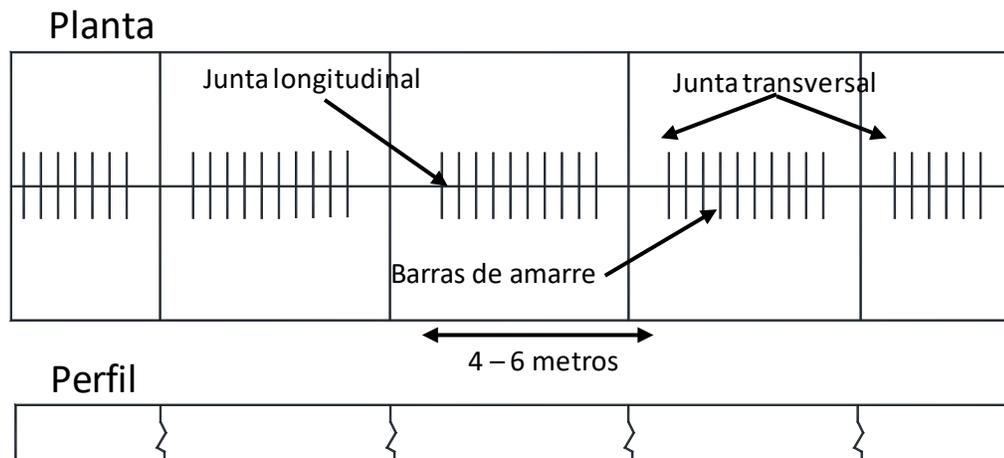


Figura 2.5.- Pavimento de Concreto sin pasajuntas.(Elaboración propia).

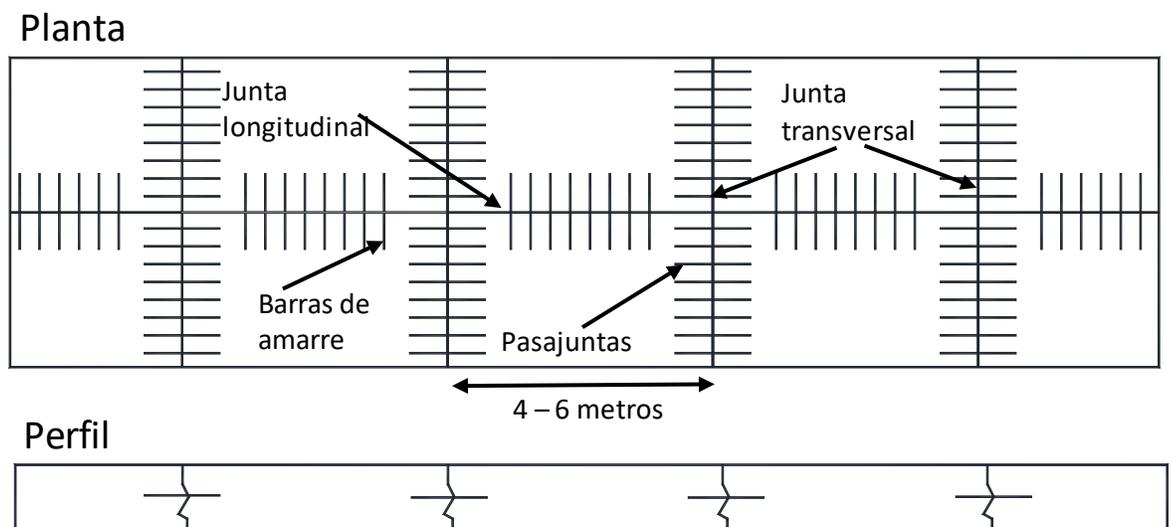


Figura 2.6.- Pavimento de Concreto con Pasajuntas.(Elaboración propia).

En los pavimentos JCP sin pasajuntas las cargas son transmitidas de una losa a otra por medio del entrelazamiento de los agregados. En este caso se realiza un aserrado de la losa que va de $1/3$ a $1/4$ del espesor de la losa, esto con la finalidad de crear un plano de falla de debilidad, por el cual una grieta se propaga a través del espesor restante de la losa. Esta grieta tiene una superficie rugosa, y siempre y cuando se mantenga estrecha la junta puede transferir carga de una losa a otra llevando los

esfuerzos de las partículas del agregado uno contra otro a través de la grieta. La transferencia de carga va perdiendo efectividad conforme la junta se va abriendo o si los agregados se desgastan. La calidad y la resistencia a la erosión del material de apoyo de la losa en las juntas también afecta a la transferencia de carga.

Cuando sobre el pavimento circulen vehículos pesados, especialmente a altas velocidades, la trabazón de los agregados se perderá en menor tiempo originando que se presenten fallas durante la vida útil del pavimento. En este caso, el uso de pasajuntas en las juntas proporciona una mejor transferencia de carga de una losa a otra, las pasajuntas son varillas lisas con un recubrimiento epoxico, que suelen ser engrasadas o cubiertas de un lado para permitir que las juntas se abran o se cierren sin resistencia.

Este tipo de pavimento es el más utilizado ya que suele ser el más económico para construir. Resulta económico en comparación con otros tipos de pavimento de concreto porque no tiene acero de refuerzo en la losa, no requiere mano de obra que coloque acero de refuerzo y por ende más rápida de construir. En aquellas regiones donde la corrosión del acero es un problema, la ausencia de acero de refuerzo significa una ausencia de problemas de corrosión del acero, aunque la corrosión si afecta a las pasajuntas.

En estos pavimentos se utilizan barras de amarre para conectar las vías de circulación adyacentes. Las barras de amarre son de acero de refuerzo y a diferencia de las pasajuntas, no tienen la intención de permitir que las juntas se abran y se cierren. Las barras de amarre se utilizan para para carriles separados. Estas barras permiten mantener unidas las losas transversalmente, sobre todo ante la acción de cambio de carril de los vehículos, que tienden a desplazar las losas en sentido transversal.

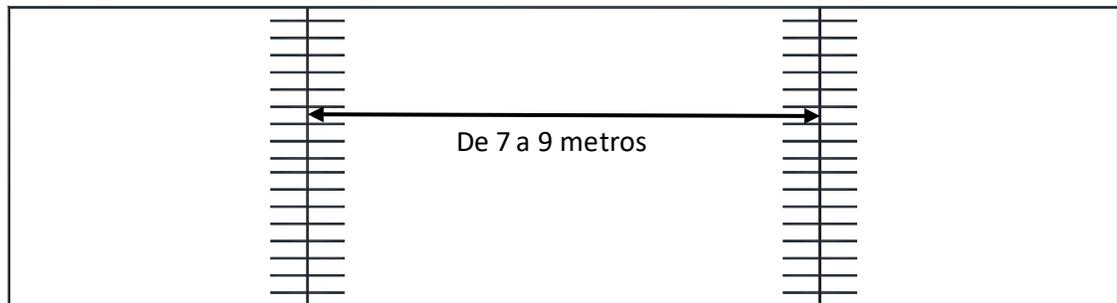
Para que el pavimento JCP tenga un desempeño adecuado es necesario:

- a) Homogeneidad del pavimento.
- b) Espesor del pavimento adecuado para evitar el agrietamiento de la losa.
- c) Limitar el espacio de las juntas también para evitar el agrietamiento de la losa.
- d) Diseño y construcción adecuado de la junta.

2.3.2 Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP)

El pavimento de concreto reforzado con juntas o JRCP se distingue del JCP por tener losas más largas y con un ligero refuerzo estructural, lo que comúnmente se conoce como acero por temperatura. La longitud de las losas JRCP suelen oscilar entre 7.5 y 9 metros, aunque se han utilizado longitudes de hasta 30 metros. Por esa longitud de losa, en las juntas transversales se debe emplear pasajuntas (Figura 2.7).

Planta



Perfil



Figura 2.7.- Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP). (Elaboración propia).

El contenido de acero en la losa está en el rango del 0.10 - 0.25% del área de la sección transversal de la losa, el acero se coloca en la dirección longitudinal, con menos acero en la dirección transversal. El acero se debe colocar en el eje neutro o punto medio de la losa, debido a esto, el acero no tiene ningún efecto sobre la resistencia a la flexión del concreto y solo sirve para mantener cerradas las grietas que se presenten.

El pavimento JRCP fue muy utilizado en el pasado, pero hoy en día es menos común. La única ventaja que presenta sobre el JCP es que tiene menos juntas, aunque es más caro debido al acero que contiene. A pesar de que las losas son más largas, las grietas todavía se forman en el mismo intervalo que en las JCP, por lo tanto las losas

JRCP generalmente tienen una o dos grietas en el interior de la losa. El ligero refuerzo estructural generalmente no es suficiente para mantener la transferencia de carga a través de las grietas por lo que pueden presentar fallas.

2.3.3 Pavimento de Concreto de Refuerzo Continuo (CRCP).

Se caracterizan por tener una mayor cantidad de acero y por una ausencia de juntas, el área de acero en estos pavimentos típicamente es de 0.40 – 0.8 % en volumen de la dirección longitudinal y las grietas que se forman quedan espaciadas entre 0.6 – 2.0 m (Figura 2.8). Como el acero de refuerzo está muy junto mantiene cerradas las grietas, proveyendo la trabazón de agregados necesaria para transferir la carga a través de ellas y el refuerzo necesario antes los esfuerzos cortantes.

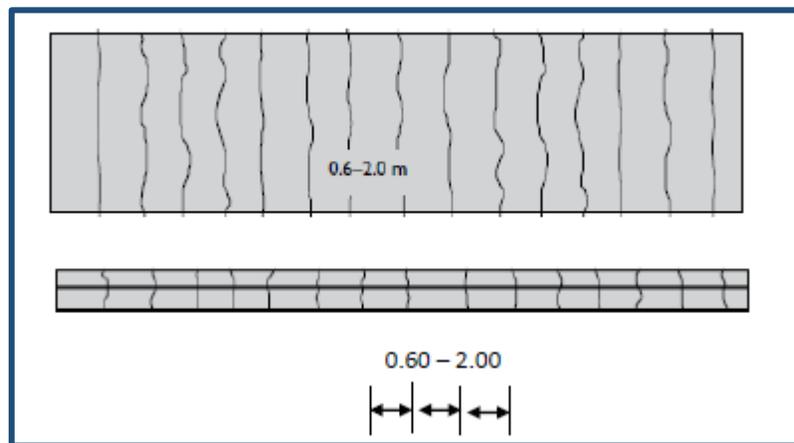


Figura 2.8.- Pavimento de Concreto con Refuerzo Continuo (CRCP). (Elaboración propia).

Para el diseño de los pavimentos CRCP se debe determinar el porcentaje de acero de refuerzo adecuado.

El uso de pavimentos con refuerzo data desde 1921, en un tramo experimental en Columbia Picke, en Virginia EE.UU.AA. Y su uso se ha extendido en pistas de aeropuertos por todo el mundo.

Debido a la mayor cantidad de acero de refuerzo el pavimento CRCP es más costoso que el JRCP, y por lo tanto se usa en menor frecuencia en la mayoría de las regiones. Sin embargo, proporciona una conducción más suave y una vida más larga que cualquier otro tipo de pavimento, esto se debe a la ausencia de las juntas en el pavimento.

Para que el pavimento CRCP tenga un desempeño adecuado es necesario:

- a) Homogeneidad del pavimento.
- b) Espesor del pavimento adecuado para evitar un excesivo agrietamiento transversal.
- c) Una cantidad de acero de refuerzo adecuada para mantener las grietas juntas.

3. Análisis de Normativa

En la actualidad existen normas, reglamentos y distintos documentos que hacen referencia a la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, en este capítulo se realizara un análisis de ellos para conocer los factores y características que se consideran en la construcción de pavimentos de concreto.

Los documentos que se analizaron son:

1. Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT) N-CTR-CAR-1-04-009-06 “Carpetas de Concreto Hidráulico”.
2. Normas de Construcción del Distrito Federal.
3. Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León.
4. Reglamento de Construcción y de los Servicios Urbanos para el Municipio de Morelia.

Se analizaron estos documentos ya que la Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT) N-CTR-CAR-1-04-009-06 “Carpetas de Concreto Hidráulico” es de carácter federal, la Normas de Construcción del Distrito Federal y la Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León son de los pocos estados que cuentan con información relevante a la construcción de pavimentos de concreto hidráulico a nivel estatal y por último el Reglamento de Construcción y de los Servicios Urbanos para el Municipio de Morelia, que es la ciudad para donde está enfocado el manual de procedimientos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico.

3.1 Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT) N-CTR-CAR-1-04-009-06 “Carpetas de Concreto Hidráulico”.

La norma N-CTR-CAR-1-04-009-06 fue desarrollada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Esta norma se encuentra en el libro Construcción (CTR), en el tema Carreteras (CAR), en la parte 1 Conceptos de Obra, con el título 04 Pavimentos, en el capítulo 009 Carpetas de Concreto Hidráulico, el primer año de publicación fue en el 2000, la cual se actualizó en el 2001, posteriormente en el 2004 y la última actualización en el 2006.

La norma N-CTR-CAR-1-04-009-06 se compone de los siguientes capítulos:

1. Contenido.
2. Definición y Clasificación.
3. Referencias.
4. Materiales.
5. Equipo.
6. Transporte y Almacenamiento.
7. Ejecución.
8. Criterios de Aceptación o Rechazo.
9. Medición.
10. Base de Pago.
11. Estimación y Pago.
12. Recepción de Obra.

1. Contenido.

Hace referencia a los aspectos a considerar en la construcción de carpetas de concreto hidráulico para pavimentos de carreteras de nueva creación.

2. Definición y Clasificación.

Establece la definición de la carpeta de concreto hidráulico “Las carpetas de concreto hidráulico son las que se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura”.

Las carpetas de concreto hidráulico se clasifican en:

- Losas de concreto hidráulico con juntas.
- Losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo.
- Losas de concreto hidráulico presforzado.

3. Referencias.

Establece las referencias de la Norma.

4. Materiales.

Este capítulo establece que los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas de concreto hidráulico, deben cumplir con lo establecido en la Norma “Materiales para Losas de Concreto Hidráulico”. Es impórtate mencionar que la Norma “Materiales para Losas de Concreto Hidráulico” mencionada anteriormente no se encuentra en la actualidad.

En caso de ser necesario la modificación de las características del concreto, utilizando aditivos, éstos estarán establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaria.

5. Equipo.

Establece que el equipo que se utilice para la construcción de carpetas de concreto sea el adecuado para obtener la calidad que se especifique, sea mantenido en óptimas condiciones de operación y sea operado por personal capacitado.

Los equipos mencionados en este capítulo son:

- Planta de mezclado.
- Extendedora de concreto.
- Pavimentadora.
- Vibradores.
- Rastra de texturizado.
- Texturizadora.
- Equipo de curado.
- Equipo de corte.
- Unidades de agua a presión.
- Compresoras de aire.
- Dispositivos para la colocación de material de relleno preformado.
- Equipos para la inyección del material de sellado.
- Fresadoras.

6. Transporte y Almacenamiento.

El transporte y almacenamiento de todos los materiales será responsabilidad exclusiva del contratista de obra, de tal forma que no sufran alteraciones que produzcan deficiencias en la calidad de obra.

7. Ejecución.

7.1. Consideraciones generales.- Se considera lo señalado en la Norma N-LEG-3 "Ejecución de Obras".

- 7.2. Proporcionamiento de materiales.- Los materiales necesarios para la elaboración de la carpeta de concreto hidráulico, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para que cumpla con las características requeridas en el proyecto. El proporcionamiento se debe determinar en el laboratorio para obtener las características de proyecto. Si en la ejecución de la obra no se obtiene un concreto hidráulico que cumpla con las características de proyecto, se suspenderá el trabajo hasta que el contratista lo corrija.
- 7.3. Condiciones climáticas.- Los trabajos serán suspendidos cuando haya situaciones climáticas adversas, no se construirán carpetas de concreto hidráulico cuando:
- a) Superficies con agua libre o encharcada.
 - b) Exista amenaza de lluvia o este lloviendo.
 - c) Cuando la temperatura de la superficie donde serán construidas sea menor de 4°C.
 - d) Cuando la temperatura ambiental sea de 4°C y su tendencia sea a la baja. Sin embargo se puede construir cuando la temperatura ambiental sea mayor a 2°C y su tendencia sea a la alza.
 - e) Cuando la evaporación de la superficie de la losa sea mayor de 1 kilogramo por metro cuadrado por hora.
- 7.4. Trabajos previos.- La superficie sobre la cual se colocara la carpeta de concreto hidráulico estará dentro de las líneas y niveles, exenta de materiales extraños, polvo, grasa, etc. La superficie debe ser aceptada por la secretaría. Si se construye sobre una capa de materiales pétreos, como una subbase, ésta se impregnará de acuerdo a la Norma N-CRT-CAR-1-04-004 o se colocará sobre ella una membrana de polietileno.

- 7.5. Los acarreos del concreto y materiales hasta el sitio de su utilización, se harán de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta, se distribuya y se evite la concentración en ciertas áreas y su deterioro.
- 7.6. Elaboración del concreto hidráulico.- El procedimiento para la elaboración del concreto hidráulico es responsabilidad del contratista. Si a juicio de la Secretaría la calidad del concreto difiere a la del proyecto se suspenderá su producción hasta que sea corregido. Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de concreto a otro hasta que las tolvas de la planta hayan sido vaciadas completamente y los depósitos de alimentación de los agregados pétreos se carguen con el nuevo material.
- 7.7. Tramo de prueba.- Sobre la superficie donde se construirá la carpeta de concreto hidráulico, el contratista ejecutara un tramo de prueba de 200 metros, con la finalidad de evaluar los procedimientos y los equipos a utilizar.
- 7.8. Pasajuntas y barras de amarre.- Las pasajuntas y barras de amarre se colocaran de acuerdo a lo indicado en el proyecto. Las pasajuntas que se utilicen en las juntas transversales de contracción, serán barras lisas con las características de proyecto, se colocaran antes del colado del concreto hidráulico, mediante silletas o canastas metálicas de sujeción, que las aseguren en la posición correcta durante el colado y vibrado del concreto, sin impedir sus movimientos longitudinales. Una vez colocadas, la superficie expuesta de la pasajunta se someterá a un tratamiento antiadherente, con grasa, una funda de plástico u otro procedimiento aprobado por la Secretaría, para garantizar el libre movimiento longitudinal de las losas en la junta. Las barras de amarre que se coloquen en las juntas longitudinales serán corrugadas, con las características indicadas en el proyecto, se colocaran mediante silletas o insertadas por vibración si se usa un equipo de cimbra deslizante. No se colocaran barras de amarre en una longitud de 45 cm antes y después de una junta transversal.

7.9. Acero de refuerzo.- En el pavimento de concreto hidráulico con refuerzo continuo, el refuerzo continuo se hará con varillas de acero o mallas prefabricadas electrosoldadas, colocada a la altura y con los traslapes que indique el proyecto. En losas de concreto presforzado, los tendones necesarios para las losas de concreto presforzado, se colocaran sobre asientos de apoyos situados en las posiciones que indique el proyecto o apruebe la Secretaría. Los tendones transversales en zonas de curva se apoyarán en medias cimbras, colocadas a lo largo de la cara interior de la franja por pavimentar.

7.10. Colado del concreto hidráulico.- El concreto hidráulico será colocado, extendiéndolo y consolidándolo con una pavimentadora autopropulsada, sin embargo, en áreas irregulares el concreto puede extenderse y terminarse a mano. El colado se hará de forma continua, minimizando las paradas y arranques de la pavimentadora.

Quando el colado se suspenda por más de 30 minutos se construirá una junta transversal de emergencia. Cada franja de concreto hidráulico se colocará cubriendo como mínimo el ancho total del carril, o de preferencia el ancho total de la calzada. No se permitirá el colado del concreto hidráulico si existe segregación.

La longitud del colado de concreto hidráulico es responsabilidad del contratista, considerando que no se construirán tramos mayores a los que puedan ser terminados y curados de inmediato, así como aserrados oportunamente.

7.11. Vibrado.- El vibrado será inmediatamente después de la colocación del concreto hidráulico, se hará de forma uniforme en todo el volumen de la carpeta, utilizando vibradores mecánicos, cuidando que no entren en contacto con la cimbra. En áreas no accesibles a los vibradores de las pavimentadoras, se emplearan vibradores de inmersión manuales. Cuando la pavimentadora sea detenida, los vibradores no operaran por más de 5 segundos después del paro.

- 7.12. Texturizado.- El acabado de la carpeta de concreto hidráulico se hará pasando sobre la superficie la rastra de texturizado y la texturizadora o bien, mediante el método de denudado químico, el cual consiste en rociar un retardante de fraguado sobre la superficie del concreto fresco y, después de que la masa de concreto ha endurecido, aplicar un cepillado enérgico con un dispositivo de cerdas metálicas para eliminar el mortero de la superficie.
- 7.13. Curado.- Después de terminado el texturizado, se realizara el curado cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial, con el equipo de curado se aplicará el material que indique el proyecto para formar la membrana de curado sobre la superficie de la carpeta.
- 7.14. Juntas.- Para el caso de una carpeta de concreto hidráulico con juntas, una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente para que no se despostille y antes de que se formen grietas naturales por contracción, se aserrará la carpeta para formar una junta. Los cortes se ajustarán al alineamiento, dimensiones y características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaria. Las juntas transversales de contracción se aserraran primero e inmediatamente después las juntas longitudinales. Es responsabilidad del Contratista elegir el momento propicio para efectuar el aserrado. Las losas que se agrieten por aserrado inoportuno serán demolidas y remplazadas, o reparadas por el contratista. Cuando se requiera hacer la junta en dos etapas (escalonados), el segundo corte se realizará antes de 72 horas después del colado. En el sitio preestablecido para terminar el colado del día y coincidiendo con la ubicación de una junta transversal de contracción, se formara una junta de construcción, colocando una cimbra que garantice la perpendicularidad del plano de la junta con el plano de la superficie de la losa. La cimbra contará con orificios que permitan la instalación de pasajuntas en todo lo ancho de la losa, con el alineamiento y espaciamiento que indique el proyecto. Para garantizar la consolidación correcta del concreto en las esquinas y bordes de la junta, se utilizarán vibradores de inmersión manuales.
- Cuando por causa de fuerza mayor sea necesario suspender el colado por más

de 30 minutos, se construirá una junta transversal de emergencia. La localización de esta junta se establece en función del tramo que se haya colado a partir de la última junta de contracción trazada. Si el tramo colado es menor que un tercio de la longitud de la losa, se removerá el concreto fresco para hacer coincidir la localización de la junta de emergencia con la de contracción inmediata anterior. En caso de que ocurra en el tercio medio de la losa, se hará una junta de emergencia tipo junta de construcción, cuidando que la distancia de ésta a cualquier de las dos juntas de contracción adyacentes no sea menor a 1.5 metros. Si la emergencia ocurre en el último tercio de la longitud de la losa, la junta de emergencia se hará dentro del tercio medio de la losa y se removerá el concreto fresco excedente. La dimensión de las losas en el sentido longitudinal serán establecidas en el proyecto con una tolerancia de más menos 1 centímetro. La alineación de las juntas longitudinales será la indicada en el proyecto, con una tolerancia de más menos 1 centímetro.

7.15. Conservación de los trabajos.- Es responsabilidad del Contratista la conservación de la carpeta de concreto hidráulico hasta que haya sido recibida por la Secretaría.

8. Criterios de Aceptación o Rechazo.

Para que la carpeta de concreto hidráulico, de cada tramo de 1 kilómetro de longitud o fracción, se considere terminada y aceptada por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría, se comprobará:

8.1. Calidad del concreto hidráulico.- Que los agregados pétreos, el cemento Portland y aditivos utilizados en el concreto hidráulico, hayan cumplido con las características establecidas. Que las características del concreto hidráulico fresco haya cumplido con lo establecido en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

La resistencia a la tensión a los 28 días de edad en especímenes cilíndricos del concreto hidráulico, determinado en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, “Criterios Estadísticos de Muestro” haya cumplido con lo establecido en el proyecto o aprobado por la Secretaría. El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = A/600$$

Donde:

c = Número de corazones por extraer, aproximado a la unidad superior.

A = Superficie del tramo, (m²).

Los corazones se extraerán sin dañar la parte contigua de los mismos, tan pronto se concluya la extracción de los corazones, se rellenarán los huecos con el mismo tipo de concreto hidráulico utilizado en la carpeta. La resistencia a la tensión promedio de cada 5 corazones consecutivos, será igual o mayor a la resistencia establecida en el proyecto. Cuando menos 4 de los 5 corazones, tendrán una resistencia a la tensión igual o mayor al 90% de la resistencia establecida en el proyecto.

En caso de no cumplir con la resistencia a la tensión, el Contratista, previa aprobación de la Secretaría, podrá elegir entre demoler y reemplazar la carpeta en el tramo defectuoso, por su cuenta y costo, o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad.

8.2. Calidad de otros materiales:

Para losas de concreto hidráulico con juntas.- Que las pasajuntas y barras de amarre hayan cumplido con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, la elevación y espaciamiento de las pasajuntas no haya diferido de los indicados en el proyecto en más de 5 milímetros y que la desviación angular del eje de cada pasajunta, determinada entre sus

extremos, no haya sido mayor de 1 milímetro respecto a su dirección teórica. El material de curado para las losas, así como las tiras de relleno preformadas y el material sellador que se utilicen en las juntas, hayan cumplido con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. Para losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo o presforzado.- El acero de refuerzo continuo o los tendones de acero para presfuerzo hayan cumplido con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría y que hayan sido habilitados y colocados correctamente.

- 8.3. Índice de perfil.- El índice de perfil de la carpeta de concreto hidráulico, en cada línea de colado de cada subtramo de 200 metros de longitud o fracción, haya sido de 14 cm/km como máximo, a menos que el proyecto indique otro valor. El Contratista hará esta verificación conforme al Manual M-MMP-4-07-002, "Índice de Perfil" dentro de las 48 horas siguientes al colado. El Contratista dispondrá y mantendrá durante el tiempo que dure la obra un perfilógrafo tipo California. Antes de su utilización, el equipo se calibrará como se indica en el Manual M-MMP-4-07-002, "Índice de Perfil", en caso de que el perfilógrafo presente deficiencias o no está bien calibrado, se suspenderá la evaluación en tanto que el Contratista lo calibre correctamente, corrija las deficiencias o lo remplace.

La obtención del índice de perfil, en cada línea de colado, se hará a lo largo de la línea imaginaria ubicada a 90 ± 20 centímetros de la orilla interior de la línea de colado por evaluar. Las mediciones serán divididas en secciones consecutivas de 200 metros, con el propósito de establecer subtramos en los que se otorgue un estímulo por mejoramiento de calidad o se aplique una sanción por incumplimiento de calidad al Contratista según la calidad obtenida en la superficie.

Cuando la longitud de un subtramo construido en un día de trabajo, no alcance los 200 metros, será agrupado con el tramo inmediato que se construya el día siguiente.

Si el índice de perfil determinado en alguna línea de colado de un subtramo

de 200 metros, resulta menos de 10.1 cm/km, el Contratista se hará acreedor de un estímulo por el mejoramiento de calidad.

Cada día de trabajo se determinará el índice de perfil promedio diario, obtenido del promedio aritmético de todos los índices de perfil determinados ese día. Si el índice de perfil promedio diario, resulta mayor de 24 cm/km, se suspenderá la construcción de la carpeta de concreto hidráulico, hasta que el Contratista corrija la carpeta defectuosa.

El Contratista realizará las correcciones de la superficie de la carpeta de concreto hidráulico que se requiera para obtener el índice de perfil adecuado. Después de obtenido el índice de perfil de cada línea de colado en un subtramo de 200 metros, todas las áreas en las que el perfilograma presente una desviación igual o mayor a 1 centímetro en 7.7 metros o menos, serán corregidas mediante fresado.

Una vez realizadas todas las correcciones individuales de las desviaciones mencionadas anteriormente, cualquier subtramo de 200 metros que presente un índice de perfil mayor de 24 cm/km en cualquier de sus líneas de colado, será corregido mediante el fresado continuo de la superficie de la carpeta de concreto hidráulico, en tramos no menores de 50 metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, para reducir el índice de perfil a 24 cm/km o menos, o por la remoción de la carpeta de concreto hidráulico y su remplazo por una nueva y tenga un índice de perfil de 24 cm/km o menos. Cuando el índice de perfil este entre 14.1 y 24 cm/km, el Contratista podrá elegir entre corregir la superficie terminada como se indicó anteriormente o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad.

Todos los trabajos de corrección serán por cuenta y costo del Contratista, y previamente a su ejecución, los procedimientos de corrección de la superficie de la carpeta serán sometidos a la aprobación de la Secretaría.

8.4. Líneas Pendientes y Espesores.- El alineamiento, perfil, secciones y espesor de la carpeta, debe cumplir con lo establecido en el proyecto considerando las siguientes tolerancias:

Previo a la construcción de la carpeta, en estaciones cerradas a cada 20 metros, se nivelará la superficie de la capa inmediata inferior, obteniendo los niveles en el eje y en ambos lados de éste, como se muestra en la Figura 3.1.

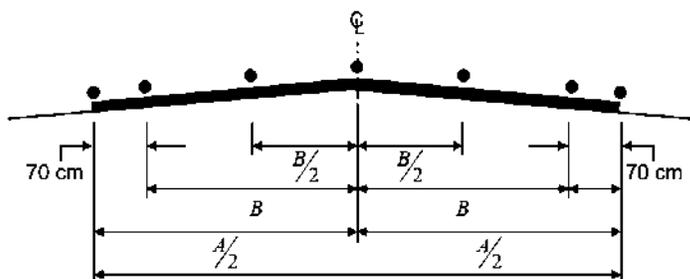


Figura 3.1.- Ubicación de los puntos a nivelar. (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006).

Se determinarán las elevaciones de los puntos indicados para obtener las pendientes transversales entre ellos, y se medirán, en cada sección, las distancias entre el eje y las orillas de la carpeta, para verificar que esas pendientes y esas distancias estén dentro de las tolerancias que se indican en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Tolerancia para líneas y pendientes.

Característica	Tolerancia
Ancho de la carpeta, del eje a la orilla	± 1 cm
Pendiente transversal	$\pm 0.5\%$

(N-CRT-CAR-1-04-009, 2006).

Las nivelaciones se ejecutarán con nivel fijo y comprobación de vuelta, obteniendo los niveles con aproximación al milímetro. Las distancias

horizontales se medirán con aproximación al centímetro. A partir de las cotas obtenidas en las nivelaciones, en todos los puntos nivelados se determinarán los espesores de la carpeta vibrada, los que serán iguales al fijado en el proyecto. El espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, será igual a 0.98 del espesor de proyecto o mayor:

$$\bar{e} = 0.98e$$

Donde:

e = Espesor de proyecto, (cm)

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, obtenido mediante la siguiente formula:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

Donde:

e_i = Espesor obtenido en cada determinación, (cm)

n = Número de determinaciones hechas en el tramo

- 8.5. Resistencia a la Fricción.- La superficie de rodadura de la carpeta de concreto construida, debe tener una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, igual a 0.6 o mayor, medida con el equipo Mu-Meter, a una velocidad de 75 km/hr por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada línea de colado. El Contratista realizará esta verificación. Cuando la resistencia sea menor de 0.6, el Contratista, por su cuenta y costo, corregirá la superficie terminada.

9. Medición

Cuando la construcción de carpetas de concreto hidráulico se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la

Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, Ejecución de Obras, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cúbico de carpeta terminada. El volumen de cada tramo de 1 kilómetro o fracción, se determinara mediante la siguiente formula:

$$V = Lx\bar{e}\bar{a}$$

Donde:

$V =$

Volumen de la carpeta de concreto hidráulico de cada tramo de 1 km o fracción, (m³)

$L =$ *Longitud del tramo, (m)*

$\bar{e} =$

Espesor promedio correspondiente a todas la determinaciones hechas en el tramo, (m)

$\bar{a} =$ *Ancho promedio de la carpeta de concreto hidráulico, (m)*

La Secretaría medirá y pagará como máximo el volumen de la carpeta de concreto hidráulico que resulte del espesor de proyecto más 1 centímetro por el ancho de proyecto más 1 centímetro.

10. Base de pago

Cuando la construcción de carpetas de concreto hidráulico se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado anteriormente, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta terminada en cada tramo de 1 kilómetro o fracción.

11. Estimación y Pago

La estimación y pago de las carpetas de concreto hidráulico, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, Ejecución de Obras.

12. Recepción de la Obra

Una vez concluida la construcción de la carpeta de concreto hidráulico, la Secretaría la aprobará y al término de la obra, cuando la carretera sea operable, la recibirá conforme a lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, Ejecución de Obras.

3.2 Normas de Construcción del Distrito Federal.

El Libro 3 Tomo I Construcción e Instalaciones. “Obra Civil en Urbanización” de las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal, en el capítulo 019 se encuentra lo referente a los pavimentos de concreto hidráulico (3.01.01.019 Pavimentos de concreto hidráulico), el cual se compone de los siguientes títulos:

1. Definición, Clasificación y Objeto.
2. Referencias del Concepto en Otros Documentos.
3. Materiales Componentes del Concreto.
4. Requisitos de Ejecución.
5. Alcances, Unidades de Medida, Criterios para Cuantificar y Bases de Pago.

3.2.1 Definición, Clasificación y Objeto

El pavimento de concreto hidráulico son piezas planas fabricadas con concreto hidráulico, sobre una base y con las cuales se forma la estructura del pavimento.

El pavimento se clasifica en función del tipo de carga sobre él, las cuales son:

- a. Carga ligera.- Vehículos ligeros y tránsito peatonal.
- b. Carga semi ligera.- Vehículos medianos, ligeros y tránsito peatonal, característico en vialidades secundarias.
- c. Carga pesada.- Vehículos de gran capacidad de carga, característico en vialidades primarias.

Se tiene como objeto establecer las características y requisitos de calidad mínimos que deben cumplir los pavimentos para que la superficie de rodamiento de vehículos, tránsito de personas o animales, trasmita las cargas a la base y/o subbase, distribuyéndolas de tal modo que ni se produzcan deformaciones y que además proporcione al tránsito una capa rígida, estable, resistente al desgaste y al efecto del aire, luz, el sol, al agua y a la temperatura, que sea impermeable o permeable, uniforme y de textura apropiada al deslizamiento.

3.2.2 Referencias del Concepto en Otros Documentos

Pueden existir conceptos de trabajo vinculados con el concepto de pavimentos de concreto hidráulico, tratados en esta norma, que se desarrollan en otros capítulos de estas Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal. En la Tabla 3.2 se refieren los conceptos más importantes que se encuentran en otros documentos y se vinculan al presente.

Tabla 3.2.- Referencias de Conceptos en Otros Documentos.

Conceptos	Capítulo Referente	Dependencia
Proyecto de pavimentos	2.03.03.010	G.D.F.
Trazo y nivelación topográficos	3.01.01.004	G.D.F.
Acarreo de materiales en vehículo	3.01.01.011	G.D.F.
Subbase	3.01.01.014	G.D.F.
Base hidráulica	3.01.01.015	G.D.F.
Concreto en obra	3.01.01.040	G.D.F.
Cimbras	3.01.02.006	G.D.F.
Concreto hidráulico en obra	3.01.02.007	G.D.F.
Aditivos para concreto hidráulico	3.01.02.008	G.D.F.
Acero de refuerzo para concreto	3.01.02.011	G.D.F.
Malla de alambre para refuerzo	3.01.02.013	G.D.F.
Señales impresas de vialidad	3.01.01.037	G.D.F.
Agregados pétreos para concretos y morteros hidráulicos	4.01.01.004	G.D.F.
Concreto hidráulico	4.01.02.003	G.D.F.
Aditivos para concreto hidráulico	4.01.02.004	G.D.F.
Materiales para curado de concreto hidráulico	4.01.02.005	G.D.F.
Concreto permeable	4.01.02.058	G.D.F.

(Gobierno del Distrito Federal, 2013).

3.2.3 Materiales Componentes del Concreto

Los materiales que se utilicen en la construcción del pavimento de concreto hidráulico, deben cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones del proyecto, o en su defecto, con lo establecido en el Libro 4 de las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal.

En el caso de que se determine calentar materiales para compensar las bajas temperaturas ambientales, la temperatura máxima del concreto hidráulico en el momento de producción y colocación no debe exceder de 32°C. Por otro lado, para contrarrestar el efecto de las temperaturas ambientales altas, la supervisión puede aprobar el enfriamiento de materiales, sin que la temperatura del concreto hidráulico fresco sea menor que 10°C.

El concreto hidráulico debe de alcanzar la resistencia máxima a compresión especificada en el proyecto, a la edad de 28 días.

El módulo de elasticidad promedio de tres muestras consecutivas cualesquiera debe ser igual o mayor al módulo de elasticidad de diseño especificado.

3.2.4 Requisitos de Ejecución

Previo a la construcción del pavimento de concreto hidráulico se debe considerar:

- a. Limpieza del terreno.
- b. Señalización para delimitar el área de trabajo.
- c. Trazo y nivelación topográficos.
- d. Verificar que la base o subbase en que se apoyará el pavimento tenga la humedad apropiada y cumpla con los requisitos de compactación, alineamientos, pendientes y tolerancias indicadas en el proyecto.
- e. La verificación debe realizarse con las pruebas de laboratorio necesarias.
- f. Que el proyecto tenga establecido las dimensiones en sección horizontal, niveles, espesores, armados para el refuerzo, tipo de concreto, resistencia, tamaño máximo de agregados, y demás que se refieran.
- g. La empresa que ejecutará el trabajo de pavimentación debe contar con los planos actualizados, en los que se observen los niveles de la vialidad, guarniciones, banquetas, brocales de pozos de visita, coladeras, cajas de operación de válvulas, y demás del entorno al pavimento que se va a formar.

Durante la formación del pavimento de concreto hidráulico, se debe atender lo siguiente:

- a. Las dimensiones en largo, ancho y espesor de las losas de concreto hidráulico deben corresponder a las establecidas en el proyecto.

- b. La dosificación de agregados pétreos, cemento hidráulico, agua y aditivos en su caso, serán tales que se obtengan las características que se establezcan en el proyecto.
- c. El acero de refuerzo debe habilitarse en las condiciones de longitud, dobleces, diámetro y demás requisitos que se establezcan en el proyecto.
- d. Las juntas de construcción entre partes de losa construida, deben ser impermeables para evitar la entrada de agua a la base o subbase, las juntas se clasifican en: juntas transversales de dilatación, juntas transversales de contracción y juntas de construcción.
- e. El concreto hidráulico debe vaciarse en moldes metálicos indeformables, que no sufran variaciones en su alineación, niveles y superficie, fijados firmemente a la base o subbase. Los moldes no se deben aflojar ni remover antes de que el concreto haya endurecido lo suficiente para soportar sin deterioro la maniobra respectiva, debiendo ser este lapso el que señale el proyecto pero no menos de 24 horas.
- f. Se debe humedecer la superficie de la base hasta saturarla, antes de iniciar la colocación del concreto hidráulico, pero sin llegar a formar charcos.
- g. Es conveniente que el equipo de transporte del concreto hidráulico, vierta el producto directamente sobre el sitio de colocación para evitar la segregación, la caída no debe ser mayor de 50 centímetros.
- h. Una vez vertido el concreto hidráulico, se debe distribuir uniformemente sobre la superficie preparada, y se debe compactar mediante vibrador de inmersión, seguida de una regla vibratoria hasta lograr la compactación uniforme y la superficie plana deseada.
- i. Después de conformar la superficie con el vibrado superficial, se debe aplanar con llana metálica o de madera, después se debe afinar con banda de lona y hule con objeto de eliminar prominencias y depresiones, hasta dejarla uniforme pero con textura ligeramente áspera. No se permiten crestas ni depresiones mayores de cuatro milímetros.
- j. Inmediatamente después de terminada la superficie del pavimento en las condiciones que señala el proyecto, se procede a curarlo, lo cual puede hacerse con una membrana impermeable de algún producto según lo

señalado en el capítulo 4.01.02.005 “Materiales para curado de concreto hidráulico”.

- k. La aplicación del líquido para formar la membrana debe ser con el equipo apropiado, recomendándose el aspersor para lograr una distribución uniforme, a fin de retener la humedad por un lapso mínimo de 24 horas, durante los siete días posteriores al colado se puede utilizar la membrana o se pueden aplicar sobre la superficie del pavimento formado, los riegos de agua que sean necesarios, con tal de mantenerla húmeda.
- l. El pavimento de concreto hidráulico terminado, debe protegerse con barreras al tránsito de vehículos, personas o animales, durante un lapso mínimo de siete días si en su formación se hubiera utilizado cemento Portland para concreto de resistencia rápida, o de catorce días, si se hubiera utilizado cemento Portland tipo normal.

Por ningún motivo se debe de aceptar roca volcánica extrusiva de enfriamiento rápido (tezontle o similar) con masa unitaria menor que 2.5 ton/m³ para la conformación de pozos, subbase, base o carpeta de concreto permeable.

La supervisión encargada de realizar la vigilancia de la correcta ejecución de los trabajos de pavimentación con concreto permeable debe tener conocimientos y experiencia en estos trabajos, al tratarse de un procedimiento especial dentro de la industria de la construcción.

3.2.5 Alcances, Unidades de Medida, Criterios para Cuantificar y Base de Pago.

Pavimento de concreto hidráulico fabricado en obra.- El costo directo incluye: la señalización para delimitar el área de trabajo, el suministro del cemento, los agregados pétreos gruesos y finos, el agua y los aditivos, para elaborar el concreto hidráulico de las características señaladas en el proyecto, los materiales de curado, las varillas lisas necesarias para formar los pasajuntas, el asfalto o material de PVC para sello de juntas, el acero de refuerzo si es el caso, almacenaje y los materiales de consumo menor, puestos en el sitio de los trabajos, mermas y desperdicios; la

mano de obra para la fabricación, el humedecimiento de la base, acarreos locales, colado, distribución y acomodo del concreto, obtención de muestras para pruebas de laboratorio, vibrado, curado, sellado de las juntas, retiro del material sobrante, la señalización y los desperdicios al sitio que determine la supervisión y la limpieza del área de trabajo; el equipo de seguridad de los trabajadores; los equipos para realizar la revoltura, el reglado y el vibrado, la herramienta de apoyo para la realización correcta del trabajo.

La unidad de medida es el metro cúbico con aproximación de dos decimales.

Para cuantificar se debe de medir el volumen de concreto hidráulico colocado según líneas de proyecto aprobadas por la supervisión.

Para efectos de pago se debe estimar al 80% según el precio unitario, el volumen de concreto hidráulico vaciado y terminado de acuerdo con el proyecto, dentro del período establecido en el contrato y durante la vigencia del mismo. El restante 20% de debe estimar una vez reportada por el laboratorio, las características del concreto hidráulico que corresponda a las especificadas en el proyecto.

Pavimento de concreto hidráulico suministrado por el proveedor.- El costo directo incluye: la señalización para delimitar el área de trabajo, el suministro del concreto hidráulico de las características señaladas en el proyecto, los materiales de curado, las carillas lisas necesarias para formar los pasajuntas, el asfalto o material de PVC para sello de juntas, el acero de refuerzo si es el caso, almacenaje y los materiales de consumo menor, puestos en el sitio de los trabajos, mermas y desperdicios; la mano de obra para la fabricación, el humedecimiento de la base, acarreos locales, colado, distribución y acomodo del concreto, obtención de muestras para pruebas de laboratorio, vibrado, curado, sellado de las juntas, retiro del material sobrante, la señalización y los desperdicios al sitio que determine la supervisión y la limpieza del área de trabajo; el equipo de seguridad de los trabajadores; los equipos para transportar la revoltura, el reglado y el vibrado, la herramienta de apoyo para la realización correcta del trabajo.

La unidad de medida es el metro cúbico con aproximación de dos decimales.

Para cuantificar se debe de medir el volumen de concreto hidráulico colocado según líneas de proyecto aprobadas por la supervisión.

Para efectos de pago se debe estimar al 80% según el precio unitario, el volumen de concreto hidráulico vaciado y terminado de acuerdo con el proyecto, dentro del período establecido en el contrato y durante la vigencia del mismo. El restante 20% de debe estimar una vez reportada por el laboratorio, las características del concreto hidráulico que corresponda a las especificadas en el proyecto.

3.3 Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León.

La sección octava del Capítulo Cuarto de la Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León, trata sobre la capa de carpeta con concreto hidráulico, la cual consta de los títulos que se mencionan a continuación:

1. Concepto.
2. Calidad del Material.
3. Pruebas de Ensayo para Materiales de Concreto Hidráulico.
4. Control de Calidad del Material.
5. Control de Ejecución.
6. Control de Recepción.
7. Ensayos de Información.
8. Espesores.
9. Textura Superficial.
10. Regularidad Superficial.

3.3.1 Concepto

Las carpetas de concreto hidráulico son las que se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al deslizamiento, segura y cómoda. Tendrán una función estructural consistente en soportar y transmitir las cargas hacia las capas subyacentes.

Su diseño se definirá entre un pavimento con losas de concreto hidráulico con juntas, losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo o losas de concreto hidráulico presforzado.

3.3.2 Calidad del Material

Las especificaciones particulares del proyecto deberán cumplir lo especificado en la Norma N-CRT-CAR-1-04-009/06 vigente en cuanto al diseño de la mezcla hidráulica, granulometría, limpieza del agregado pétreo, dureza, equivalente de arena, resistencia a compresión, resistencia a flexo-tensión, tendido, curado, elaboración de juntas y criterios de aceptación y rechazo. En caso de utilizar concreto industrializado se tomará lo establecido en la NMX-C-155-ONNCCE-2004.

Para establecer en el proyecto especificaciones físicas y químicas del cemento Portland se tomará lo establecido en las Normas N-CMT-2-02-001/02 vigente o NMX-C-414-ONNCCE-2004 vigente.

Para establecer en el proyecto especificaciones para los componentes y para las propiedades físicas y químicas del agua se tomará lo establecido en las Normas N-CMT-2-02-003/02 vigente o NMX-C-122-ONNCCE-2004 vigente.

El agregado pétreo empleado en las mezclas hidráulicas deberá cumplir con lo especificado en la Norma N-CRT-CAR-1-04-009/06 vigente y NMX-C-111-ONNCCE-2004 vigente en cuanto a granulometría, plasticidad, dureza, equivalente de arena, contenido de agua, absorción, angularidad, limpieza, almacenamiento y criterios de aceptación y rechazo. El agregado se clasificará como grueso o fino.

Las especificaciones particulares del proyecto de la mezcla hidráulica fijarán el uso de aditivos cuando se necesite obtener la trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla, previo al uso de los aditivos se deberán realizar ensayos para comprobar que tengan las características especificadas en la Norma NMX-C-255-ONNCCE-2006 vigente.

Los pasadores se formarán por barras de acero lisas sin rebabas cortantes en sus extremos. El diámetro y longitud recomendable será de 38 milímetros y 60 centímetros.

La resistencia a flexo-tensión a los 28 días del concreto hidráulico que se empleará en la construcción de la carpeta de concreto hidráulico, se determinará conforme a la Norma NMX-C-191-ONNCCE-2004 vigente. Para la elaboración y curado en obra de especímenes de concreto se utilizará la Norma NMX-C-160-ONNCCE vigente.

3.3.3 Pruebas de Ensayos para Materiales de Concreto Hidráulico.

Los valores de módulo de ruptura (MR) serán los establecidos en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3.- Modulo de Ruptura en Base a la Categoría de Tráfico Pesado.

Categoría de Tráfico Pesado		
50 vp/día	500 vp/día	6000 vp/día
42 kg/cm ²	45 kg/cm ²	48 kg/cm ²

(Estado de Nuevo León, 2010).

3.3.4 Control de Calidad del Material.

El método de control de calidad, tamaño de la muestra, el tipo y numero de ensayos necesarios para el control de calidad se fijarán en las especificaciones generales y particulares. La realización de los ensayos y la toma de muestras de materiales a

evaluar se realizarán empleando los criterios establecidos en las Normas N-CRT-CAR-1-04-009/06, N-CAL-1-01/05, M-CAL-1-02/01 y M-CAL-1-03/03.

El responsable de la obra deberá exigir el control de calidad de los materiales, el control de ejecución y el control de recepción de los trabajos.

Los agregados pétreos que se empleen para realizar la mezcla de concreto hidráulico, se deben identificar para definir su calidad. Para cualquier volumen producido previsto en el proyecto, se realizarán estudios de al menos cuatro muestras, incrementándose en una muestra por cada 5 mil metros cúbicos adicionales o fracción.

Para cada una de las muestras se evaluarán; la granulometría, pérdida por desgaste de Los Ángeles del agregado grueso, coeficiente de pulimiento acelerado y equivalente de arena. La evaluación de estos parámetros se hará conforme a las Normas N-CRT-CAR-1-04-009 y NMX-C-155-ONNCCE-2004.

En una producción continua para cada fracción de agregado pétreo que se produzca o se reciba, se realizarán al menos dos veces al día un análisis de la granulometría, el equivalente de arena y las partículas alargadas y lajeadas; y al menos una vez al mes, o cuando se cambie de procedencia, se analizarán las pérdidas por desgaste de Los Ángeles del agregado grueso y el coeficiente de pulimiento acelerado.

En una producción continua para la fracción fina del agregado pétreo, que se produzca o reciba, se realizará un ensayo de la densidad aparente, al menos una vez al día, o cuando el material cambie de procedencia.

3.3.5 Control de Ejecución.

En la producción de la mezcla hidráulica en planta, se tomará al menos una muestra al día de las fracciones del agregado pétreo para realizar el ensayo de granulometría por tamizado.

Al menos una vez cada 15 días se verificará la precisión de las basculas de dosificación.

A la salida del mezclador se tomarán muestras de la mezcla hidráulica y se realizarán ensayos referentes al aspecto de la mezcla hidráulica y la temperatura. Se deben rechazar muestras con segregación del agregado pétreo grueso.

Al menos dos veces al día, una por la mañana y otra en la tarde, y al menos una vez por lote se analizarán el contenido de aire ocluido en una mezcla hidráulica, el revenimiento y la elaboración de probetas cilíndricas.

La frecuencia de los ensayos en el transcurso de la ejecución de la obra se podrá reducir a la mitad, de acuerdo al criterio del responsable de la obra y en medida en que los materiales presenten una homogeneidad adecuada. Los acabados y texturas de la mezcla hidráulica se controlarán de acuerdo a las especificaciones del proyecto y a lo establecido en la las Norma N-CRT-CAR-1-04-009.

Se tomará como lote de aceptación de los trabajos tres mil quinientos metros cuadrados o el avance por día, lo que resulte mayor. Dentro del lote por día se cumplirá una frecuencia de tres probetas prismáticas para determinar los módulos de ruptura.

3.3.6 Control de Recepción.

A partir del valor del módulo de ruptura estimada para cada lote se aplicarán los siguientes criterios de aceptación o rechazo:

1. Se aceptará el lote cuando la resistencia promedio estimada no sea menor a la resistencia exigida.
2. En base a lo establecido en la licitación, tratándose de obras públicas, se aplicará una reducción al precio unitario de la mezcla hidráulica, cuando la resistencia promedio sea menor a la resistencia exigida, pero mayor al noventa por ciento.
3. Se realizarán ensayos de información cuando la resistencia promedio sea menor al noventa por ciento de la resistencia exigida.

3.3.7 Ensayos de Información.

Antes de los cincuenta y cuatro días de la colocación de la mezcla hidráulica, se deberán extraer seis probetas testigos de forma aleatoria, que disten al menos siete metros en sentido longitudinal entre ellas, y que estén separados al menos cincuenta centímetros del borde de cualquier junta y losa. Estos testigos se ensayarán a tensión indirecta para obtener su resistencia a tensión a los cincuenta y seis días.

El valor medio de los resultados obtenidos de los testigos se comparará con el promedio de los obtenidos de un lote que hubiera aceptado y de esa comparación se determinará lo siguiente:

- a. Se aceptará el lote cuando la resistencia a tensión indirecta sea mayor que la del lote.
- b. Se aplicará una sanción al precio unitario de la mezcla hidráulica cuando la resistencia promedio sea menor a la resistencia exigida, pero mayor al noventa por ciento.
- c. Se aplicará una sanción al precio unitario de la mezcla hidráulica, o bien se ordenará la demolición y reconstrucción de la carpeta hidráulica, cuando la resistencia promedio sea menor al noventa por ciento de la resistencia exigida, pero mayor al setenta por ciento, según haya sido establecido en las bases de licitación o proyecto.
- d. Se ordenará la demolición de la carpeta hidráulica y su reconstrucción, por cuenta del contratista, cuando la resistencia promedio sea menor al setenta por ciento, según haya sido establecido en las bases de licitación del proyecto.

Las sanciones referidas no podrán ser inferiores a la aplicación de una penalización al precio unitario del lote, cuyo valor deberá ser igual al doble de la merma de la resistencia expresada en porcentaje.

3.3.8 Espesores.

El espesor promedio de los valores medidos deberá estar dentro de los límites establecidos en las bases del concurso o en los valores especificados en el proyecto.

Para evaluar el cumplimiento del espesor de la losa hidráulica se aplicara lo establecido en la Norma N-CRT-CAR-1-04-009.

3.3.9 Textura Superficial.

La profundidad de la textura superficial y el valor del coeficiente de resistencia al desplazamiento de la losa hidráulica de la superficie de rodamiento, deberá de cumplir con los valores indicados en el Capítulo III de la Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León.

Deberá proveerse una macrotextura y microtextura conforme se indica en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4.- Valores de macrotextura y microtextura de acuerdo al tipo de vialidad.

Niveles	Medición de la textura		Coefficiente de fricción
	Altura en milímetros	Diámetro en centímetros del círculo de arena	Valor de CDR adimensional
1	0.25 mínima	40 mínima	No se aplica
2	0.47 mínima	32 mínima	0.51 mínima
3	0.47 a 1.2	25 a 32	0.61 mínima
4	Mayor a 1.2	Menor de 25	No se aplica

Vialidad tipo	Pendiente menor a 12%	Pendiente mayor a 12%
Local	Nivel 1	Nivel 4
Subcolectora	Nivel 2	Nivel 4
Colectora	Nivel 3	Nivel 4
Principal ordinaria	Nivel 3	No se aplica
Principal de acceso controlado	Nivel 3	No se aplica

Nivel	Método de prueba	Especificación
1	Círculo de arena	Textura
2	Círculo de arena	Textura
2	Péndulo inglés o de fricción	Fricción
3	Círculo de arena	Textura
3	Péndulo inglés o de fricción	Fricción
4	Círculo de arena	Textura

(Estado de Nuevo León, 2010)

3.3.10 Regularidad Superficial.

El índice de perfil de la capa de rodamiento deberá cumplir con lo dispuesto en las especificaciones particulares del proyecto conforme al tipo de vialidad y procedimiento constructivo utilizado. La Norma N-CRT-CAR-1-04-009/06 se deberá aplicar para garantizar una regularidad de la superficie de rodamiento adecuada. La medición del índice de perfil se realizará de acuerdo a la Norma M-MMP-4-07-002/06.

Cuando los valores de la regularidad superficial excedan los límites establecidos en el proyecto, en menos del diez por ciento de la longitud del lote bajo control, se procederá a recuperar la regularidad superficial mediante un proceso de fresado, siempre y cuando este proceso no disminuya el espesor de la losa hidráulica debajo de los límites permitidos en el proyecto. Estos costos correrán a cargo del contratista.

Cuando los valores de la regularidad superficial excedan los límites establecidos en el proyecto, en más del diez por ciento de la longitud del lote bajo control, se procederá a demoler el espesor de la losa hidráulica. Estos costos correrán a cargo del contratista.

3.4 Reglamento de Construcción y de los Servicios Urbanos para el Municipio de Morelia

El Reglamento de Construcción y de los Servicios Urbanos para el Municipio de Morelia fue desarrollado por el Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia (IMDUM) en 1994. El documento cuenta con cuatro Títulos, de los cuales el Título Tercero “Normas de Seguridad Estructural” hace referencia a los pavimentos de concreto hidráulico en el Capítulo X “Pavimentos Rígidos”.

La memoria de diseño se presentará ante la Dirección de Obras Públicas y deberá incluir: descripción del método de diseño utilizado, su justificación, los procedimientos de construcción y el comportamiento previsto.

La terracería es la capa de sustentación del pavimento, formada por excavaciones y rellenos que se construyen con material proveniente de la corteza terrestre, extraído ya sea de cortes o de bancos de préstamo. En la sección estructural de la terracerías se distinguen dos capas: cuerpo de terraplén, y la superior, llamada capa de subrasante.

El material que se utilice para la construcción del cuerpo del terraplén, deberá cumplir con lo establecido en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5.- Características del material del cuerpo del terraplén.

Característica	VALOR
Tamaño máximo; mm	1500 ó 1/4 espesor del cuerpo
Contenido de finos; %, máximo	40
Límite líquido; %, máximo	60
Índice plástico; %, máximo	25
Valor Relativo de Soporte %, mínimo	10
Grado de compactación para material con tamaño máximo de 76 mm %	90±2 prueba AASHTO estándar

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)

El material que se emplee en la construcción de la capa subrasante, deberá de cumplir con las características de la Tabla 3.6:

Tabla 3.6.- Características del material de la capa subrasante.

Característica	VALOR
Tamaño máximo; mm	76
Contenido de finos; %, máximo	40
Espesor de la capa, m mínimo	0.40
Índice plástico; %, máximo	25
Valor Relativo de Soporte %, mínimo	20
Grado de compactación %	95 a 100 de su peso volumétrico seco máximo AASHTO estándar

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

Para la construcción de la subbase que sustentará a la losa de concreto, deberán utilizarse materiales cuyas características satisfagan los requisitos indicados a continuación:

- La curva granulométrica deberá quedar comprendida, preferentemente, entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2 de la Figura 3.2:

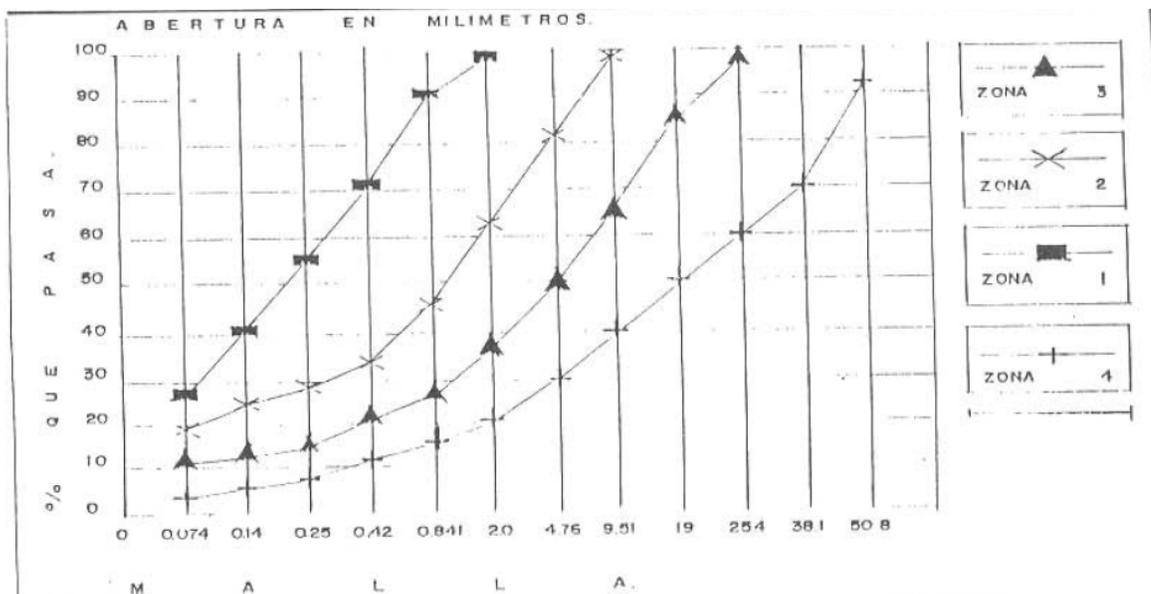


Figura 3.2.- Zona de Especificaciones Granulométricas. (Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

- b. El tamaño máximo de las partículas deberá ser de 51 mm, (deseable 37.5 mm).
- c. Los valores del límite líquido, contracción lineal y valor cementante, serán los indicados en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7.- Valores de algunas características de acuerdo a la granulometría del material.

Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría		
	1	2	3
Límite líquido, % máximo	30	30	30
Contracción, % máximo	4.5	3.5	2.0
Valor cementante para materiales angulosos, kg/cm ² mínimo	3.5	3.0	2.5
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, kg/cm ² mínimo	3.5	4.5	3.5

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

- d. El módulo de reacción (k) deberá satisfacer los siguientes requisitos:
 - a) En caminos:
 - Con tránsito hasta de 1000 vehículos pesados al día 10 kg/cm³ mínimo.
 - Con tránsito de más de 1000 vehículos pesados al día 12 kg/cm³ mínimo.
 - b) En patios y plataformas
 - Con tránsito de camiones con peso total de hasta 20 Ton. 10 kg/cm³ mínimo.
 - Con tránsito de camiones con peso total mayor de 20 Ton. 12 kg/cm³ mínimo.
- e. El equivalente de arena y el índice de durabilidad deberá cumplir con lo indicado en la Tabla 3.8 y Tabla 3.9:

Tabla 3.8.- Equivalente de arena e Índice de ductibilidad en caminos.

Intensidad de tránsito ambos sentidos	En caminos	
	En equivalente de arena	Índice de ductibilidad
Hasta 1000 vehículos pesados por día	30 Mín	35 Mín
Más de 1000 vehículos pesados por día	50 Mín	40 Mín

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994)

Tabla 3.9.- Equivalente de arena e Índice de ductibilidad en patios y plataformas.

Peso total de camiones	En patios y plataformas	
	En equivalente de arena	Índice de ductibilidad
Hasta 20 toneladas	35 Mín	35 Mín
Más de 20 toneladas	50 Mín	40 Mín

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

- f. El grado de compactación de la capa deberá ser del 100% para carreteras y aeropistas, obtenido mediante la prueba AASHTO modificada.
- g. El espesor mínimo de la capa será de 20 cm.

Sobre la capa de subbase terminada se debe aplicar un riego de impregnación, utilizando producto asfáltico rebajado grado FM-1, a razón de 1.0 y 1.5 lt/m².

El cemento que se utilice en la elaboración de concreto para pavimentos deberá satisfacer los requisitos señalados en el libro 4. Capítulo 4-01-001 de las normas de calidad de la SCT.

La arena para concreto deberá cumplir con las características que se indican a continuación:

- A. La granulometría estará comprendida entre los límites que indica la Tabla 3.10:

Tabla 3.10.- Límites de granulometría del agregado fino.

Límites de granulometría para agregado fino.	
Criba mm (No.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa
9,5 (3/8")	100
4,75 (No 4)	95 - 100
2,36 (No 8)	80 - 100
1,18 (No 16)	50 - 85
0,600 (No. 30)	25 - 60
0,300 (No. 50)	10 - 30
0,150 (No 100)	2 - 10

- B. El módulo de finura no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1.
- C. El contenido de sustancias perjudiciales deberá estar comprendido dentro de las tolerancias de la Tabla 3.11.

Tabla 3.11.- Tolerancias de sustancias perjudiciales en el agregado fino.

Substancias perjudiciales	Porcentaje máximo en peso de la muestra total
Partículas deleznales	1.0
Material que pasa la mall No. 200:	
Concretos sujetos a desgaste	3.0
Concretos de otro tipo	5.0
Carbón y lignito:	
En concreto aparente	0.5
En otros concretos	1.0

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

- D. No deberá contener impurezas orgánicas en cantidad tal, que produzcan una coloración más oscura que la estándar.
- E. La pérdida por intemperismo acelerado deberá ser:
 - a) Cuando se emplee sulfato de sodio 19% máximo.
 - b) Cuando se emplee sulfato de magnesio 15% máximo.

La grava para concreto deberá satisfacer los requisitos que se fijan a continuación:

A. La composición granulométrica se ajustará a lo indicado en la Tabla 3.12:

Tabla 3.12.- Composición granulométrica del agregado grueso.

Tamaño nominal, mm (Pulg.)	Por ciento en peso que pasa por las mallas												
	100 4"	90 3 1/2"	75 3"	63 2 1/2"	50 2"	37.5 1 1/2"	25 1"	19 3/4"	12.5 1/2"	9.5 3/8"	No 4 4.75	No 8 2.36	No 16 1.18
90,0 a 37,5 (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
63,0 a 37,5 (2 1/2" a 1 1/2")	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
50,0 a 4,75 (2" a No.4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---
37,5 a 4,75 (1 1/2" a No.4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---
25,0 a 4,75 (1" a No.4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---
19,0 a 4,75 (3/4" a No.4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---
12,5 a 4,75 (1/2" a No.4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---
9,5 a 2,36 (3/8" a No.8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
50,0 a 25,0 (2" a 1")	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
37,5 a 19,0 (1 1/2" a 3/4")	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

B. El contenido de sustancias perjudiciales deberá estar dentro de las tolerancias que establece la Tabla 3.13:

Tabla 3.13.- Tolerancias de sustancias perjudiciales en la grava.

Substancias perjudiciales	Porcentaje máximo en peso de la muestra total
Partículas deleznales	0.3
Partículas suaves	5.0
Pedernal como impureza que se desintegra en los cinco ciclos de la prueba de sanidad o aque que tenga una gravedad específica, saturado y superficialmente seco, menor de 2.35	
Condiciones severas de exposición	1.0
Condiciones medias de exposición	5.0
Material que pasa la malla No. 200	1.0
Carbón y lignito:	
En concreto aparente	0.5
En otros concretos	1.0

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

- C. La pérdida por intemperismo acelerado deberá ser:
- a) Cuando se emplee sulfato de sodio 12% máximo.
 - b) Cuando se emplee sulfato de magnesio 18% máximo.
- D. El porcentaje de desgaste determinado mediante la prueba de Los Ángeles” no deberá ser mayor de 50% en peso.

El agua que se utilice en la elaboración de concreto para pavimento deberá satisfacer los requisitos de calidad de materiales señalados por las normas de la SCT.

El proporcionamiento deberá ser fijado y controlado por un laboratorio y variará de acuerdo con las características de los agregados.

Cuando el concreto proceda de planta, deberá transportarse en camiones revoladores o en vehículos apropiados, que no permita pérdida de agua, y deberá descargarse en la obra antes de 30 minutos de haberse hecho la mezcla. El concreto entregado no deberá presentar segregación en los materiales, no se permitirá el empleo del concreto que presente evidencia fraguado inicial.

Para el uso de adicionantes para condiciones especiales de cada trabajo, se requerirá autorización escrita de la Dirección de Obras Públicas, el adicionante deberá ser recomendado por el laboratorio.

La resistencia a flexión del concreto se medirá mediante el módulo de ruptura a la flexión, su valor será fijado y justificado en el proyecto, en función de los parámetros de diseño y no deberá ser menor de 35 kg/cm² a los 28 días.

El concreto deberá trabajarse con revenimientos de 4.0 a 7.5 cms.

El muestro y ensaye de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de pavimentos rígidos, se efectuarán siguiendo los procedimientos descritos en el tomo “Control de Aseguramiento de Calidad” de las normas de la SCT.

En vías destinadas a servicio pesado, el acero longitudinal de refuerzo no serán menor del calibre 6.3 mm. En caso de mallas de varillas corrugadas, el diámetro mínimo de las varillas deberá ser de N° 3.

Para el refuerzo transversal se debe considerar lo siguiente:

1. El refuerzo transversal de acero deberá diseñarse para desarrollar un esfuerzo a la tensión comparable de la resistencia total de las barras de sujeción en las juntas longitudinales en pavimentos de dos o más bandas.
2. El diámetro mínimo de los elementos deberá ser del calibre 5.7 mm, para mallas de varillas soldadas el diámetro mínimo de varillas transversales deberá ser de 6.3 mm.
3. Para obtener una soldadura satisfactoria la diferencia de diámetro entre los alambres longitudinales y transversales no deberá ser mayor de seis números de calibres.

En el espaciamiento máximo del refuerzo se tienen lo siguiente:

1. Para malla de alambre soldados, el espaciamiento de los alambres longitudinales no deberá ser mayor a 15 cm, y el de los alambres transversales 30 cm.
2. Para malla de varillas soldadas el espaciamiento de las varillas longitudinales no deberá ser mayor de 37.5 cm, y el de varillas transversales 75 cm.

El refuerzo se localizara a una profundidad no menor de 5 cm, ni mayor a un tercio del espesor desde la parte superior de la losa.

El acero de refuerzo de las losas de concreto deberá satisfacer los requisitos señalados en el capítulo II del tomo VII de las normas de la SCT.

La longitud de las losas estará determinada en el proyecto, en función de la localización de las juntas de expansión. En pavimentos de concreto no reforzado, la longitud máxima de la losa será de 6 metros y deberán proyectarse de tal forma que la relación largo/ancho éste comprendida entre 1.0 y 1.5. En pavimentos de concreto reforzado el espaciamiento para juntas de expansión varían entre 12 y 30 metros.

El ancho de las losas se fijará en el proyecto en función del ancho del pavimento, pero nunca serán mayores de 3.70 metros.

El espesor de la losa deberá ser fijarse y justificarse en el diseño del pavimento, en función de las características del concreto, de la capa de soporte de la losa y del tránsito esperado.

Las juntas de expansión deberán disponerse de acuerdo al dimensionamiento longitudinal de las losas, fijado en proyecto. El ancho del espacio para expansión depende de los detalles de diseño y tendrán como máximo 25 mm.

Es necesario colocar dispositivos de transmisión de carga en las juntas de expansión, los extremos libres de las pasajuntas deberán penetrar en un casquillo metálico adecuado que permita el movimiento de la pasajunta dentro del concreto durante el ciclo de expansión. La holgura del casquillo deberá ser equivalente al ancho de la junta de expansión más 6 mm.

En las juntas de ranura, la profundidad de la ranura superficial será no menor de un sexto ni mayor de un cuarto del espesor de la losa. En las juntas de ranura es necesaria la colocación de dispositivos mecánicos para transmitir la carga.

Las juntas ensambladas deberán construirse en forma machihembrada.

Las juntas en intersecciones con otras calles y en el contacto con obras de drenaje, deberán construirse juntas de expansión.

Los dispositivos para transmisión de cargas son las pasajuntas, en la Tabla 3.14 se presentan los requerimientos mínimos para pasajuntas en losas de diferentes espesores, así como los espaciamentos recomendados.

Tabla 3.14.- Requerimientos mínimos para pasajuntas en diferentes espesores de losa.

Tipo y grado de acero	Esfuerzo de trabajo kg/cm ²	Espesor del pavimento cm	Barras No. 4			Barras No. 5				
			Longitud total cm	Esparcimiento cm			Longitud total cm	Esparcimiento cm		
				Ancho de banda				Ancho de banda		
				3 m	3.30 m	3.60 m		3 m	3.30 m	3.60 m
Acero grado estructural de lingote o de eje	1500	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	1900	15	60	120	120	120	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	112
Acero de riel o de lingote o de eje, grado rudo	2300	15	68	120	120	120	83	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	112

(Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia, 1994).

Los materiales para rellenar las juntas y los accesorios que se empleen en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, deberán ser fijados en el proyecto.

El colado de la losa deberá efectuarse, preferentemente, de forma continua, debiendo plantearse las juntas transversales, efectuando una ranuración con máquina cortadora de disco de diamante, en el momento en que el concreto haya endurecido lo suficiente para que no quede marcado el paso de la máquina en la losa y que se logre un corte sin que ocurran despostillamientos en los bordes.

Durante el colado se deberá dar al concreto un correcto acomodo, utilizando equipo vibrador adecuado: asimismo, una vez terminada la losa, deberá aplicarse un proceso de curado, empleando alguna membrana conservadora de humedad.

Entes de proceder a ejecutar los trabajos de pavimentación, se deberán solucionar en forma satisfactoria los aspectos relativos al drenaje de la obra vial.

4. Análisis de Procedimientos Constructivos de Pavimentos de Concreto Hidráulico con Juntas.

Un pavimento de concreto hidráulico bien construido con un deficiente diseño es probable que tenga un mejor comportamiento que un pavimento mal construido con un diseño adecuado. (Rollings, 2001)

Los procedimientos constructivos empleados en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico tienen una vital importancia, ya que el empleo de procesos constructivos ineficientes conducen a reducción de la vida del pavimento, por lo cual el pavimento presenta deterioros prematuros, reduciendo el nivel de servicio y originando que requiera mantenimientos anticipados.

En este capítulo se realizará un análisis de los procedimientos constructivos adecuados que se deben emplear en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico tipo JCP.

4.1 Planeación

La construcción de un pavimento de concreto debe ser el resultado de una gran cantidad de actividades llevadas a cabo en tiempo y forma, de acuerdo a una planeación minuciosa de actividades a realizar.

Una buena planeación es indispensable para la ejecución de los trabajos que se deben realizar en la construcción de un pavimento de concreto hidráulico. Cuando se va a construir un pavimento en vialidades urbanas, a diferencia de un pavimento en una carretera, se incrementan los factores a considerar para realizar la planeación de los trabajos. En la construcción de pavimentos en vialidades urbanas se consideran agentes externos como:

- Accesos existentes y sus condiciones.
- Horas de mayor afluencia vehicular.
- Señalamiento.

Por ejemplo, si en la pavimentación se está utilizando concreto hidráulico premezclado, éste debe llegar en el momento preciso, para ello debe planear la ruta, considerando las horas pico, escuelas, hospitales, vías férreas, condiciones y dimensiones de las vialidades etc.

Es muy importante tener amplia comunicación con todos los elementos que influyen en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, como lo son supervisores, residentes de obra, proveedores, operadores, oficiales, peones, etc., a fin de coordinar los trabajos, ya que la falta de comunicación puede llevar a problemas en la calidad de la ejecución de los trabajos, así como retrasos en el programa de obra.

4.2 Elaboración de concreto hidráulico

Para la elaboración del concreto hidráulico es importante conocer las características de los bancos de materiales disponibles en la zona, de igual forma, debe encontrarse la ubicación de la planta de mezclado central, de manera que se minimicen los acarreos de los agregados y del concreto hidráulico elaborado.

La calidad del concreto no solo depende de la calidad de los componentes del concreto, también depende de los equipos y métodos empleados para su elaboración.

4.2.1 Cemento

El cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado compuesto principalmente de silicatos hidráulicos de calcio, el cual al agregarle agua tiene la propiedad de fraguar y endurecer, esto es debido a la reacción química con el agua (hidratación), una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad. Todo el cemento se debe almacenar en las estructuras de ventilación adecuada a la intemperie para evitar la absorción de humedad. (ACI-304-00, 2000).

4.2.2 Agregados

Los agregados empleados en la elaboración del concreto hidráulico constituyen aproximadamente del 60 al 75% del volumen del concreto, por lo que su selección es muy importante, ya que deben cumplir con los criterios de calidad que se establezcan en cada proyecto en particular. (Steven H. Kosmatka, 2004).

4.2.3 Agua

El elemento más difícil de controlar es el agua, ya que un pequeño incremento o decremento de la cantidad de agua puede afectar en gran medida la apariencia y el desempeño del pavimento. (Jack A. Scott, 1999)

4.2.4 Medición y dosificación.

La correcta elaboración de un concreto depende en gran medida del equipamiento del cual se dispone en la obra. Los dispositivos de dosificación deben garantizar la determinación exacta de las proporciones requeridas de los componentes: cemento, agregados, agua y aditivos.

En la Tabla 4.1 se muestran las tolerancias típicas de dosificación de componentes del concreto hidráulico.

Tabla 4.1.- Tolerancias típicas de dosificación de componentes del concreto hidráulico.

Ingredientes	Tolerancias
Cemento (peso)	± 1%
Agregados (peso)	± 2%
Agua (peso o volumen)	± 1%
Aditivos	± 1%

(Elaboración propia)

4.2.4.1 Agregados

Los agregados se deben dosificar por peso, dosificar por volumen no debe ser permitido. En obras pequeñas se acostumbra dosificar por volumen empleando como

medida los botes y carretillas. La dosificación por peso permite ajustar y compensar considerando el contenido de humedad que tiene el agregado. (302 1R-96).

4.2.4.2 Agua

El agua se puede dosificar por peso o por volumen. En muchos casos se le incorpora agua de más a la mezcla para mejorar la trabajabilidad del concreto hidráulico. Cuando se emplea una cantidad de agua mayor a la que se establece en el diseño de la mezcla, el exceso de agua provoca que se diluya la pasta de cemento, reduciendo la resistencia del concreto y favorece la segregación y formación de huecos.

4.3 Mezclado

Actualmente se cuenta con dos formas de elaborar el concreto hidráulico:

- Fabricado en planta.
- No fabricado en planta.

4.3.1 Concreto hidráulico fabricado en Planta

Es la forma más recomendable. Requiere disponer de una planta de concreto y de un servicio de control de calidad de producción. Así se consigue una gran homogeneidad y uniformidad de las masas de concreto. El concreto fabricado en planta puede ser: (ASTM-C-94-04, 2004).

- Concreto mezclado en planta central.
- Concreto mezclado en dos fases: En planta y en tránsito.
- Concreto mezclado en camión.

Cuando el concreto es mezclado en una planta central, los ingredientes se dosifican y se cargan en una mezcladora estacionaria. El concreto hidráulico que se obtiene se

considera listo para su aceptación. En el concreto mezclado en dos fases primero se mezcla parcialmente en una planta central y luego se termina de mezclar en un camión mezclador.



Figura 4.1.- Concreto hidráulico fabricado en planta central.

En el concreto hidráulico elaborado por medio de un camión de mezclado de concreto hidráulico, los ingredientes se dosifican y se cargan directamente en el camión, dentro del cual se realiza la mezcla del concreto hidráulico. En este caso el controlador del camión es el responsable de la mezcla del concreto hidráulico. Para utilizar el concreto hidráulico se debe esperar hasta que el equipo complete la mezcla del concreto hidráulico, mas sin embargo el tiempo entre mezclado y descarga completa del concreto en la obra no debe ser mayor de una hora y media, o antes de que el camión haya logrado 300 revoluciones. (Steven H. Kosmatka, 2004).

4.3.2 Concreto no fabricado en Planta

Es la fabricación en mezcladoras en obra. Su empleo no es aconsejable salvo en obras de poca importancia, por las grandes dispersiones que resultan de este tipo de preparación. Pero aun así es un sistema muy utilizado en la construcción común en nuestro medio.

A veces las operaciones son efectuadas con sistemas poco adecuados como son los de dosificación por volumen. En este sistema la medición de los agregados se hace por volúmenes aparentes, con poca precisión, sin tener en cuenta su contenido de humedad, la cantidad de agua se estima según la apreciación visual de la

consistencia y trabajabilidad. El cemento es fácilmente medible en peso, cuando se usa envasado en bolsas de 50 kg., por lo que es común referir los volúmenes de los agregados a la unidad de un bulto. El equipo que comúnmente se emplea para la fabricación de concreto hidráulico en obra es la revolvedora, las cuales tienen capacidades de 200 a 400 litros (uno o dos sacos).

4.3.3 Tiempo de mezclado

Las materias primas deben mezclarse de forma que se consiga una mezcla uniforme y homogénea, de forma que el material pétreo quede recubierto de la pasta de cemento. El tiempo requerido para el mezclado se debe basar en la capacidad de la mezcladora para producir concreto uniforme durante la mezcla. El tiempo de mezclado se mide desde el momento en que todos los ingredientes han sido colocados a la mezcladora. (ACI-304-00, 2000).

4.4 Transporte del concreto hidráulico.

El transporte del concreto, desde la planta a la obra, puede efectuarse en equipos adecuados que sean capaces de mantener la homogeneidad del concreto. Los equipos que se utilizan para el transporte del concreto hidráulico son los siguientes:

- Camión mezclador.
- Camión agitador.
- Camión no agitador.

El concreto elaborado debe ser transportado lo más velozmente posible desde la planta a la obra. El concreto debe ser usado rápidamente para poder conservar su calidad. Los equipos para el transporte deben ser capaces de descargar el concreto sin causar segregación.

Si el concreto es transportado por camión mezclador, es necesario que éste sea mezclado al momento del arribo por 1-2 minutos (20 revoluciones al menos) antes de

ser descargado. (Commonwealth of Pennsylvania Department of Transportation, 2015)

Debe seleccionarse con cuidado el equipo para mover el concreto desde su punto de entrega hasta su lugar en la obra terminada. Las características de la mezcla no deben ser regidas por el equipo, por el contrario, el equipo debe tener la capacidad de manejar, mover y descargar en forma libre el concreto con el revenimiento, contenido de arena, tamaño máximo de agregado o proporciones de la mezcla que se consideren adecuados.

Cualquiera que sea la forma de transporte, deben cumplirse las siguientes condiciones:

Durante el transporte no deben segregarse los pétreos gruesos, lo que provocaría en el concreto hidráulico pérdidas de homogeneidad y resistencia. Deben evitarse las vibraciones y choques, así como un exceso de agua, que favorecen la segregación. Los pétreos rodados son más propicios a segregarse que los triturados, dado el mayor rozamiento interno de estos últimos. La agitación del concreto mientras se está moviendo reduce la segregación y permite que transcurra más tiempo entre el mezclado y el vaciado. La sacudida o vibración excesivas sin agitación tiende a segregar el concreto.

Debe evitarse, en lo posible, que el concreto se seque durante el transporte. La pérdida de revenimiento es causada por el aumento en la temperatura del concreto y por el secado, así como por la pérdida de lechada. La mejor manera de evitar este secado es si se maneja el concreto en forma inmediata, se protege contra el sol y el viento y si se pintan los recipientes expuestos al sol de blanco brillante, si el concreto se ha de mantener en ellos por más de un corto tiempo. Si un vehículo no puede ser descargado en el momento de su arribo a la obra, debe esperar en un lugar protegido (a la sombra o bajo techo). Si al llegar al lugar de colocación el concreto muestra un principio de fraguado, la masa debe desecharse y no ser puesta en obra.

Se deben mantener los camiones limpios en todo momento, no debe existir acumulación de concreto hidráulico endurecido en el interior, ya que este puede desprenderse e incorporarse en la mezcla de concreto hidráulico. Una forma rápida de comprobar si existe acumulación de concreto es pesar los camiones de forma periódica. (American Concrete Pavement Association, 1996).

4.5 Tipos de pavimentaciones

De acuerdo al proceso constructivo empleado en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Pavimentación con cimbra fija.
- Pavimentación con cimbra deslizante.

4.6 Pavimentación con cimbra fija.

Este tipo de pavimentación se utiliza en calles de zonas urbanas, caminos locales, aeropuertos y zonas complicadas de corta longitud con anchos variables.

Existe una gran cantidad de factores críticos implicados en la construcción de un pavimento de concreto. El más importante es la implementación de una red de comunicación. Todos los involucrados deben tener la información disponible en el momento oportuno para llevar a cabo su función.

4.6.1 Cimbra

La cimbra fija es el molde que determina el espesor del pavimento, la anchura y la planicidad de la superficie. La manera más eficiente de colocar el concreto en áreas grandes es haciendo tiras largas y no se recomienda colocar el concreto utilizando la secuencia de tablero de ajedrez, debido a que requiere más tiempo, más material de cimbra y usualmente resulta en superficies menos regulares con mala transferencia de carga en las juntas.

El tipo de cimbra a utilizar esta en función del equipo de pavimentación y del proceso de pavimentación a utilizar. A veces los carriles adyacentes, banquetas o bordillos actúan como la cimbra lateral, en esos casos se debe asegurar que no haya irregularidades en el bordo y en la parte superior del pavimento, de igual forma se debe mantener limpio.

Las especificaciones típicas de las cimbras fijas (American Concrete Pavement Association, 1996) son:

- Cada sección de la cimbra está hecha usualmente de metal de al menos 5.6 milímetros de espesor y 3 metros de longitud.
- La profundidad de la cimbra debe ser igual al espesor del pavimento.
- La anchura de la base de la cimbra debe proporcionar la estabilidad necesaria para soportar el empuje de la mezcla del concreto hidráulico.
- Los apoyos de la cimbra deben extenderse sobre la base no menos de 2/3 de la profundidad de la cimbra.
- Todas las cimbras deben permitir la unión con cimbras adyacentes, esta unión debe ser firme y estar al ras cuando están en posición.
- Para un ajuste seguro, las cimbras se deben estacar con un mínimo de dos pasadores de fierro por cada 3 metros.
- Las cimbras deben ser limpiadas y engrasadas antes de usarse.

Dependiendo del tipo de cimbra las especificaciones serán diferentes, pero generalmente la parte superior de la cimbra debe tener una superficie perfectamente plana no deben variar por más de 3 milímetros en 3 metros, cualquier variación puede ser detectada con una regla o una línea de referencia. La cara de la cimbra no debe variar por más de 6 milímetros en 3 metros considerando una línea plana.

Una vez colocada la cimbra debe evitarse el movimiento de está, ya que cualquier movimiento de la cimbra hacia arriba o hacia abajo resultará en un pavimento en mal estado. Se deben reciclar o desechar cualquier cimbra que este doblada o torcida.

En las vueltas en las calles o en curvas cerradas se utiliza cimbras flexibles metálicas o de madera con requisitos similares a la cimbra de la línea principal de la pavimentación.

El ajuste de la cimbra es un paso crítico de la construcción, la cimbra debe ser fijada con precisión y se debe apoyar de manera uniforme sobre una base sólida. La lisura del acabado del pavimento depende del cuidado con el que la cimbra es colocada, debido a que el equipo del acabado se mueve sobre la cimbra. La alineación y elevación adecuada de la cimbra contribuirá a un pavimento liso. Antes de colocar la cimbra, deben ser inspeccionadas individualmente para determinar si cumplen o no con los requisitos especificados.

Los pasadores deben tener la longitud suficiente para sujetar la cimbra en su lugar durante la colocación y el acabado del concreto hidráulico, estos pasadores deben ser revisados regularmente para evitar cualquier movimiento causado por algún equipo o personal que se mueva sobre la cimbra.

Si hay alguna cimbra que se encuentre por encima de la línea de referencia, deberá ser acomodada o recortada para que coincida con la línea de referencia, por otro lado, si se encuentra por debajo de la línea de referencia se debe remover la cimbra y escarificar la base, se puede utilizar una cama firme de agregados triturados finos para llenar los puntos bajos y colocar la cimbra de acuerdo a la línea de referencia.

Una vez colocada la cimbra se debe revisar que cumplan con las especificaciones, líneas y niveles. La forma más rápida y simple es realizar una inspección visual, se debe apreciar que la cimbra sea recta y la parte superior lisa, la mayor parte de las desviaciones se pueden apreciar fácilmente. Se puede utilizar un nivel para comprobar los errores que pudiera haber. Se debe comprobar el ancho de la calzada entre las cimbras para asegurar que se ajusta a lo establecido en el proyecto. En caso de haber una sección que este fuera de línea se debe restablecer inmediatamente.

Se debe engrasar la cimbra antes de la colocación de las barras de amarre para evitar que las barras de amarre se cubran de grasa y no exista adherencia entre el concreto hidráulico y las barras de amarre.

En los proyectos urbanos se deben considerar drenajes pluviales, pozos de visita para el drenaje sanitario, registros de cables eléctricos, de teléfono, registros de conexiones de válvulas de agua, etc. Todos estos espacios de deben de considerar para el ajuste de la cimbra y para su posterior pavimentación. Todos estos tipos de estructuras, dependiendo de su tamaño y de su ubicación, pueden requerir de una junta especial con la losa para evitar el agrietamiento aleatorio.

Se debe de tener especial cuidado en que los equipos que trasladan el concreto hidráulico no muevan la cimbra, la cantidad de concreto que se suministre debe ser la necesaria para mantener las operaciones de pavimentación a un ritmo adecuado para su colocación y su acabado superficial.

Tener un buen paseo sobre la cimbra depende de varios factores entre ellos:

- Una base uniforme, compactada y humedecida antes de la colocación del concreto hidráulico.
- Buena compactación en la línea de cimbra.
- Cimbra que cumpla con las especificaciones.
- Colocación adecuada de la línea de referencia, colocación de la cimbra engrasada.
- Construcción apropiada de la cimbra para pozos de visita, registros, etc.
- La colocación adecuada de las canastillas para las pasajuntas.
- Un buen proveedor de concreto hidráulico y una buena comunicación.
- La entrega oportuna del concreto hidráulico, así como la colocación correcta de la mezcla, evitar el exceso de pilas.
- Mover el excedente de concreto hidráulico con palas o rastrillos, nunca utilizar vibradores para desplazar el concreto hidráulico. Tener especial cuidado en la colocación del concreto hidráulico sobre las canastillas.
- Vibración y consolidación adecuada. Tener especial cuidado en la vibración cerca de la cimbra y sobre las canastillas.

En el caso de que se construya otro carril adyacente, se deben colocar barras de amarre para proporcionar una transferencia de carga entre los carriles adyacentes.

Las barras de amarre se deben colocar a la elevación indicada en proyecto formando un plano horizontal y deben ser perpendiculares a la junta longitudinal. Se deben asegurar por medio de soportes que eviten algún desplazamiento cuando se va colocando el concreto hidráulico.

4.6.2 Colocación de pasajuntas

Las barras pasajuntas son dispositivos más utilizados para la transferencia de carga a través de juntas transversales en los pavimentos de concreto hidráulico (Snyder, 2011). Estas pueden ser colocadas por medio de canastillos (Figura 4.2). El canastillo sirve para sostener las barras durante el transporte, la manipulación y principalmente durante el colocado del concreto. Se recomienda fijar la canastilla a la base por medio de estacas de acero de un diámetro mínimo de 3/8", estas estacas deben fijarse a la base a una profundidad mínima de 10 cm para bases tratadas y 25 cm para bases no tratadas. Las pasajuntas deben ser ligeramente recubiertas con grasa o algún otro material en toda su longitud para evitar la unión de la pasajunta con el concreto hidráulico, se debe emplear una capa fina ya que un recubrimiento grueso puede dar lugar a grandes huecos alrededor de la pasajunta en el concreto hidráulico.

Barras desalineadas tanto en el sentido vertical como el horizontal pueden incidir en la aparición de fisuras transversales.

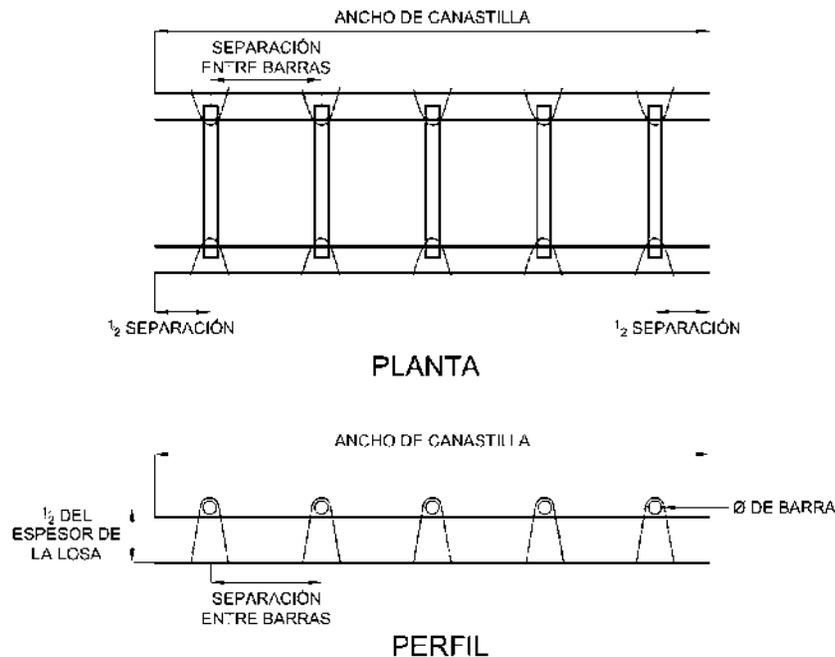


Figura 4.2.- Armazones de barras de pasajuntas (Canastillas). (Elaboración propia)

4.6.3 Colocación del concreto hidráulico

Es esencial que el concreto hidráulico se descargue, se consolide y termine de manera uniforme, para eliminar la segregación o densidades no uniformes. La uniformidad es la clave para la colocación, consolidación y acabado del pavimento de concreto hidráulico con cualquier equipo o método de pavimentación empleado.

Antes de la colocación del concreto hidráulico se debe revisar que el sitio esté preparado para recibir el concreto hidráulico, para ello se deben realizar las siguientes acciones:

1. Limpiar cuidadosamente el sitio de colocación, eliminando los elementos sueltos, los restos de lechada de cemento, etc.
2. Verificar la compactación, y humedecer el mismo.
3. Verificar la impermeabilidad de dicho sitio, para evitar pérdidas de agua de la mezcla, inclusive las pérdidas por absorción de la cimbra.

4. Aplicar desmoldante, cuando sea necesario, que recubran uniformemente y sin exceso toda la superficie de la cimbra, evitando contaminar las armaduras, los elementos embebidos y el concreto ya colocado.
5. Preparar las juntas.
6. Se deben revisar las líneas de referencia.
7. Se debe verificar el espesor de la losa, esto se puede realizar por medio del arrastre de un perfil metálico a lo largo del sitio preparado, con este trabajo se verifica el excedente de la capa de soporte que podría hacer que el espesor de la losa sea menor. Al mismo tiempo se comprueba que donde falta material de la capa de soporte, cuidando el aspecto económico de la obra.
8. Se debe realizar una inspección final, antes de la colocación del concreto.

El uso excesivo de agua en el sitio de colocación no debe permitirse, ya que este exceso será absorbido por la mezcla de concreto, lo cual resulta en una alta relación de agua-cemento reduciendo su resistencia y durabilidad.

No se debe comenzar la colocación del concreto si es que existe posibilidad de temperaturas de congelación. La velocidad de fabricación del concreto debe ir en relación con la capacidad del equipo de trabajo y la mano de obra utilizada para la colocación y procesos de terminado. Las medidas de curado deben estar listas en el momento preciso.

Los siguientes elementos son clave en la colocación del concreto hidráulico.

- Se debe asegurar que el concreto se coloca y se extiende de forma uniforme. Una vez colocado el concreto hidráulico se debe mover por medio de palas y rastrillos, nunca se debe utilizar los vibradores de mano para desplazar el concreto hidráulico ya que estos pueden separar la mezcla.
- Revisar que la vibración sea la adecuada sobre toda el área de la pavimentación para obtener una consolidación adecuada.
- Asegurarse que el equipo de compactación se va moviendo sobre la cimbra.
- Para obtener el acabado en áreas irregulares y pequeñas se emplean flotadores de cadmio.

4.6.4 Compactación

Si se permite que el concreto endurezca sin haber aplicado ningún tipo de compactación, este sería débil, poroso, tendría mala adherencia con el refuerzo, no sería uniforme y tendría un mal aspecto (ACI-309-05, 2005). El objetivo de la compactación es de remover las burbujas de aire en la mezcla, induciendo a las partículas sólidas, del concreto recién mezclado, a reacomodarse de manera que se alcance su posición de máxima densidad. La mala compactación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad y además propicia la corrosión temprana del acero.

El método más utilizado para la compactación es la vibración. Esta puede ser interna (vibradores aguja), de superficie (reglas vibratorias), externa (vibradores para la cimbra), o una combinación de estas. La compactación por vibración consiste en dos partes, la primera consiste en el asentamiento del concreto, y la segunda en la desaereación (remover las burbujas de aire atrapadas).

Cuando se comienza la vibración, los impulsos causan un movimiento rápido y desorganizado de las partículas de la mezcla dentro del radio de influencia del vibrador con lo cual la mezcla llega a ser inestable, y busca una condición más densa. Al terminar esta primera etapa, se han eliminado los vacíos grandes entre partículas de agregado grueso y ahora se llenan de mortero. Sin embargo, el mortero todavía contiene muchas burbujas de aire ocluido, que ocupan un buen porcentaje del volumen del concreto. Después de realizar la compactación a un punto donde el agregado grueso queda suspendido en el mortero, la agitación adicional de la mezcla por vibración hace que las burbujas de aire salgan a la superficie, concluyendo así el proceso de compactación. (ACI-309-05, 2005).

La acción de los vibradores depende, entre otros factores, de su frecuencia de vibración. Las bajas frecuencias (1500 a 2000 ciclos por minuto) ponen en movimiento los pétreos gruesos y necesitan mucha energía; las frecuencias medias (3000 a 6000

ciclos por minuto) ponen en movimiento los finos y requieren menos energía; y las altas frecuencias (12000 a 2.000 ciclos por minuto) afectan al mortero más fino y requieren poca energía, con ellos, el mortero se vuelve líquido y ejerce el papel de lubricante, facilitando la colocación de los pétreos en posición de máxima densidad. Los vibradores de superficie disponen de una bandeja a la que está sujeto el vibrador, la cual se mueve por la superficie del concreto hasta conseguir una apariencia húmeda y brillante en toda ella.

Para una buena compactación del concreto se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El vibrado debe aplicarse de manera metódica para cubrir todas las áreas inmediatamente después de que se deposita el concreto.
- En el vibrador de aguja, la aguja debe introducirse verticalmente en la masa de concreto, hasta que la punta penetre en la capa subyacente; debe ser en forma rápida, y después de haberla dejado un breve tiempo debe retirarse con lentitud, para que el hueco que se crea a su alrededor se cierre por completo.
- Los vibradores no se deben utilizar para mover el concreto lateralmente.
- La distancia entre los puntos de inmersión de la aguja debe ser aproximadamente 1.5 veces el radio de acción, y debe ser tal que los campos de acción se superpongan ligeramente.
- Es necesario suspender la vibración cuando en la superficie se forma un sutil estrato de mezcla fina y las grandes burbujas de aire comienzan a aflorar de modo esporádico.
- Es mejor vibrar en muchos puntos durante poco tiempo que en pocos durante más tiempo.
- Debe continuarse la vibración hasta que el concreto se aplane y adquiera un aspecto brillante y deje de subir el aire atrapado. El concreto vibrado en demasía tendrá mortero en exceso en la parte superior y un aspecto espumoso.
- No debe permitirse que los vibradores golpeen la cimbra, ya que éstos pueden dañarse, lo que da por resultado un feo desperfecto sobre la superficie del concreto, así como daño en la cimbra en sí.

Hay tres principales tipos de vibradores superficiales: reglas vibratorias, placas vibratorias y rodillos vibratorios.

4.6.5 Texturizado

El texturizado del pavimento se compone de dos partes, el microtexturizado y el macrotexturizado. El microtexturizado se logra pasando una rastra de texturizado de tela de yute o de algodón húmedo a lo largo del concreto hidráulico una vez que se tiene un buen afinado y que la superficie está seca, de forma que permita la presencia de granos de arena después del paso de la tela. Se debe controlar la humedad de la tela, el tiempo de aplicación y la velocidad de aplicación. La presencia de burbujas de agua detrás del paso de la manta indica que se tiene un exceso de humedad, más sin embargo, la falta de humedad causa levantamiento de concreto. El tiempo de aplicación debe ser al cambio de tono del concreto hidráulico de brillante a mate y la velocidad de aplicación no debe levantar el concreto hidráulico. La dimensiones de la rastra serán tales que proporcione una franja de contacto de cuando menos un metro de ancho sobre la superficie del pavimento. (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006).

Es importante realizar limpieza de forma que no tenga fragmentos de concreto hidráulico adheridos, el tejido debe ser continuo y no se debe coser tramos de yute para alcanzar la longitud. El pasto sintético puede ser utilizado en lugar de la tela de yute.

El macrotexturizado permite una rápida evacuación de agua de la superficie del pavimento, evitando el hidroplaneo y reduce las proyecciones de agua. El macrotexturizado se logra al pasar un peine metálico en sentido transversal al eje del camino,. El tiempo de aplicación, la profundidad del texturizado y la separación de las cerdas se deben de tomar en cuenta para un adecuado texturizado. El macrotexturizado se aplica después del microtexturizado, si no se realiza en el tiempo adecuado y se aplica tarde requiere de una mayor presión o profundidad, lo que terminaría sacando agregado del concreto hidráulico y dejando un mal acabado. La

profundidad de las cerdas debe quedar entre los 3 milímetros y los 5 milímetros, con un ancho de 3 milímetros y un espaciado de 12 a 20 milímetros (American Concrete Pavement Association, 1996). El equipo utilizado para el macrotexturizado debe estar limpio y en buen estado, de forma que los dientes del peine estén bien alineados y el texturizado sea uniforme.

En caso de lluvia, se deben tener hojas de plástico para evitar daños a la nueva superficie del pavimento de concreto.

El proceso de texturizado debe ser continuo y de manera tal que no se formen “rebarbas” superficiales. La superposición de la texturización debe evitarse, ya que las ranuras resultantes serán extremadamente frágiles. La clave está en aplicar en el momento adecuado (luego de que ha desaparecido el brillo superficial del agua en la losa). El cepillo debe limpiarse de restos de concreto después de cada pasada.

El proceso de terminado y texturizado se deberá realizar antes de que aparezca el agua de sangrado en la superficie, ya que incrementa la posibilidad de fisuramiento. El terminado y texturizado se debe realizar de forma que no se retrase demasiado el proceso de curado, ya que incrementa la posibilidad de fisuramiento.

4.6.6 Curado

El curado es el proceso por el cual el concreto hidráulico madura y va desarrollando propiedades de endurecimiento con el tiempo, como resultado de la continua hidratación del concreto hidráulico en presencia de suficiente agua y calor. (ACI 308R).

La velocidad con la que se lleva acabo el curado depende del medio ambiente y de las medidas tomadas para modificar el entorno. El periodo de curado comienza desde la colocación del concreto y termina cuando el concreto ha desarrollado las propiedades deseadas. El objetivo del curado es evitar la pérdida de humedad del concreto hidráulico. Tiene una influencia significativa en las propiedades del concreto

endurecido como son: Resistencia, Permeabilidad, Resistencia a la Abrasión, estabilidad de Volumen y Resistencias a la Congelación y Deshielo.

El concreto pasa por cambios de volumen en ciclos alternados de humidificación y secado, se contrae al secarse y se expande al humedecerse. Si el concreto se seca y humedece alternadamente cuando está recién vaciado puede presentarse agrietamiento, en especial en la superficie, debido a que la resistencia a la flexión se desarrolla con lentitud. Por lo tanto, el curado debe ser continuo desde el momento en que se ha vaciado hasta que haya alcanzado la calidad deseada, para evitar estos cambios perjudiciales de volumen. El incremento de humedad y el secado alternados pueden hacer más daño que si no se realizara ningún curado en lo absoluto.

El curado debe comenzar, sin importar el método, tan pronto como la superficie no resulte dañada por el procedimiento de curado. La duración e intensidad del curado dependen, fundamentalmente, de la temperatura y humedad del ambiente, así como de la acción del viento y de la exposición directa al sol.

El curado debe proteger al concreto de:

- Agrietamiento plástico debido al viento, al sol, al frío seco.
- Temperaturas extremas (calor – frío y grandes amplitudes térmicas).
- Intemperie.
- Acción prematura de sustancias nocivas como aceites, y otras.

El método aplicado y la duración del curado dependen esencialmente del ambiente circundante y del tipo de concreto. Las distintas condiciones del medio ambiente pueden alterar las propiedades del concreto fresco, lo cual también modificará las propiedades del concreto endurecido. (ACI-308-01, 2001).

Existen tres tipos principales de curado (Poole, 2005):

1. Uso de agua para el curado del concreto hidráulico.

2. Métodos basados en la retención de la humedad.
3. Métodos de compuestos de curado.

Uso de agua para el curado del concreto hidráulico.

Este método debe proporcionar una cubierta completa y continua de agua, que se encuentre libre de materiales nocivos para el concreto hidráulico.

Métodos basados en la retención de la humedad.

Compuestos líquidos formadores de membrana (ASTM-C-309-11, 2011). En el caso de grandes superficies (pavimentos, losas, etc.), el curado por aportación de humedad se sustituye a menudo por el empleo de productos de curado, que protegen la superficie del concreto e impiden la evaporación del agua interna del mismo. Se emplean para ello distintos tipos de recubrimientos a base de aceites, resinas, plásticos, etc. Se aplica en la superficie del concreto fresco, al evaporarse el solvente, estos compuestos dejan una membrana que reduce la evaporación del agua de la superficie del concreto. Estos compuestos se encuentran pigmentados en forma clara, en blanco, gris ligero o negro. Conviene que los productos sean coloreados para poder apreciar su reparto.

Los compuestos de membrana blanca se utilizan cuando las temperaturas ambiente son altas, debido a que el pigmento actúa como reflector evitando la absorción de la energía solar.

Mientras no se han concluido los procesos de curado y endurecimiento del concreto, es necesario evitar cualquier causa externa que pueda agrietarlo, tales como sobrecargas, choques o vibraciones excesivas, originadas por los trabajos de construcción del resto de la obra. Ejemplos típicos de lo dicho son las acumulaciones de material, las vibraciones que originan algunas máquinas auxiliares de obra y los impactos involuntarios que puedan producirse sobre soportes u otros elementos. Los bordes del pavimento deben ser curados tan pronto se quite la cimbra.

4.6.7 Descimbrado

En la mayoría de los casos la cimbra puede ser removida en unas 8 horas si se realiza con extremo cuidado el proceso de remoción de los seguros de la cimbra y el desbloqueo del cimbrado, a la hora de retirar la cimbra no se debe hacer palanca entre el borde de la cimbra y el del concreto hidráulico.

Una vez removida la cimbra se comprueba que la vibración haya sido la adecuada para producir un concreto hidráulico denso y uniforme a lo largo de la línea de la cimbra, si aparecen varios huecos significa que el proceso de vibración del concreto hidráulico no fue el correcto.

La cimbra debe limpiarse inmediatamente después de que se retire, ya que de lo contrario se vuelven difíciles de limpiar, las cimbras sucias se vuelven difíciles de verificar que cumplan con los bordes rectos. La cimbra debe ser tratada con cuidado para que estén listas para el día siguiente de trabajo. Con el manejo apropiado de la cimbra puede tener una duración de años.

4.6.8 Aserrado y sellado de las juntas.

Para evitar problemas en el aserrado y sellado de las juntas es necesario realizar una buena planeación y preparación antes de realizar los trabajos, para ello todas las partes involucradas en el trabajo deben estar bien informados, tener el equipo necesario para realizar el trabajo en óptimas condiciones, comprender cuando, en donde y la forma de llevar a cabo los trabajos, etc.

Una junta es una grieta diseñada, la cual proporciona un plano de debilidad que permite al pavimento agrietarse en los lugares designados, las grietas controladas son más fácil de mantener que las grietas aleatorias.

En sellado de las juntas minimiza la entrada de humedad que propicia la expulsión de finos y materiales no compresibles, tales como piedras pequeñas, las cuales conducen al deterioro del pavimento.

El corte inicial debe realizarse tan pronto el pavimento soporte el paso del equipo sin dejar marcas sobre el pavimento y la sierra no produzca despostillamiento durante el corte. Si el aserrado de la junta se realiza demasiado tarde, se tendrá un agrietamiento descontrolado del pavimento, mientras que si se realiza demasiado pronto, puede dar lugar a desprendimientos y despostillamientos del pavimento (Figura 4.3). El aserrado transversal se debe realizar primero e inmediatamente después el aserrado longitudinal.

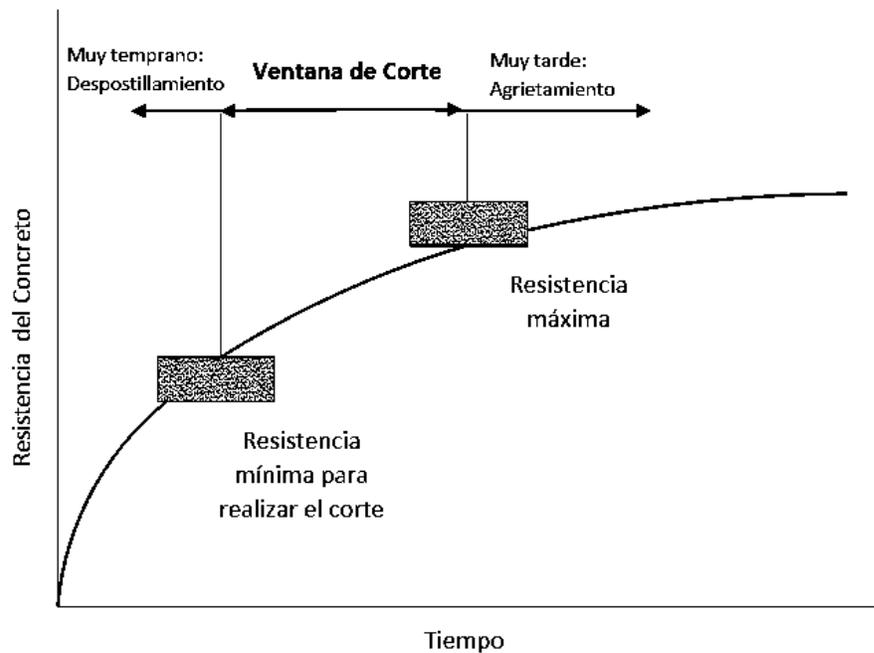


Figura 4.3.-Tiempo para realizar el aserrado de la junta. (Elaboración propia)

El ensanche del corte de la junta es necesaria para dar forma para el material de sellado. El ensanche del corte ofrece un factor de forma que permite que el sellador logre un rendimiento óptimo. El factor de forma es la relación de la profundidad del sellador de juntas para el ensanchamiento del corte de la junta. El factor de forma es especificado para las especificaciones del sellador y el espaciamiento de las juntas.

El corte de la ampliación puede realizarse en el mismo tiempo que el primer corte con la sierra, para ello se debe emplear un diseño especial de la hoja de sierra, de esta forma se realiza el corte inicial y la ampliación en una sola pasada.

La selección de la hoja de sierra apropiada es fundamental para cualquier operación de aserrado. La hoja de corte debe ser compatible con la potencia de salida del equipo, el diseño de la mezcla del concreto hidráulico y las dimensiones de la junta. Los factores de la elección de la lámina de la sierra pueden ser descritos como primarios y secundarios. Los factores primarios son la dureza y abrasión del agregado grueso. Los factores secundarios son el poder del equipo de corte, diseño de la mezcla, la edad del pavimento y la abrasión del agregado fino.

Los tipos de aserrado son aserrado en húmedo y aserrado en seco. El método más común para realizar el primer corte, es el aserrado en húmedo con hojas de sierra de diamante. Las hojas de diamante por lo general requieren de agua para lubricar y enfriar y para proteger el metal que los sostiene. Sin el agua el metal se sobrecalienta y se ablanda, lo que puede causar la pérdida de los diamantes. De igual forma el agua elimina el polvo producto del aserrado del concreto hidráulico.

Los tipos de sierras para pavimentos se clasifican generalmente por la potencia del motor, también se pueden clasificar en pequeñas, medianas y grandes. Estas a su vez pueden ser autopropulsadas o de empuje. El tipo de sierra a utilizar debe coincidir con la aplicación y la producción requerida.

Una vez realizado el aserrado inicial, las juntas deben limpiarse con agua para evitar que los residuos del aserrado se queden en la junta, si se dejan los residuos pueden impedir la expansión y contracción de la junta durante los cambios de temperatura, o hacer que sean difícil de limpiar antes de colocar el material de sello.

La localización de las juntas antes de la colocación del concreto hidráulico es un factor crítico para evitar errores antes de comenzar con el aserrado, especialmente cuando se utilizan mecanismos de transferencia de carga. Se deben de marcar puntos de control en ambos lados lejos del borde del pavimento, y evitar que los puntos sean borrados o movidos durante la pavimentación. No se debe confiar en marcas hechas sobre la cimbra, debido a que la cimbra puede ser removida antes de realizar el aserrado o que se pueda borrar.

Determinar el momento adecuado para el aserrado es un factor crítico, el cual requiere de un buen juicio y experiencia, el ensayo del rayado es una de las pruebas

más sencillas para ayudar a determinar el momento oportuno para realizar el aserrado de la losa, esta prueba requiere rayar la superficie del pavimento con alguna herramienta, por ejemplo un clavo, una navaja, para observar las marcas y la profundidad que deja en la superficie del pavimento. Mientras más dura sea la superficie del pavimento, menor será la marca que deje el rayado, si el rayado elimina la textura de la superficie, es muy pronto para comenzar con el aserrado ya que podría presentar problemas de desprendimiento.

Otro indicador que se puede utilizar como referencia para realizar el aserrado de la losa es la tasa de incremento de la temperatura del concreto hidráulico. Cuando la temperatura del concreto hidráulico está en lo más alto, la losa presenta la expansión máxima, el aserrado de la losa debe iniciarse antes de que el concreto hidráulico se enfríe de manera significativa. Se puede colocar un termómetro en la superficie del concreto hidráulico para medir los cambios de temperatura.

Las condiciones climáticas como la temperatura ambiental, el viento, la humedad, además de otros factores como el espesor de la losa, tipo de cemento y aditivos, tipo de curado y temperatura de la base, son factores críticos que afectan el tiempo oportuno del aserrado del pavimento.

La velocidad de aserrado generalmente es controlada por el mecanismo de autopropulsión de la sierra y la especificación adecuada del disco de diamante. Si se utilizan discos abrasivos, el diámetro debe ser monitoreado regularmente para garantizar que la profundidad es adecuada y se mantenga. El diámetro de la hoja en las láminas abrasivas disminuye debido al desgaste durante la el aserrado.

Al realizar el corte con la sierra, en caso de que la sierra se aleje de la línea de corte, se debe detener por completo y alinear la sierra sobre el lugar adecuado, no se debe realinear la sierra en movimiento.

Es importante proteger las juntas antes de que se sellen para mantenerlas libres de la suciedad y los residuos.

Los materiales y métodos adecuados para el sellado de las juntas tienen una gran importancia, ya actúan en forma conjunta con el aserrado de las juntas para el desempeño de la junta. Existen varios tipos de materiales que se emplean para el

sellado de las juntas en los pavimentos de concreto hidráulico. Estos generalmente se dividen en dos categorías, formados en el lugar y preformados.

Los materiales para sello formados se clasifican de acuerdo a su método de aplicación, en caliente y en frío. Los aplicados en caliente son los basados en asfalto polimérico, el sellador polimérico, los de bajo módulo, el sellante elastomérico, PVC, etc. Los aplicados en frío son los selladores de silicona, caucho nitrilo y sellador de polisulfuro.

Todos los selladores dependen de la adhesión a largo plazo con la cara de la junta, por lo cual la limpieza adecuada de la junta es un factor crítico para una buena unión entre el sellador y la junta. La anchura y profundidad de la junta debe ser la adecuada para que el material de sello tenga un desempeño óptimo.

El uso de un cordón de relleno no adherente ayuda a controlar la forma adecuada del material de sello. El ancho del cordón de relleno no adherido debe ser aproximadamente 25 a 50% mayor que la anchura de la junta para asegurar un ajuste apretado. (Office of Pavement Design , 2008).

Los materiales de cordón de relleno no adherente pueden ser:

Espuma de polietileno.- Es una espuma de celda cerrada que no absorbe el agua y es moderadamente compresible, este material no es recomendable cuando el material de sello es aplicado en caliente, ya que puede se puede fundir.

Espuma de polietileno reticulado (cross linked).- Es una espuma de celda cerrada compatible con selladores aplicados en caliente que no absorbe el agua y es moderadamente compresible, este material no se fundirá al contacto con el sellador de aplicación en caliente.

La preparación de la junta para recibir el material de sellado es el elemento más importante que afecta el desempeño de los selladores en las juntas del pavimento. Los pasos necesarios para la preparación de la junta son el lavado con agua que incluye soplado de aire y secado al aire, limpieza abrasiva y la limpieza del aire.

Se debe utilizar un lavado con agua justo después del aserrado de la junta para eliminar el residuo del aserrado, el soplado de aire ayuda a la eliminación del exceso

de agua de la junta, después se debe dejar que el aire natural seque por completo la junta. El soplado de aire no elimina completamente la humedad, lo cual no asegura la adhesión del sellante en la junta. Cuando la junta está lo suficientemente seca se utiliza un abrasivo para eliminar cualquier residuo restante y para proporcionar una buena textura superficial que ayude en la adherencia del material de sello.

Justo antes del sellado, la junta debe ser soplada con aire para eliminar cualquier material que pueda haber sido depositado por el chorro abrasivo, el viento o el tráfico, la presión del aire utilizado debe ser mayor de 0.6 MPa.

Cuando se utiliza un cordón de relleno no adherente, se debe instalar justo después de la limpieza de la junta y antes de la colocación del sellador. El cordón se instala con un rodillo de doble rueda de acero o con cualquier herramienta que lisa que fuerce de manera uniforme al cordón hasta la profundidad deseada, se recomienda hacer rodar la rueda de inserción sobre el cordón dos veces. La herramienta que se utilice no debe perforar o estirar el cordón de relleno.

Para comenzar a colocar el sellador se debe comprobar la limpieza de la junta. La junta debe ser llenada desde el fondo hacia arriba para evitar burbujas de aire. No se debe llenar completamente la junta. El material de sellado se debe bombear a través de una boquilla que encaje en la junta y permita colocar el material de sellado desde la parte superior del cordón de relleno no adherente. No es recomendable empujar la boquilla ya que puede dar lugar a huecos del sellador, es mejor llevar la boquilla hacia el operador.

El material de sellado debe quedar al menos 6 a 8 mm por debajo de la superficie del pavimento, esto permite que tenga espacio para la expansión del sellador. Si el material de sellado se extiende por encima de la superficie del pavimento, el tráfico puede quitarlo de la junta. Es importante revisar las juntas ya selladas para inspeccionar la adherencia entre el material de sellado y la pared lateral de la junta, se puede realizar una prueba con un cuchillo para revisar su adherencia. La prueba consiste en intentar deslizar un cuchillo entre el material de sello y la pared de la junta, si existe resistencia el material de sellado tiene buena adherencia, por otro lado si el cuchillo se desliza fácilmente entre la pared de la junta y el material de sellado la adherencia no es buena. (American Concrete Pavement Association, 1996).

Cuando el material de sellado es aplicado en caliente es importante que no exista humedad en las paredes de la junta, ya que de existir, cuando se vierta en caliente el sellador puede generar vapor que producirá agujeros en el sellador y evitara la adherencia con la cara de la junta.

4.7 Pavimentación con cimbra deslizante

La pavimentación con equipo de cimbra deslizante es más común que se utilice en la construcción de autopistas, carreteras y avenidas urbanas importantes. Este tipo de equipos son capaces de extender, vibrar, enrasar y terminar el concreto hidráulico, el cual se coloca en una sola pasada y no requiere de un acabado manual. (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006).

Las pavimentadoras de cimbra deslizante forman el pavimento mediante un proceso de extrusión. El proceso de extrusión puede ser definido simplemente como forzar o empujar un material a través de un molde para crear la forma deseada. El principio de trabajo de una pavimentadora con cimbra deslizante es el siguiente:

El concreto se coloca frente a la pavimentadora, esta cuenta con un tornillo sin fin ubicado en la parte frontal e inferior, el cual distribuye el concreto hidráulico al ancho requerido. Mientras avanza la pavimentadora se abre una compuerta que permite la entrada de la cantidad de concreto necesaria para proporcionar el espesor de la losa, los vibradores entran en acción para remover vacíos y compactar el concreto hidráulico. Una placa terminadora y la cimbra deslizante proporciona la sección final de la losa, en la parte posterior se encuentra una allanadora del orden de tres metros de largo, la cual se desplaza en la dirección transversal del pavimento. La pavimentación con cimbra deslizante puede tener una producción de 1.6 km por día.

4.7.1 Colocación de la Línea de Referencia

La línea de referencia o línea guía, establecen las líneas y niveles que sigue la pavimentadora con cimbra deslizante, por lo que representan un factor crítico en la construcción del pavimento de concreto.

La línea de referencia se soporta por medio de barras, con ayuda del topógrafo se debe localizar el punto y nivel exacto donde se colocarán las barras de soporte de la línea de referencia. La barra debe quedar a una distancia aproximada de 25 cm del punto proyectado del pavimento, y debe estar clavada en la base de forma que garantice la estabilidad de la línea ante el paso del equipo de pavimentación y el personal de obra.

La línea que une todas las barras se conoce como línea de referencia, esta puede ser hilo, cable, alambre, nylon, cuerda de poliestireno, o cualquier otro material similar. El material que se utilice debe ser capaz de resistir la tensión a la que se somete, y debe ser liviana para que no se desplace el alineamiento.

Se debe tensar la línea de referencia para minimizar la catenaria entre los apoyos, el tensionamiento se puede realizar manualmente o con un carrete metálico que se coloca sobre las barras. Se debe tener cuidado al tensar la línea de referencia, ya que una ruptura repentina de la línea de referencia podría causar lesiones graves, se recomienda utilizar elementos de seguridad durante el tensionamiento de la línea de referencia.

Los intervalos entre las barras son importantes, principalmente en las curvas. En una sección en tangente, separaciones máximas de 7.6 metros presentan buenos resultados. Una vez instalada la línea de referencia se debe verificar que se ajuste a las líneas y niveles establecidos por la topografía para que no exista ningún error.

Justo antes del comienzo de la pavimentación se debe revisar la línea de referencia una y otra vez. Si el equipo o el personal se tropieza con la línea de referencia, se debe realizar una comprobación inmediata y hacer las correcciones necesarias. Se debe tener precaución por parte de todo el personal que trabaja entorno de la línea de referencia

Cualquier error en la línea de referencia se verá reflejado al final de la pavimentación.

4.7.2 Colocación del concreto hidráulico.

Antes de la colocación del concreto hidráulico se debe revisar que el sitio esté preparado para recibir el concreto hidráulico, para ello se deben realizar las siguientes acciones:

Preparaciones antes de la colocación del concreto hidráulico.

- Los equipos involucrados en el tirado y extendido del concreto hidráulico en la obra, deberán ser aprobados antes de iniciar la colocación del concreto.
- Se debe realizar una limpieza y retirar cualquier elemento que obstaculice el desplazamiento de la pavimentadora.
- Para apoyar la pavimentadora, el material de base debe extenderse un metro más allá del borde de la proyección del pavimento, la superficie para el desplazamiento de la pavimentadora debe ser lo suficientemente resistente para proporcionar un paso suave de todo el tren de pavimentación.
- Las pavimentadoras de cimbra deslizante utilizan vibradores internos para la consolidación del concreto hidráulico. Se debe revisar que los vibradores estén correctamente localizados y funcionen correctamente, los vibradores deben ser espaciados horizontalmente de forma que la zona de influencia de los vibradores adyacentes se superpongan entre 50 y 75 mm no se debe pavimentar utilizando vibradores en mal estado. (Delatte, 2008).

En la pavimentación con cimbra deslizante se debe tener una adecuada planeación para el suministro del concreto hidráulico en volúmenes constantes, se debe coordinar el número de camiones necesarios para mantener uniforme la velocidad de la pavimentadora. La tasa de producción y de entrega del concreto hidráulico debe ser calculada en base al tiempo de ciclo deseado para cada camión de carga, mezclado, entrega, descarga y el tiempo de volver a la planta. Por ejemplo, si se quiere una velocidad constante de una pavimentadora de dos metros lineales por minuto, una pérdida de rendimiento del 5%, una sección de 7.0 metros de ancho y 20 centímetros de espesor, la cantidad de concreto hidráulico necesario es de 2.94 m³/min. En este caso se tiene que establecer un tiempo de descarga de dos minutos para un camión

de 6 m³, para asegurar que la pavimentadora continúe moviéndose a una velocidad constante. (American Concrete Pavement Association, 1996)

Un factor importante en la construcción de pavimentos en zonas urbanas es la congestión vial encontrada por los vehículos de suministro del concreto hidráulico. Los tiempos de entrega y retorno deben ser determinados en base a los límites de velocidad, congestión anticipada, la distancia entre la planta y el sitio de colocación entre otros factores.

El concreto una vez que llega al frente de pavimentación, debe ser revisado para determinar rápidamente si se puede descargar, y de ser así, una vez descargado, deberá ser revisados por el laboratorio, de esta forma se determina la pérdida de trabajabilidad que ha sufrido el concreto hidráulico durante el viaje y se procede a ajustar la producción de la planta. Los primeros viajes normalmente no son suficientes para llenar las cimbras y cajas de la pavimentadora, y lograr una carga hidrostática dentro de la máquina, es conveniente contar con un cargador o retroexcavadora para introducir y repartir el concreto frente al tornillo sin fin de la pavimentadora.

El concreto hidráulico necesita ser depositado lo más cercano y de forma uniforme al frente del equipo de pavimentación. El concreto hidráulico se debe colocar de tal forma que no se sobrecargue un lado del carril, debe colocarse tan cerca como sea posible de su posición final, para evitar la segregación del concreto hidráulico.

Si se emplean camiones que depositan el concreto hidráulico por delante de la pavimentadora se debe tener cuidado en que no perturben la base, las barras de amarre y las canastillas de pasajuntas, se debe verificar que las barras de amarre y las pasajuntas estén colocadas y alineadas.

En cuestiones de seguridad se recomienda considerar alarmas de retroceso, procedimiento de descarga del concreto hidráulico mediante orden de entrada, salida y señales para avance y parado.

4.7.3 Compactación.

La compactación del concreto hidráulico utilizando un equipo de pavimentación de cimbra deslizante se realiza en dos etapas; la primera por medio de vibradores internos los cuales se ubican después del tornillo sin fin, los cuales se pueden desplazar en el sentido vertical hasta posicionarse a la altura adecuada.

La segunda etapa son los vibradores de piso los cuales mejoran el acabado del concreto. La zona de influencia de los vibradores están en función de la energía transmitida por el vibrador, la velocidad de la pavimentadora entre otros.

4.7.4 Texturizado.

Algunos modelos de pavimentadoras de cimbra deslizante cuentan con equipos automatizados que llevan a cabo los procesos del macro y microtexturizado, los cuales se realizan de forma que cumplan con lo descrito anteriormente para el texturizado en la pavimentación con cimbra fija.

4.7.5 Aserrado y sellado de la junta.

El procedimiento de aserrado y sellado de la junta en una pavimentación con cimbra deslizante es el mismo que se establece para una pavimentación con cimbra fija, el cual se describió anteriormente.

5. Análisis de Metodología de Diseño

La determinación del espesor requerido para un pavimento es un problema complejo, ya que son sujetos a una amplia variedad de cargas y efecto climáticos, los procesos de diseño involucran una gran cantidad de variables, las cuales pueden ser difícil de obtener (FAA, 2005).

El propósito del diseño es obtener un espesor mínimo que resulte en el costo de inversión inicial y de mantenimiento más bajo, ya que si el espesor es mayor del necesario, el pavimento dará un buen servicio con bajos costos de mantenimiento, pero con un alto costo de inversión inicial; por otro lado, si el espesor no es el adecuado, requerirá mantenimientos prematuros que sobrepasarán los costos de inversión inicial. Se debe realizar un análisis adecuado entre el costo inicial de la obra y el de mantenimiento para realizar el diseño del espesor de la losa. (Packard, R. G. 1995).

En el presente capítulo se realiza un análisis de dos metodologías para el diseño de pavimentos de concreto tipo JCP, esto con la finalidad de establecer el empleo del método más conveniente para el diseño de los pavimentos de concreto hidráulico en la ciudad de Morelia. Los métodos que se analizarán son:

1. Método de la Portland Cement Association (PCA).
2. Método de la American Association of State Highway and Transportation Officials 1993 (AASHTO 93).

5.1 Método de la Portland Cement Association

El procedimiento de diseño de espesor del pavimento de la Portland Cement Association, mejor conocido como el método de la PCA, es el procedimiento más conocido, ampliamente adaptado, de base mecanicista para el diseño de espesores de pavimento de concreto con juntas (PCA, 1984). Fue desarrollado por la Portland Cement Association en 1984, las tablas y gráficos se basan en cálculos por elementos finitos de tensiones y deformaciones en el pavimento. Este método se puede aplicar para pavimentos JCP, JRCP y CRCP (Huang, 2004).

Los criterios de diseño se basan en el diseño general del pavimento, el rendimiento y la experiencia de investigación, incluyendo las relaciones con el desempeño de pavimentos en la AASHO Road Test y los estudios de fallas del pavimento.

El método de diseño del espesor se basa en el conocimiento de la teoría del pavimento, el rendimiento y la investigación de:

- Los estudios teóricos del comportamiento de las losas de pavimento realizado por Westergaard.
- Pruebas y modelos a gran escala como la prueba Arlintong y varios proyectos de investigación desarrollados por la PCA.
- Pavimentos de concreto sometidos a pruebas controladas de tráfico, como la pista de pruebas Bates, la autopista de pruebas de Pittsburg, la pista de prueba de Maryland, la pista de pruebas AASHO y estudios de pavimentos en servicio de varios estados.
- El desempeño de los pavimentos construidos, sujetos a tráfico mixto normal.

Los criterios de diseño de la PCA son: por fatiga y por erosión. El diseño por fatiga mantiene los esfuerzos del pavimento debidos a la acción de cargas repetidas dentro de límites seguros previniendo el agrietamiento, mientras que el diseño por erosión limita los efectos de las deflexiones del pavimento en el borde, juntas y esquinas controlando la erosión de las losas por bombeo y por la erosión de las capas inferiores del pavimento.

5.1.1 Análisis por fatiga

En el procedimiento para el diseño del espesor de la PCA, la determinación del esfuerzo equivalente se basa en el resultado del esfuerzo de tensión máximo en el borde de la losa, bajo la carga de un solo eje y la carga de un eje tándem para diferentes espesores de la losa y módulos de reacción de la subrasante.

El concepto de análisis por fatiga se empleó para evitar fallas en el pavimento de concreto debido a la repetición de esfuerzos críticos, los cuales producen agrietamiento por fatiga.

Basado en la hipótesis del daño acumulado por fatiga de Miner, el procedimiento del diseño de espesor de la PCA permite seleccionar un espesor de losa de prueba, calcular la relación entre el esfuerzo equivalente y el módulo de ruptura del concreto para cada carga por eje y tipo de eje, luego se determinan las repeticiones de carga máxima admisibles.

El procedimiento de la PCA utiliza el número previsto de repeticiones de carga entre las repeticiones de carga máximas admisibles para calcular el porcentaje de daño por fatiga de cada carga de eje y de tipo de eje. (Lee, Y. H., & Carpenter, S. H. 2001)

5.1.2 Análisis por erosión

El procedimiento de diseño mecánico para pavimentos de concreto se basan en el principio de la limitación de los esfuerzos de flexión en una losa a ciertos valores seguros.

Existe un modo de falla adicional al agrietamiento por fatiga, el cual es la erosión de los materiales ubicados debajo y al lado de la losa. Las repeticiones de carga por eje en las esquinas y bordes de la losa originan bombeo, erosión de los materiales de subrasante, vacíos debajo y al lado de la losa y la falla de las juntas del pavimento, especialmente en pavimentos con juntas sin pasajuntas.

Algunos daños particulares del pavimento están más comúnmente relacionado con las deflexiones que con los esfuerzos a flexión.

El principal modo de falla en la pista de prueba ASSHO fue la erosión de la subbase a causa del bombeo, por lo cual el concepto del análisis por erosión es evitar fallas del pavimento debido al bombeo, a la erosión de los cimientos y fallas en las juntas relacionadas con la deflexión del pavimento.

La parte más crítica de la deflexión de un pavimento ocurre en la esquina de la losa, cuando una carga por eje pasa por la junta, cerca de la esquina de la losa.

5.1.3 Factores requeridos en el método de la PCA

Las entradas del método de diseño de la PCA son:

- Propiedades del concreto.
- Resistencia de la capa de soporte (Módulo de la reacción K).
- Magnitud y frecuencia de los ejes de vehículos comerciales.
- Factores de seguridad de carga.
- Transferencia de carga.
- Periodo de diseño.

Propiedades del concreto.- La resistencia a la flexión del concreto es definida por el módulo de ruptura del concreto (MR), el cual se determina a los 28 días por el método especificado por la ASTM en “C 78 – 15 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)” (NMX-C-191-ONNCCE-2004).

En este procedimiento se recomienda para el diseño de espesores de pavimentos de carreteras y calles el valor del módulo de ruptura promedio a 28 días. Los efectos de las variaciones de la resistencia del concreto de un punto a otro, así como el aumento de la resistencia del concreto con la edad se incorporan en las tablas y graficas de diseño, por lo cual el diseñador no aplicara directamente estos efectos. (Packard, R. G. 1995).

Resistencia de la capa de soporte.- La capacidad de soporte de la subrasante y subbase es definida por el módulo de reacción de la subrasante (K). El módulo de reacción se define como la relación de la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm de un material de prueba y se obtiene mediante la prueba de carga sobre placa.

Ya que la prueba de carga sobre placa no es tan fácil de realizar, el valor del módulo de reacción es estimado generalmente por correlaciones con otros ensayos simples como el CBR. Los valores del módulo de reacción obtenidos mediante la correlación son se consideran válidos, ya que no se requiere la determinación exacta del valor de

del módulo de reacción, debido a que las variaciones normales para un valor estimado del módulo de reacción no afectaran apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

El método de la PCA no toma en cuenta la variación de los valores del módulo de reacción a lo largo del año. (Huang, 2004).

Magnitud y frecuencia de los ejes de vehículos comerciales.- El tráfico se define como el número de ejes que pasan por el carril de diseño, clasificado por tipo y carga por eje, este es uno de los factores principales para el diseño de los pavimentos de concreto hidráulico.

Los datos sobre la distribución de la carga por eje de tráfico de camiones se necesitan para calcular el número de ejes individuales y en tándem de diferentes pesos esperados durante el período de diseño. Para su determinación se debe considerar la distribución de pesos por cada eje, la tasa de crecimiento y los factores de distribución de tránsito.

Este método utiliza el tránsito ordenado por rangos de cargas por eje, normalmente de 1 tonelada para ejes sencillos y de dos toneladas en ejes dobles. La cantidad y pesos de las cargas axiales se derivan mediante las estimaciones de: (Packard, R. G. 1995).

- Tráfico promedio diario en ambas direcciones de todos los vehículos (average daily traffic-ADT).
- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (average daily truck traffic-ADTT).
- Cargas axiales de camiones.

Factor de seguridad de carga.- En el procedimiento de diseño, los ejes de carga se multiplican por un factor de seguridad de carga (load safety factor-LSF). Los factores de seguridad de carga recomendados se muestran a continuación: (Huang, 2004)

1. Para proyectos interestatales y otros de múltiples carriles donde el flujo de tráfico será ininterrumpido y donde habrá altos volúmenes de tráfico pesado, $LSF = 1.2$.
2. Para carreteras y calles arteriales donde habrá volúmenes moderados de tráfico pesado, $LSF = 1.1$.
3. Para carreteras, calles residenciales y otras donde habrá bajos volúmenes de tráfico pesado, $LSF = 1.0$.

En casos especiales, se puede emplear un factor de seguridad de carga tan alto como 1.3 para mantener un nivel de servicio del pavimento mayor que el normal, a lo largo del periodo de diseño.

Los valores mayores de $LSF = 1.0$ proporcionan una tolerancia a la posibilidad de cargas de camiones pesados y volúmenes no previstos (camiones sobrecargados), y un alto nivel de serviciabilidad.

Transferencia de carga.- Es la capacidad que tiene la losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con las losas adyacentes para minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura. En este caso se considera si la transferencia de carga se hace por medio de pasajuntas o por el entrelazamiento de los agregados.

Periodo de diseño.- Corresponde a la vida del pavimento y se le considera sinónimo del periodo de análisis del tráfico (Packard, R. G. 1995), comúnmente se utiliza un periodo de diseño de 20 años en procedimientos de diseño de pavimentos. Se puede hacer uso de periodos de diseño más cortos o más largos donde estén económicamente justificados. Algunos ingenieros creen que el periodo de diseño para carreteras rurales y urbanas puede estar en un rango de 30 a 35 años (Packard, R. G. 1995).

5.1.4 Programas de Diseño PCAPAV y StreetPave

La PCA desarrollo el programa PCAPAV, el cual sigue el procedimiento exacto del método PCA 1984, este programa realiza iteraciones automáticamente hasta que

encuentra una solución satisfactoria basada en los resultados de análisis de elementos finitos. (Lee, Y. H., & Carpenter, S. H. 2001).

La Figura 5.1 muestra el diagrama de flujo de los pasos y procedimientos para el diseño de pavimento utilizando el método de la PCA.

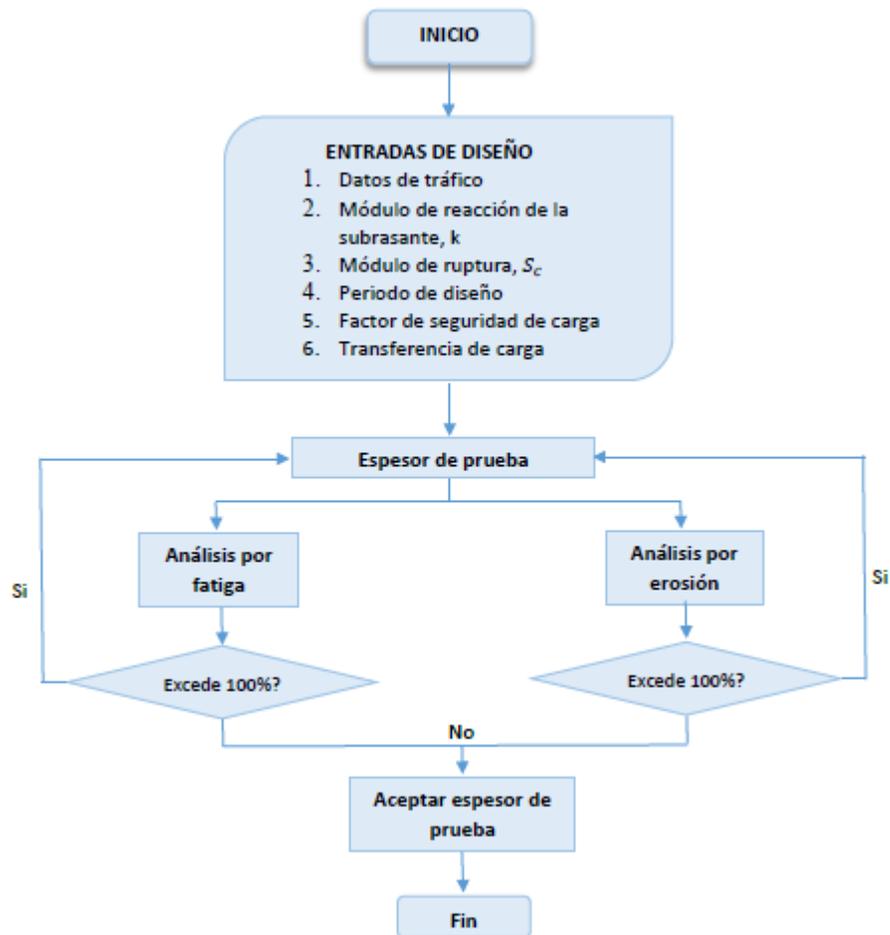


Figura 5.1.- Diagrama de Flujo del Método de la PCA. (Elaboración propia)

El programa StreetPave (Figura 5.2) fue desarrollado por la ACPA (American Concrete Pavement Association) y representa una ventaja significativa sobre el

programa PCPAV. El StreetPave está diseñado principalmente para su uso en calles, carreteras locales, pero también se pueden diseñar autopistas.



Figura 5.2.- Programa de Diseño StreetPave.

5.2 Método de la AASHTO 93

La guía de diseño AASHTO 1993 se obtuvo de los resultados de la Pista de Pruebas AASHTO. En base a los tramos de prueba se propuso la ecuación de diseño para pavimentos de concreto hidráulico, la ecuación original ha sido modificada de acuerdo con las observaciones experimentales a partir de las cuales se han eliminado algunos parámetros de diseño y se han introducido otros, con el fin de considerar propiedades del concreto, condiciones de apoyo y cuestiones ambientales. (Rodríguez, A. S. 2011).

Para esta metodología de diseño se toma en consideración el comportamiento del pavimento como se indica a continuación:

- **Funcional.-** Es la comodidad y seguridad que proporciona el pavimento al usuario, es decir, la comodidad con la que se transita y la seguridad que ofrece la superficie de rodamiento. Para su análisis se introduce el concepto de

serviciabilidad-comportamiento, el cual queda definido por la calificación del 1 al 5 que se le otorga a la superficie de rodamiento por consenso del usuario. El índice de servicio, puede establecerse con medidas o características físicas del pavimento, tales como rugosidad, textura y agrietamiento de la superficie de rodamiento.

El índice de servicio inicial se establece como la condición original de pavimento, mientras que el índice de servicio final es aquel en el que el pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad para las que fue diseñado.

- **Estructural.-** Hace referencia a las características físicas que presenta el pavimento como respuesta a las sollicitaciones, tales como agrietamiento, alisamientos, fisuras por fatiga, etc.

5.2.1 Factores de diseño de la guía AASHTO 1993 para pavimentos de concreto hidráulico.

La guía AASHTO 1993 para el diseño de estructuras de pavimento considera los siguientes factores de diseño del pavimento de concreto hidráulico:

1. Tráfico (W_{18}).
2. Módulo de ruptura del concreto (S'_c).
3. Módulo de elasticidad del concreto (E_c).
4. Módulo de reacción de la subrasante (k).
5. Coeficiente de transferencia de carga (J).
6. Nivel de confianza y desviación estándar (Z_R, S_0).
7. Coeficiente de drenaje (C_d).
8. Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI).

Tráfico.- Es una de las variables más importantes del diseño de pavimentos, esta metodología considera la vida útil del pavimento relacionada con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final. Las cargas de ejes de todo tipo de vehículos se

transforman a cargas por ejes sencillos equivalentes de 8160 kg = 18 kips comúnmente denominados ESAL's, de esta manera se normalizan todos los ejes de una distribución de tránsito particular.

Los factores de carga equivalente se utilizan para convertir ejes sencillos, tándem y tridem a ejes sencillos equivalentes (ESAL's). Los factores de equivalencia dependen del tipo de eje (sencillo, tándem y tridem), la magnitud de la carga, el espesor probable de la losa y el índice de serviciabilidad final del pavimento.

Módulo de ruptura del concreto.- El módulo de ruptura representa la resistencia a la flexión por tensión del concreto, el cual se determina a los 28 días por el método especificado por la ASTM en "C 78 – 15 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)" (NMX-C-191-ONNCCE-2004). La prueba consiste en aplicar carga a la viga de concreto en los tercios de su claro de apoyo.

Módulo de elasticidad del concreto.- El módulo de elasticidad del concreto se puede determinar de acuerdo al procedimiento descrito en la ASTM C469 – 14 "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression". La AASHTO recomienda utilizar la relación entre el esfuerzo a compresión del concreto f'_c y el módulo de elasticidad E_c , su valor se estima utilizando la ecuación de la ACI (American Concrete Institute):

$$E_c = 57000\sqrt{f'_c} \text{ psi} = 4730\sqrt{f'_c} \text{ MPa}$$

El módulo de elasticidad del concreto no varía significativamente en el rango de resistencias del concreto utilizado en la construcción de una losa y no representa una gran influencia sobre el diseño del espesor del pavimento. (Mallick, R. B., & El-Korchi, T. 2013).

Módulo de reacción de la subrasante (k).- El módulo de reacción corresponde a la capacidad portante que tiene el suelo donde se soportará el cuerpo del pavimento. El módulo de reacción se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 - 09 “Standard Test Method for Repetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements” y D1196 - 12 “Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements”.

El valor del módulo de reacción depende de diversos factores, como el contenido de humedad y la densidad del suelo (El-Mansy, N., Ismail, M., Hassan, H., & Semaida), por lo cual su valor varía según la temporada del año y se debe considerar para obtener un valor corregido del módulo de reacción. (Huang, 2004)

Debido al costo y la complejidad de la obtención del módulo de reacción existen correlaciones entre los valores del CBR y K (Tabla 5.1), los valores típicos de K están en el rango de los 100-800 pci. (El-Mansy, N., Ismail, M., Hassan, H., & Semaida)

Tabla 5.1.- Relación entre valores de CBR y k .

Valor CBR	Valor k , pci
2	100
10	200
20	250
25	290
40	420
50	500
75	680
100	800

De igual forma se puede emplear una correlación con el módulo resiliente. El resultado de las correlaciones es válido, ya que no se requiere una determinación exacta del módulo de reacción, ya que las variaciones normales no afectan apreciablemente los requerimientos del espesor del pavimento.

En un diseño de un pavimento es probable que tenga diferentes valores de K a lo largo del tramo por diseñar, por lo que se recomienda utilizar el valor promedio de los módulos K para el diseño.

Coefficiente de transferencia de carga (J).- Es un factor utilizado en el diseño de pavimentos de concreto, es la capacidad que tiene la losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con las losas adyacentes para minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura. El valor del coeficiente de transferencia de carga depende del tipo de pavimento, tráfico y soporte en el borde (Tabla 5.2). El uso de dispositivos de transferencia de carga como barras de amarre y pasajuntas aumenta la cantidad de transferencia de carga y disminuye el valor del coeficiente de transferencia de carga. (Huang, 2004).

El valor más común para un pavimento JCP y JRCP utilizando pasajuntas y sin hombros de concreto es $j=3.2$. (El-Mansy, N., Ismail, M., Hassan, H., & Semaida).

Tabla 5.2.- Coeficiente de transferencia de carga.

Millones de ESALs	Transferencia de carga			
	Pasajuntas		Interconectividad de los agregados	
	Soporte en el borde		Soporte en el borde	
	Si	No	Si	No
0 - 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2
0.3 - 1	2.7	3.2	3.0	3.4
1 - 3	2.7	3.2	3.1	3.6
3 - 10	2.7	3.2	3.2	3.8
10 - 30	2.7	3.2	3.4	4.1
>30	2.7	3.2	3.6	4.3

(AASHTO, 1993)

Nivel de confianza y desviación estándar (Z_R, S_0).- El termino confiabilidad hace referencia a la probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante su vida útil en condiciones de operación adecuadas

(deformación y resistencia por debajo de los valores permisibles durante la vida de diseño del pavimento).

En función del tipo de camino se recomiendan valores de confiabilidad Tabla 5.3.

Tabla 5.3.-Valores de Confiabilidad de Acuerdo a la Clasificación del Camino.

Clasificación del camino	Urbano	Rural
Autopistas	85%-99.9%	80%-95%
Arterias principales	80%-99%	75%-90%
Colectores	80%-95%	75%-90%
Locales	50%-80%	50%-80%

(AASHTO, 1993)

La confiabilidad en términos de la ecuación AASHTO es el producto de $Z_R S_0$, la desviación estándar S_0 tiene en cuenta la incapacidad de los diseñadores para estimar con precisión la carga de ejes equivalentes y el error estadístico en las ecuaciones debido a la variabilidad de los materiales, los métodos de construcción, etc. (El-Mansy, N., Ismail, M., Hassan, H., & Semaida, A.). La AASHTO recomienda valores de S_0 entre 0.3 y 0.4.

Existe una relación entre el nivel de confianza y la desviación normal estándar (Z_R), la cual se muestra en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4.-Relación Nivel de Confianza - Desviación Normal Estándar.

Nivel de confianza	ZR	Nivel de confianza	ZR
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.90	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

(AASHTO, 1993)

Coefficiente de drenaje (C_d).- Se refiere a la facilidad con la que puede drenar el agua de las capas que conforman el pavimento. El efecto del drenaje es de importancia crítica para el desempeño del pavimento de concreto hidráulico, ya que su calidad podría afectar la severidad y extensión del fenómeno de bombeo, reducción de la resistencia de materiales granulares y subrasante, entre otros. El coeficiente de drenaje depende de la calidad de drenaje y sus valores van de 0.75 a 1.25 si es muy pobre o excelente. (Delatte, 2008).

La Tabla 5.5 muestra los coeficientes de drenaje recomendados por la AASHTO en base a la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo que los niveles de humedad del pavimento se acercan a la saturación.

Tabla 5.5.-Valores de Coeficientes de Drenaje Recomendados para el Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico.

Calidad del drenaje	Porcentaje de Tiempo que la Estructura del Pavimento está Expuesta a Niveles de Humedad Próximos a la Saturación			
	Menos que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Razonable	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

(AASHTO, 1993)

Valores de C_d mayores a 1 indican un buen drenaje lo cual reduce el espesor del pavimento, o aumenta el número de ejes equivalentes que el pavimento puede soportar en buenas condiciones. Por otro lado valores de C_d menores a 1 requiere espesores mayores o reduce el número de ejes equivalentes que el pavimento puede soportar en buenas condiciones. (Rodríguez, A. S. 2011).

Perdida de serviciabilidad (ΔPSI).- La serviciabilidad es la capacidad que tiene el pavimento de servir al tráfico que circula por la vía, se mide en una escala que va del 0 al 5, donde 0 representa un pavimento intransitable y 5 un pavimento excelente. La pérdida de serviciabilidad es la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial p_o y el índice de serviciabilidad final p_t .

Índice de serviciabilidad inicial p_o es la condición que presenta el pavimento inmediatamente después de su construcción, es importante considerar los métodos de construcción, ya que de ellos depende la calidad del pavimento. Basado en los resultados de la pista de pruebas AASHTO, en pavimentos de concreto se pueden construir con un índice de serviciabilidad inicial p_o de 4.5. (Delatte, 2008).

El índice de serviciabilidad final p_t es la calificación más baja que se acepta en el pavimento antes de que se lleven a cabo grandes obras de rehabilitación. Valores de p_t de 2.0, 2.5 o 3 son usados comúnmente dependiendo del tipo de camino.

La diferencia entre ambos índices se define como pérdida de serviciabilidad:

$$\Delta PSI = p_t - p_o$$

La AASHTO presenta la ecuación basada en factores antes mencionados para el diseño del espesor del pavimento.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \left[\frac{S'_c C_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right]} \right]$$

Donde:

W_{18} = Total de ejes equivalentes en carril de diseño.

Z_R = Desviación estándar normal para el nivel de confianza deseado.

S_0 = Desviación estándar general.

D = Espesor de la losa (plg).

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

S'_c = Resistencia a la flexión del concreto (psi).

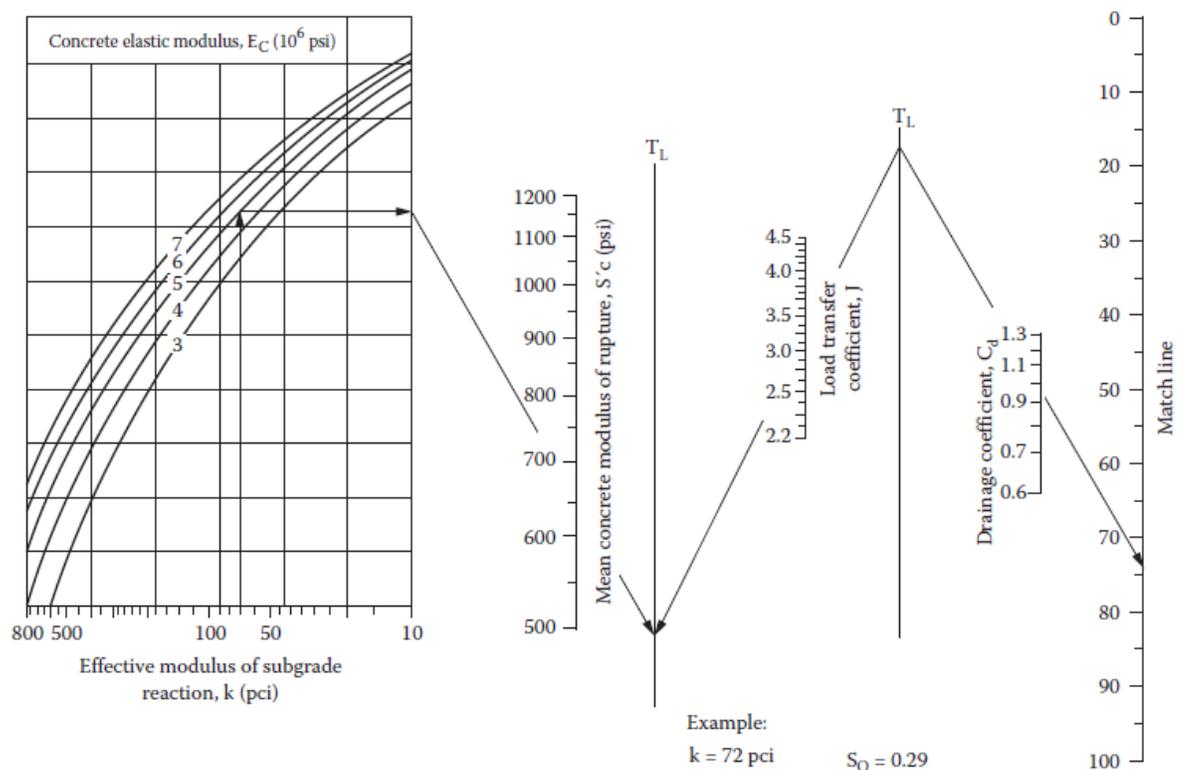
$C_d =$ Coeficiente de drenaje.

$J =$ Coeficiente de transferencia de carga.

$E_c =$ Módulo de elasticidad del concreto (psi).

$k =$ Módulo de reacción de la subrasante (psi/in).

Debido a que es difícil resolver directamente la ecuación anterior, la AASHTO proporciona un nomograma para determinar la solución (Figura 5.3), sin embargo, la exactitud del diseño puede ser cuestionado por el error humano.



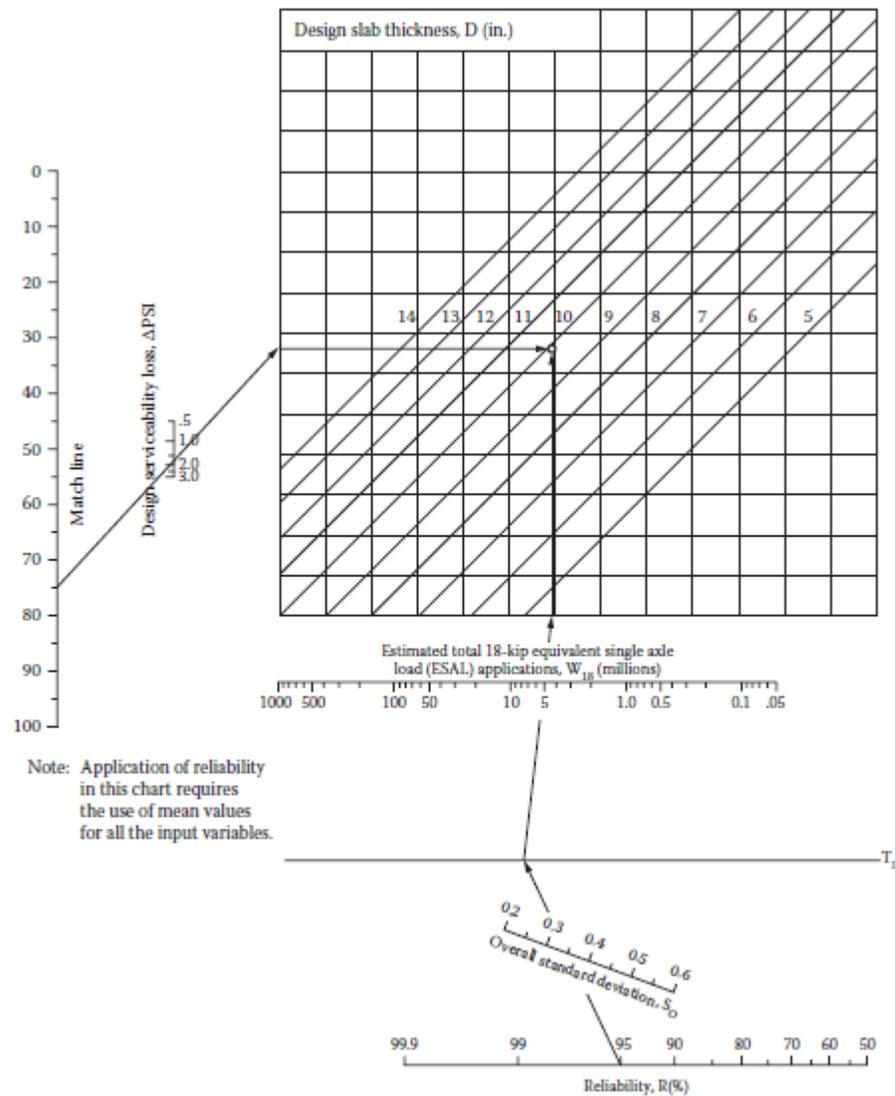


Figura 5.3.- Nomograma para Resolver la Ecuación AASHTO 93. (AASHTO, 1993)

La Figura 5.4 muestra el diagrama de flujo para obtener el diseño del espesor del pavimento de concreto utilizando el método AASHTO:

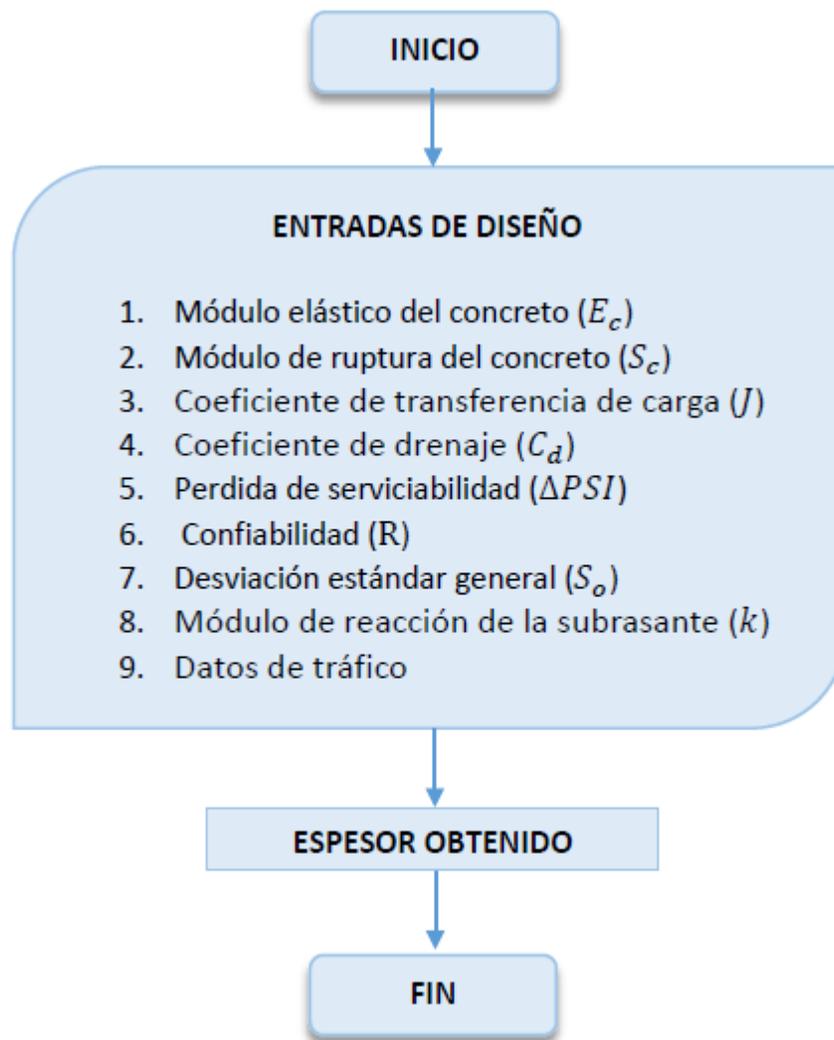


Figura 5.4.- Diagrama de Flujo del Método AASHTO 93. (Elaboración propia)

5.2.2 Programa WinPAS

WinPAS es un programa informático basado en menús para el diseño y análisis de sistemas de pavimentación utilizando la Guía 1993 AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento (Figura 5.5). Es un programa independiente que consta de los siguientes módulos:

1. Identificación del proyecto,

2. El análisis de tráfico,
3. El diseño del pavimento y de evaluación,
4. Diseño y evaluación de superposición,
5. Análisis de costos del ciclo de vida, y
6. Informes.

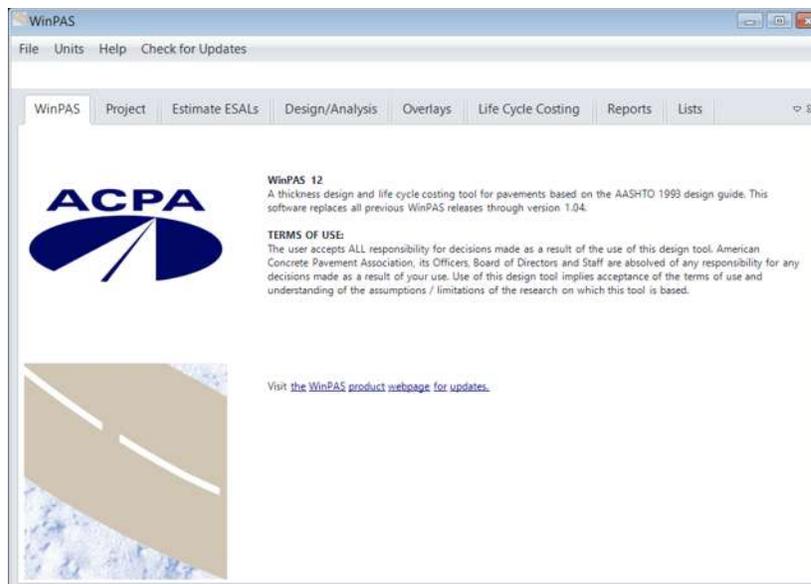


Figura 5.5.- Programa de Diseño de Pavimento Utilizando la Guía AASHTO 93.

5.3 Comparación entre el Método de la PCA y el Método AASHTO

Es difícil comparar los resultados entre el método de la PCA y el AASHTO, debido a que el método de la AASHTO se basa en la confiabilidad, mientras que el método de la PCA no toma en cuenta la confiabilidad, pero incorpora un factor de seguridad de carga y propiedades de materiales más conservadores.

El método de la AASHTO se basa en la aplicación de carga de ejes sencillos equivalentes de 18 kip y no distingue los tipos de deterioros, mientras que el método de la PCA considera el agrietamiento por fatiga y la erosión, y la aplicación de cargas de ejes sencillos y ejes tándem. (Huang, 2004).

5.3.1 Parámetros del método PCA y AASHTO

La Tabla 5.6 muestra las variables de entrada requeridas en los métodos de la PCA y AASHTO.

Tabla 5.6.-Variables de Entrada Requeridas en el Método de la PCA y AASHTO.

Parámetro	Método AASHTO	Método PCA
Tráfico	Total de ESAL's	Total de camiones pesados
Módulo de elasticidad del concreto	Definido por el usuario	4x10 ⁶ psi (27600 Mpa)
Módulo de reacción de la subrasante	Definido por el usuario	Definido por el usuario
Módulo de ruptura	Definido por el usuario	Definido por el usuario
	*Coeficiente J (usualmente 3.2 - 4.2)	* Pasajuntas/ Entrelazamiento de los agregados *Hombros / No hombros
Transferencia de carga	Definido por el usuario	Definido por el usuario
Coeficiente de drenaje	Definido por el usuario	---
Pérdida de serviciabilidad	Definido por el usuario	---
Desviación estándar general	Definido por el usuario	---
Confiabilidad o desviación estándar normal	Definido por el usuario	---
Factor de seguridad de carga	---	Basado en el tipo de camino y el volumen de tráfico pesado (1 - 1.3)

(Elaboración propia)

Como se observa en la Tabla 5.6 el método de la PCA no son considerados varios parámetros como; coeficiente de drenaje, pérdida de serviciabilidad, desviación estándar global, confiabilidad o desviación estándar normal. Solo dos parámetros se utilizan de igual forma; el módulo de reacción de la subrasante y el módulo de ruptura.

Existen parámetros que se consideran de forma diferente en el método AASHTO y PCA. El parámetro de la transferencia de carga en el método AASHTO se hace uso

de un coeficiente de transferencia de carga J , por otro lado, en el método de la PCA considera ya sea si el pavimento tiene pasajuntas o el entrelazamiento de los agregados y si el pavimento cuenta con hombros o no. El método de la PCA considera un factor de seguridad de carga basado en el tipo de camino y el volumen de vehículos pesados.

6. Discusión de Resultados

6.1 Comparativa de Normativa Existente de Pavimento de Concreto Hidráulico

Durante la construcción de un pavimento de concreto hidráulico existen varias etapas en las cuales los procedimientos constructivos que se aplican son de vital importancia para que el pavimento de concreto sea durable y tenga las características requeridas. La Tabla 6.1 muestra un resumen y comparativa de la distinta normativa analizada en el capítulo III, en referencia a algunos elementos durante la construcción de un pavimento de concreto hidráulico.

Tabla 6.1.- Comparativa de Normativas Referente a la Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico.

	Normativa para la Infraestructura del Transporte	Norma de Construcción del Distrito Federal	Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León	Reglamento de Construcción para el Municipio de Morelia
Método de diseño	-----	-----	-----	-----
Clasificación	*Losas de concreto hidráulico con juntas. *Losas de concreto hidráulico con refuerzo. *Losa de concreto hidráulico presforzado.	Carga ligera. Carga semiligera. Carga pesada.	*Losas de concreto hidráulico con juntas. *Losas de concreto hidráulico con refuerzo. *Losa de concreto hidráulico presforzado.	Losas sin acero de refuerzo. Losas con acero de refuerzo.
Módulo de ruptura	-----	-----	50 vp/día MR= 42 kg/cm ² . 500 vp/día MR= 45 kg/cm ² . 6000 vp/día MR= 48 kg/cm ² .	No debe ser menor a 35 kg/cm ² .
Condiciones climáticas	No pavimentar si existe amenaza de lluvia. Temperatura ambiental > 4°C.	Calentar materiales para compensar bajas temperaturas, la Enfriar materiales para compensar altas temperaturas, sin que la temperatura del concreto fresco sea menor a 10°C.	-----	-----

Capítulo VI: Discusión de Resultados

	Normativa para la Infraestructura del Transporte	Norma de Construcción del Distrito Federal	Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León	Reglamento de Construcción para el Municipio de Morelia
Trabajos previos a la colocación del concreto hidráulico	Dentro de líneas y niveles.	Limpieza del terreno. Señalización para delimitar área de trabajo		
	Libre de materias extrañas (polvo, grasa, etc.).	Trazo y nivelación	-----	-----
	Evitar la concentración de acarrees del concreto y materiales en ciertas áreas.	Humedad apropiada de la base, requisitos de compactación. Se cuente con planos actualizados.		
Elaboración del concreto	Responsabilidad del contratista. Se suspenderá la producción de concreto hidráulico si difiere de la calidad establecida en el proyecto.	Dosificaciones serán tales para obtener la resistencia establecida en el proyecto.	Características de los materiales. Control de calidad.	Características de los materiales cumplir SCT. Proporcionamiento fijado por un laboratorio.
	Normativa para la Infraestructura del Transporte	Norma de Construcción del Distrito Federal	Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León	Reglamento de Construcción para el Municipio de Morelia
Colocación del concreto	El extendido y consolidado será con una pavimentadora autopropulsada. Cuando el colado sea suspendido por mas de 30 minutos se construirá una junta transversal. Cada franja cubrirá como mínimo el ancho total de un carril, de preferencia el ancho total de la calzada.	Debe vaciarse en moldes metálicos indeformables fijados firmemente en la base o subbase.		El concreto hidráulico proveniente de planta deberá descargarse antes de 30 minutos de haberse hecho la mezcla.
	No se permitira el colado del concreto hidráulico si existe segregación.	Es conveniente que el equipo de transporte del concreto hidráulico lo vierta directamente sobre el sitio de colocación, la altura de caída no debe ser mayor que 50 cm.	-----	El transporte será en vehículos apropiados que no permitan pérdida de humedad. El concreto deberá trabajarse con revenimientos de 4.0 a 7.5 cm.
Vibrado	Se utilizarán vibradores mecánicos, en todo el volumen de la carpeta	Compactación mediante vibrador de inmersión seguido por regla vibratoria.		
	Cuando se detenga la pavimentadora los vibradores no operarán por más de 5 segundos	Despues del vibrado se debe aplanar con llana metálica o de madera de mango largo.	-----	-----

Capítulo VI: Discusión de Resultados

	Normativa para la Infraestructura del Transporte	Norma de Construcción del Distrito Federal	Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León	Reglamento de Construcción para el Municipio de Morelia
Pasajuntas y barras de amarre	De acuerdo con lo indicado en el proyecto. Pasajuntas barras lisas que se colocarán mediante silletas o canastas, y se someterán a un tratamiento antiadherente. Barras de amarre, barras corrugadas, se colocarán mediante silletas o insertadas por vibración, en una longitud de 45 cm antes y después de una junta transversal no se colocarán barras de amarre.	-----	Diámetro recomendable 38 mm. Longitud recomendable 60 cm.	Proporciona en base a una tabla el espaciado de los pasajuntas en función al: * Tipo y grado del acero. * Espesor del pavimento.
Texturizado	Pasando rastra de texturizado y texturizadora.	Se pasa una banda de lona. Acabado de ranuras longitudinales.	-----	-----
	Normativa para la Infraestructura del Transporte	Norma de Construcción del Distrito Federal	Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León	Reglamento de Construcción para el Municipio de Morelia
Curado	El que indique el proyecto. Se aplicará cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. En las juntas aserradas, sus caras expuestas serán curadas inmediatamente después de concluir el corte.	Aplicación de membrana líquida, se recomienda utilizar un aspersor para una distribución uniforme. superficie del pavimento para mantenerla permanentemente húmeda.	-----	-----
Juntas	Tendrán las características establecidas en el proyecto. Se aserrará la carpeta una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente para que no se despostille. Primero juntas transversales y después longitudinales. En cortes escalonados, el segundo corte no se realizará antes de 72 horas después de colado. La dimensión de la losa en sentido longitudinal será la establecida en proyecto con una tolerancia de ± 1 cm.	Juntas impermeables. Juntas transversales de dilatación. Juntas transversales de contracción. Juntas de construcción.	-----	-----
Sellado	-----	-----	-----	-----

(Elaboración Propia)

Del análisis de la Tabla 6.1 se observa que la normativa existente no especifica procedimientos constructivos para la construcción de un pavimento de concreto hidráulico. La normativa de la SCT es la que contiene mayor información, pero se enfoca solamente en pavimentos de concreto hidráulico para carreteras y colocados mediante equipos de alto rendimiento como la extendedoras de cimbra deslizante, los

cuales no siempre se pueden utilizar en las obras urbanas debido a las características particulares de cada obra y los costos asociados.

6.2 Procedimientos Constructivos de Pavimentos de Concreto Hidráulico con Juntas.

Cuando se requiere construir un pavimento existen varios factores que se deben considerar para hacer la selección del tipo de pavimento que se debe emplear, así como el procedimiento constructivo que se debe emplear, como se mencionó anteriormente en el capítulo IV, para un pavimento de concreto hidráulico con juntas existen dos procedimientos constructivos; uno es empleado equipos de alto rendimiento (extendedora de cimbra deslizante), y la pavimentación con cimbra fija.

En las zonas urbanas el método que más se emplea es la pavimentación con cimbra fija, esto se debe a los volúmenes y costos que se manejan en zonas urbanas, otra de las razones es que los equipos de cimbra deslizante no se pueden utilizar debido a sus dimensiones. Es por esta razón que el manual de procedimientos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico se centra en la pavimentación con cimbra fija.

En el apéndice se describe más a detalle los procesos constructivos y recomendaciones de cada una de las principales etapas de la construcción de un pavimento de concreto hidráulico mediante la pavimentación con cimbra fija, como son la elaboración del concreto hidráulico, considerando la medición y dosificación, el mezclado y transporte del concreto hidráulico, la instalación y característica de la cimbra, la colocación del concreto hidráulico, los equipos y métodos de compactación del concreto hidráulico, el texturizado del pavimento, el curado del concreto hidráulico, el descimbrado, así como el aserrado y sellado de las juntas.

De igual forma se proporcionan las prácticas no recomendadas que suelen emplearse durante la construcción así como las consecuencias que se tienen debido a dichas prácticas

6.3 Método de diseño de pavimento de concreto hidráulico PCA y AASHTO

Para realizar el diseño de un pavimento es indispensable conocer los datos particulares del proyecto que se realiza. Los datos deben representar las características reales que se tienen, ya que el diseño se hace en base a los datos con los que se alimenta, y si los datos que se introducen no representan las condiciones reales el diseño que se obtenga no tendrá el comportamiento esperado.

6.3.1 Análisis de sensibilidad de los parámetros de entrada del método de la PCA

Para el análisis de sensibilidad de los parámetros de entrada en el método de la PCA, se establecen un valor fijo para cada uno de los parámetros y se obtiene un espesor de diseño para las condiciones establecidas previamente. A continuación se proponen nuevos valores de un solo parámetro y se observa los distintos espesores de diseño que se obtienen. Con esto podemos observar la importancia que tiene el valor del parámetro sobre el espesor de diseño obtenido.

Para el caso del método de la PCA se consideró los siguientes valores de los parámetros:

ESAL's= 2429682

MR= 3.75 MPa

E= 25312.5 MPa

K= 27.2 MPa/m

Soporte Lateral

Con estos datos se obtiene un espesor mínimo requerido de 20.22 cm.

Considerando los mismos valores de los parámetros y solo quitando soporte lateral el espesor de la losa de concreto hidráulico incrementa en un 16.33% dando un espesor de 23.52 cm.

La Figura 6.1 muestra el efecto del módulo de ruptura en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

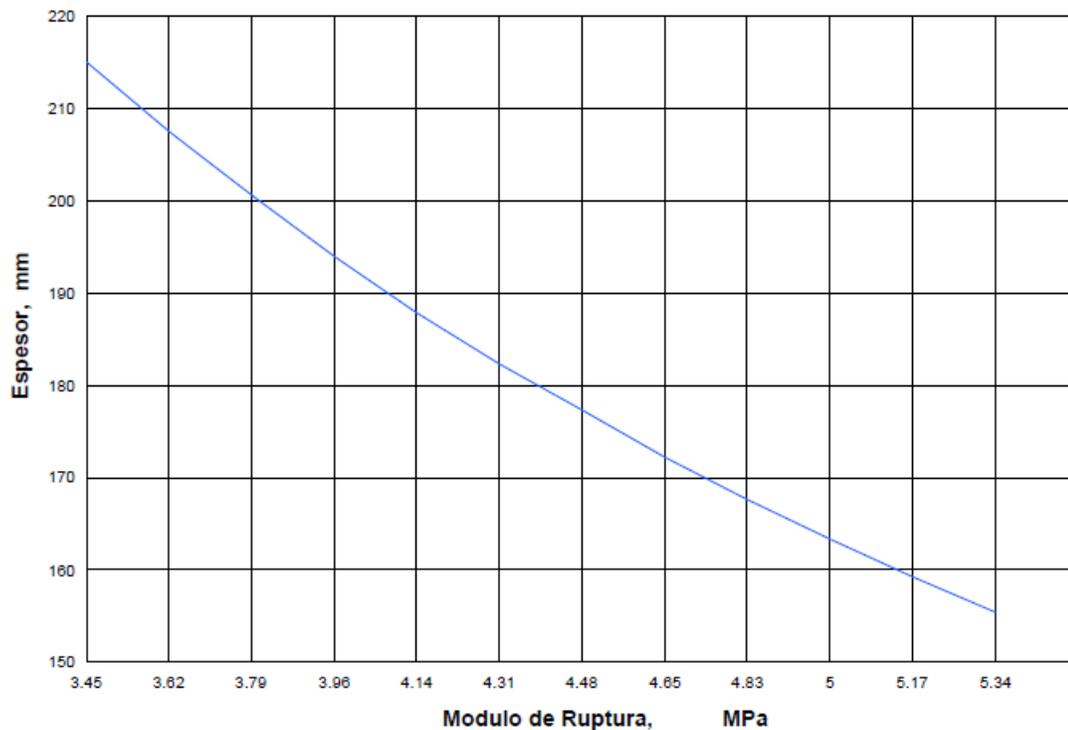


Figura 6.1.- Efecto del Módulo de Ruptura en el Espesor de la Losa, Método PCA.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.1 al incrementar el módulo de ruptura del concreto se reduce el espesor de la losa, se puede reducir el espesor de la losa hasta 40 milímetros al pasar de un módulo de ruptura de 3.62 MPa a 4.83 MPa.

En este caso es importante hacer un análisis económico para identificar los costos de un concreto con un módulo de reacción mayor, para determinar el módulo de ruptura que adecuado.

La Figura 6.2 muestra el efecto del módulo de reacción en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

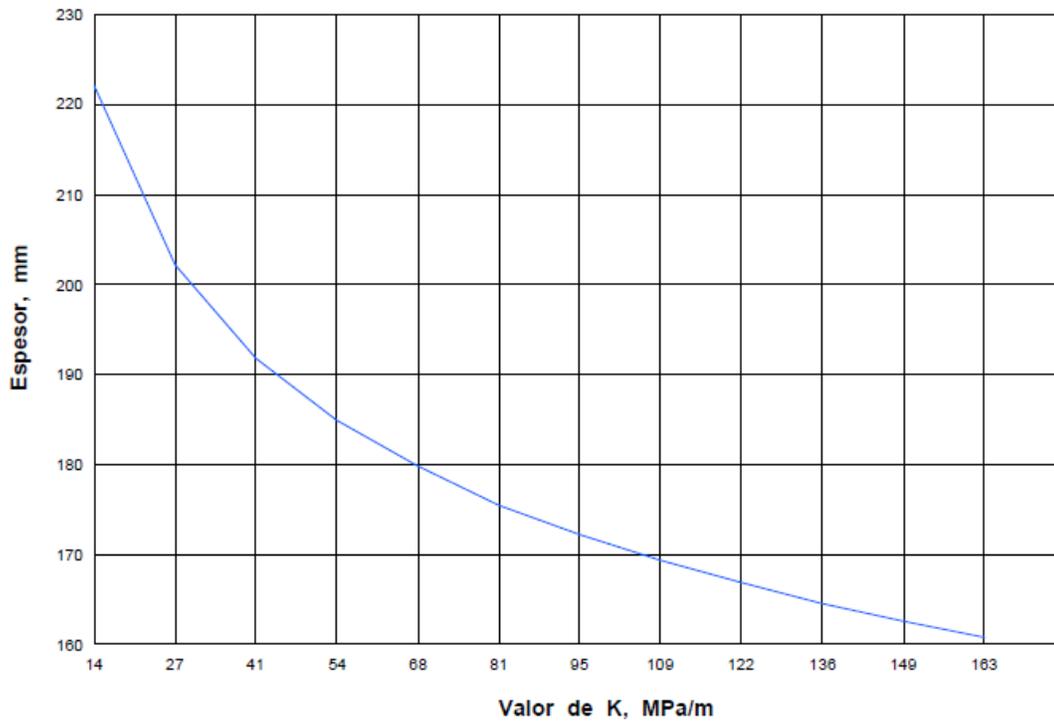


Figura 6.2.- Efecto del Módulo de Reacción en el Espesor de la Losa, Método PCA.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.2 conforme mayor sea el módulo de reacción se tiene un suelo menos deformable, con lo cual se reduce el espesor de la losa, se puede reducir el espesor de la losa hasta 50 milímetros al pasar de un módulo de reacción de 14 MPa a 109 MPa.

6.3.2 Análisis de sensibilidad de los parámetros de entrada del método AASHTO

Para el caso del método AASHTO se consideró los siguientes valores de los parámetros:

ESAL's= 2 429,682

MR= 544 psi

E= 3, 600,000.0 psi

K= 100 psi/in

R= 85%

So= 0.35

J= 3.1

Cd= 1.1

IS= 4.5

TS= 2.0

Con estos datos se obtiene un espesor de la losa de 19.91 cm.

La Figura 6.3 muestra el efecto del módulo de ruptura en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

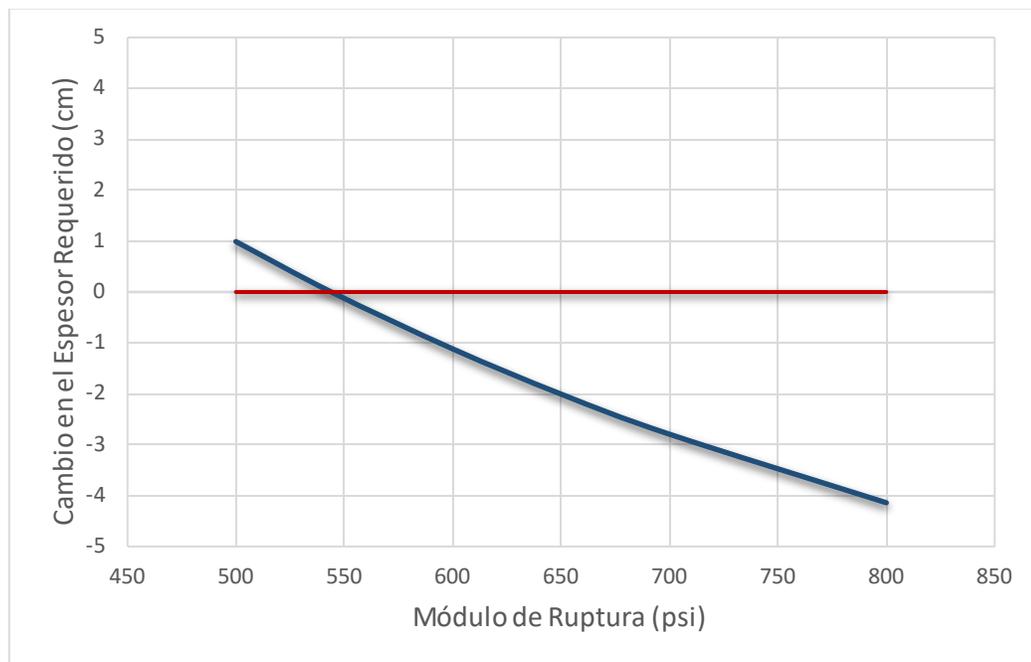


Figura 6.3.- Efecto del Módulo de Ruptura en el Espesor de a Losa, Método AASHTO.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.3 mientras mayor sea el módulo de ruptura del concreto se reduce el espesor de la losa, se puede reducir el espesor de la losa hasta 5 centímetros al pasar de un módulo de ruptura de 500 psi a 800 psi.

La Figura 6.4 muestra el efecto del módulo de reacción en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

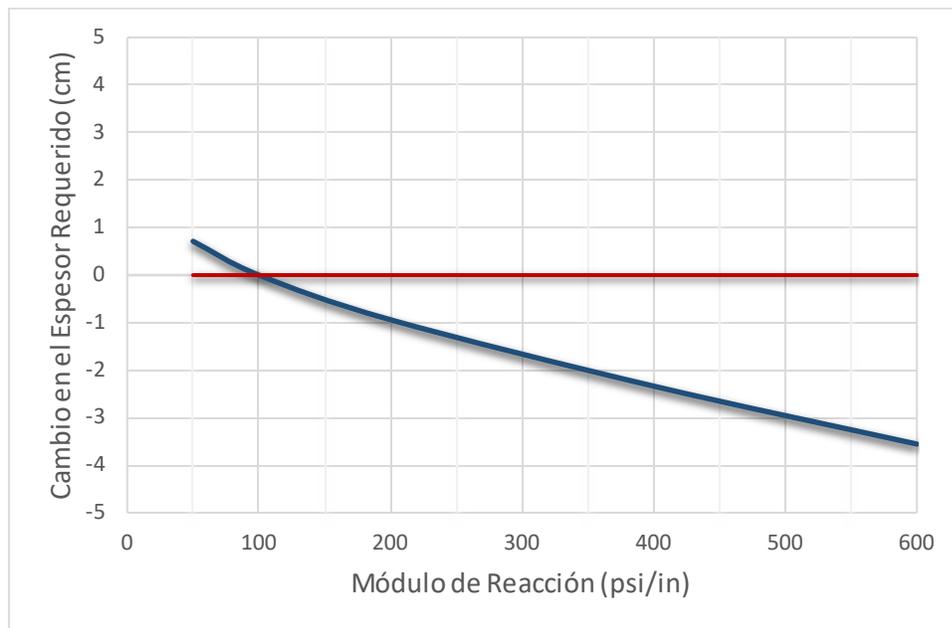


Figura 6.4.- Efecto del Módulo de Reacción en el Espesor de la Losa, Método AASHTO.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.4 conforme menor sea el módulo de reacción, el espesor de la losa es mayor, ya que es menor la resistencia del suelo, se puede reducir el espesor de la losa hasta 4 centímetros al pasar de un módulo de reacción de 50 psi a 600 psi.

La Figura 6.5 muestra el efecto de la confiabilidad en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

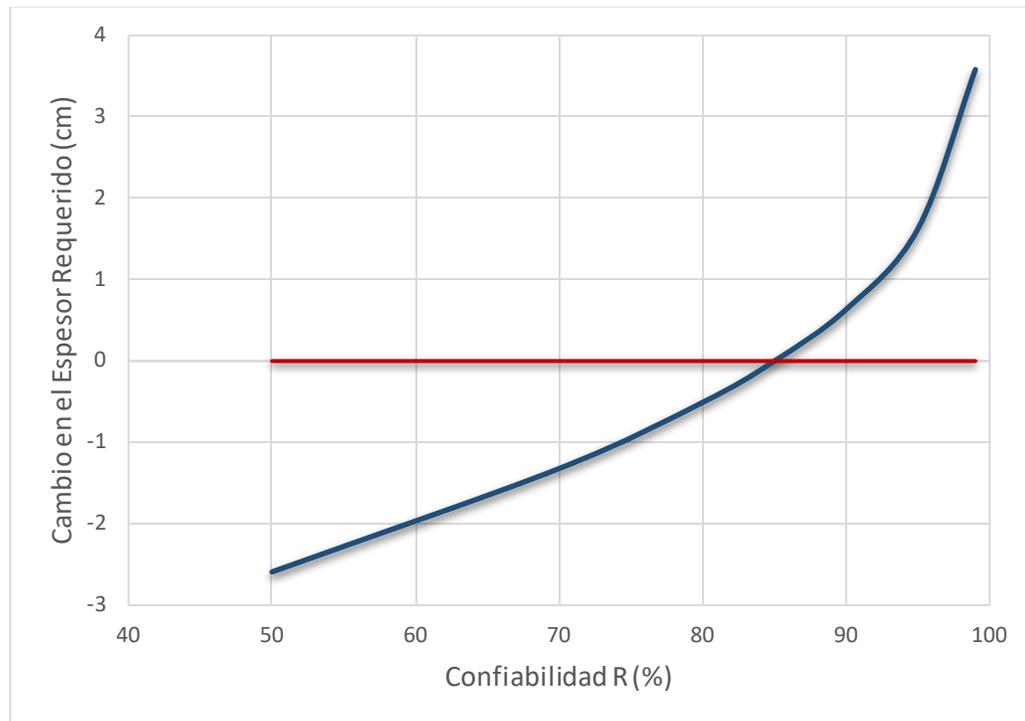


Figura 6.5.- Efecto de la Confiabilidad (R) en el Espesor de la Losa, Método AASHTO.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.5 conforme menor sea la confiabilidad, el espesor de la losa es menor, se puede reducir el espesor de la losa hasta 6 centímetros al pasar de una confiabilidad del 50% a una del 90%.

La Figura 6.6 muestra el efecto del coeficiente de transferencia de carga en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

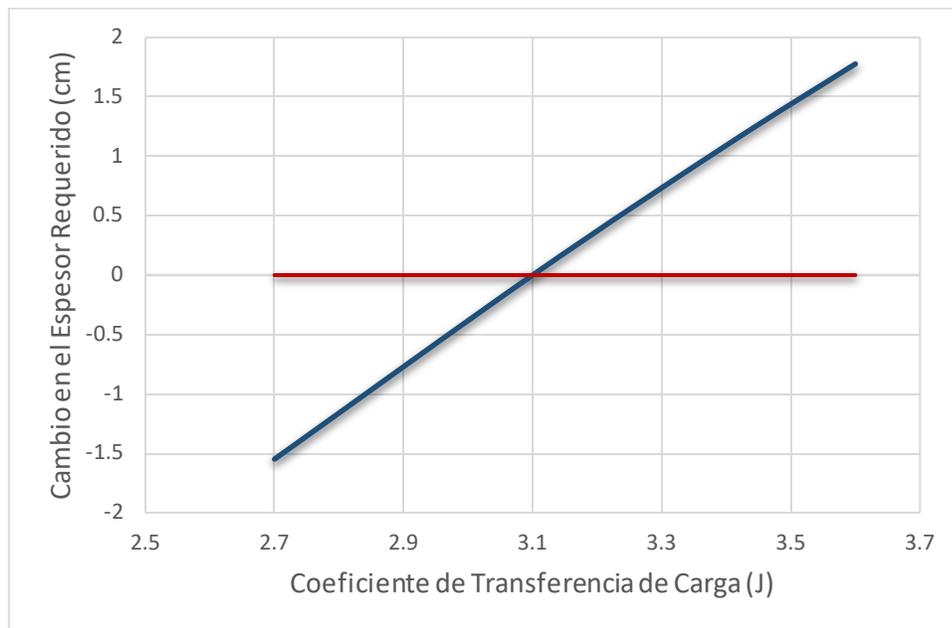


Figura 6.6.- Efecto del Coeficiente de Transferencia de Carga en el Espesor de la Losa.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.6 conforme menor sea el coeficiente de transferencia de carga, el espesor de la losa es menor, ya que es mejor la transferencia de carga, se puede reducir el espesor de la losa hasta 3 centímetros al pasar de un coeficiente de transferencia de carga de 3.6 a uno de 2.7

La Figura 6.7 muestra el efecto del coeficiente de drenaje en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

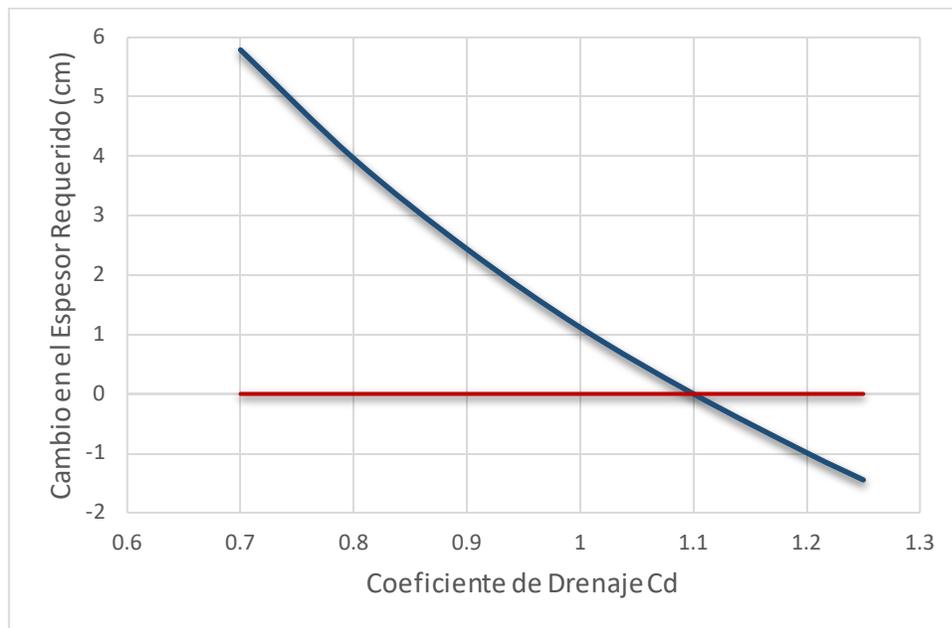


Figura 6.7.- Efecto del Coeficiente de Drenaje en el Espesor de la Losa, Método AASHTO.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.7 al incrementar el coeficiente de drenaje se reduce el espesor de la losa, se puede reducir el espesor de la losa hasta 7 centímetros al pasar de un coeficiente de drenaje de 0.7 a 1.25.

La Figura 6.8 muestra el efecto del índice de servicio inicial en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

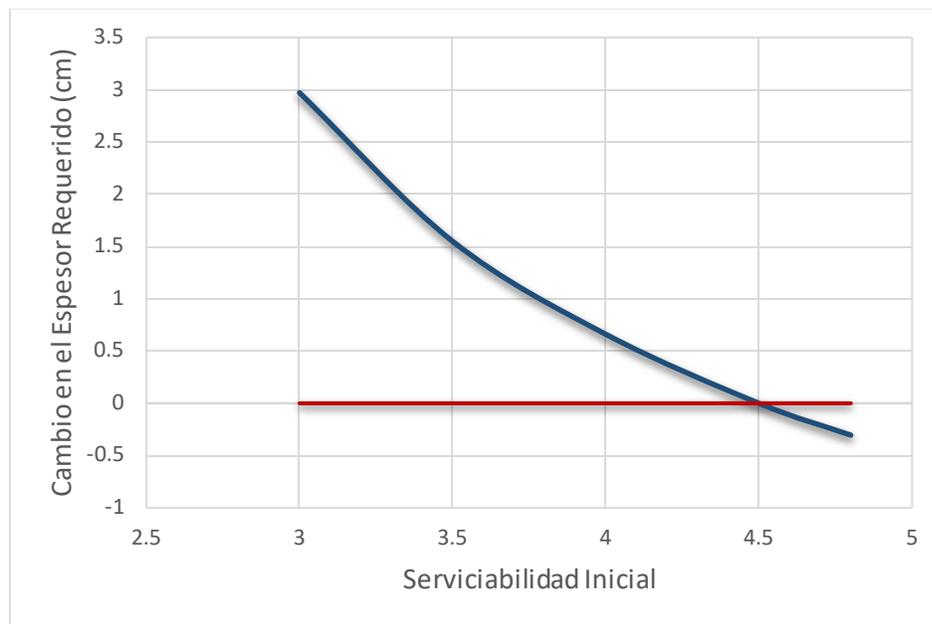


Figura 6.8.- Efecto de la Serviciabilidad Inicial en el Espesor de la Losa, Método AASHTO.
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.8 al incrementar el índice de servicio inicial se reduce el espesor de la losa, se puede reducir el espesor de la losa hasta 3 centímetros al pasar de un índice de servicio inicial de 3 a 4.8.

La Figura 6.9 muestra el efecto del índice de servicio final en el espesor de la losa considerando los parámetros previamente definidos.

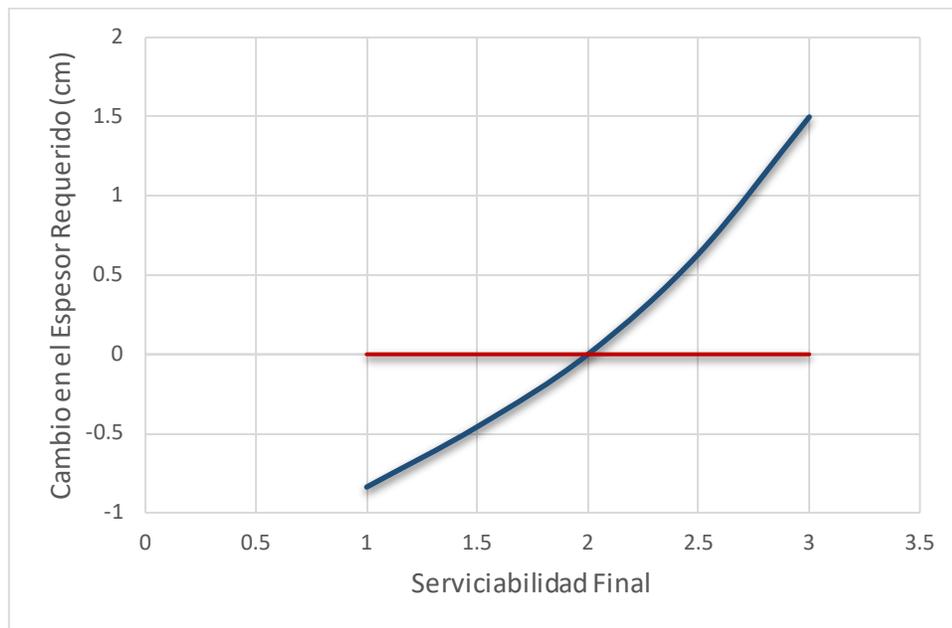


Figura 6.9.- Efecto de la Serviciabilidad Final en el Espesor de la Losa. (Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 6.9 conforme menor sea el índice de servicio final, el espesor de la losa es menor, se puede reducir el espesor de la losa hasta 2.5 centímetros al pasar de un índice de servicio final de 3 a uno de 1

Con estos datos se observa que el método de diseño AASHTO las variables con mayor efecto sobre la el módulo de ruptura, la confiabilidad, la transferencia de carga y el coeficiente de drenaje. Mientras las variables con menos sensibles son el módulo de elasticidad y la desviación estándar.

Realizando una comparación entre ambos métodos utilizando los mismos valores de los parámetros que tienen en común y variando solo las condiciones de tránsito se tienen los espesores que indica la Tabla 6.2.

Tabla 6.2.- Espesores de acuerdo a la variación de ESAL's, por el Método PCA y AASHTO.

Tráfico (ESALs)	PCA (cm)	AASHTO (cm)
500,000.00	20.42	16.18
1,000,000.00	20.93	18.44
5,000,000.00	22.20	24.10
10,000,000.00	22.81	26.82
30,000,000.00	23.83	31.67

(Elaboración propia)

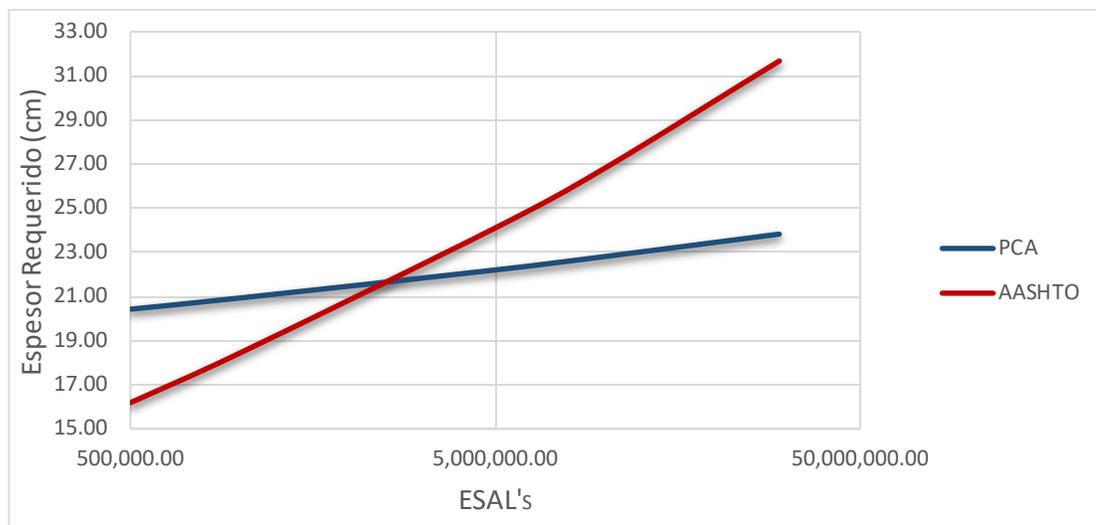


Figura 6.10.- Espesores de Acuerdo a la Variación de ESALs, por el Método PCA y AASHTO.
(Elaboración propia)

Al realizar una comparativa de una sección con los mismos datos utilizando en los métodos de diseño seleccionadas se tiene que en bajas condiciones de tráfico los espesores que arroja el método de la AASHTO son menos robustos que el método de la PCA, por lo cual la sección que arroja el método de la AASHTO es más económica si el tráfico es bajo.

Mas, sin embargo, para tráficos altos el método de la PCA resulta en espesores más delgados que el método AASHTO. En estas condiciones de tráfico es más económico construir utilizando el método de la PCA

Haciendo un resumen del método de la PCA se tiene que:

- Es altamente sensible en condiciones de soporte lateral y transferencia de carga.
- Es menos sensible a condiciones de resistencias del concreto hidráulico (MR) y del suelo (K).
- Es sensible a las condiciones de tráfico.
- No toma en cuenta condiciones climatológicas.
- No toma en cuenta condiciones de drenaje/subdrenaje.

Haciendo un resumen del método AASHTO se tiene que:

- Es altamente sensible al cambio de ESALs, las condiciones de drenaje del suelo y a la confiabilidad.
- Es sensible a condiciones de resistencias del concreto hidráulico (MR) y del suelo (K).
- Es menos sensible a la pérdida de serviciabilidad.

6.4 Recomendaciones

En base a los análisis realizados y los resultados obtenidos se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Actualizar el Reglamento de Construcción y de los Servicios Urbanos para el Municipio de Morelia, en lo referente al Título Tercero Normas de Seguridad Estructural en el capítulo X “Pavimentos rígidos” para que se establezca un método de diseño particular para la ciudad de Morelia, del mismo modo que especifique más a detalle los procesos constructivos más relevantes durante la construcción de un pavimento de concreto hidráulico.
2. Dar a conocer cuáles son los efectos de conlleva las malas prácticas constructivas, mediante capacitaciones a los encargados de la supervisión de la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.
3. Incrementar el personal de las dependencias de gobierno encargadas de revisar que se lleve un adecuado control de calidad y que los procesos constructivos empleados sean correctos.
4. La redacción de un manual de procedimientos constructivos empleando extendedoras de cimbra deslizante.

7. Conclusiones

El uso del concreto hidráulico para la construcción de carreteras y vialidades urbanas está en aumento, en especial las vialidades urbanas, más sin embargo en pavimentos contruidos recientemente se presentan deterioros prematuros, debido a deficiencias en los procedimientos constructivos, aunados a un deficiente control de calidad que se tiene en las obras.

La normativa existente establece criterios de calidad que se deben cumplir durante la construcción de un pavimento de concreto hidráulico, pero no especifica de forma adecuado los procedimientos constructivos que se deben emplear para poder cumplir con la calidad que se pide, por lo que es necesario complementar la normativa para obtener mejores resultados en la construcción de los pavimentos de concreto hidráulico.

No existe en México un manual de procedimientos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico que establezca criterios para llevar a cabo una construcción adecuada de un pavimento de concreto hidráulico.

La falta de capacitación del personal que interviene en la construcción de pavimento, conlleva a que no siempre se empleen estrategias adecuadas en cada una de las etapas que intervienen durante la construcción. Por lo cual es fundamental que el personal conozca las características y el comportamiento de los materiales, los equipos y las técnicas apropiadas, para lograr que durante la construcción del pavimento se obtengan resultados satisfactorios.

Se propone establecer el método de diseño ASSHTO 93 para los pavimentos de concreto que se vayan a construir en la ciudad de Morelia, ya que este método involucra más factores y características para predecir el comportamiento del pavimento.

Referencias

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACI-304-00. (2000). *Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*.
- ACI-308-01. (2001). *Guide to curing concrete*.
- ACI-308-01. (2001). *Guide to Curing Concrete*.
- ACI-309-05. (2005). *Guide for Consolidation of Concrete*.
- American Concrete Pavement Association. (1996). *Construction of Portland Cement Concrete Pavements*. Washington, DC.
- ASTM-C-109-02. (2002). *Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or [50-mm] cube specimens)*.
- ASTM-C-127-01. (2001). *Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate*.
- ASTM-C-128-01. (2001). *Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate*.
- ASTM-C-138-01. (2001). *Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete*.
- ASTM-C-150-04. (2004). *Standard Specification for Portland Cement*.
- ASTM-C-151-00. (2000). *Standard test method for autoclave expansion of portland cement*.
- ASTM-C-172-99. (1999). *Standard practice for sampling freshly mixed concrete*.
- ASTM-C-186-98. (1998). *Standard test method for heat of hydration of hydraulic cement*.
- ASTM-C-187-98. (1998). *Standard test method for normal consistency of hydraulic cement*.
- ASTM-C-191-04. (2004). *Standard test method for time of setting of hydraulic cement by Vicat Needle*.
- ASTM-C-204-00. (2000). *Standard test method for fineness of hydraulic cement by air-permeability apparatus*.
- ASTM-C-295-03. (2003). *Standard guide for petrographic examination of aggregates for concrete*.
- ASTM-C-309-11. (2011). *Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete*. West Conshohocken, PA.
- ASTM-C-33-03. (2003). *Standard specification for concrete aggregates*.

- ASTM-C-403-99. (1999). *Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance*.
- ASTM-C-451-04. (2004). *Standard test method for early stiffening of hydraulic cement (paste method)*.
- ASTM-C-94-04. (2004). *Standard specification for ready-mixed concrete*.
- Commonwealth of Pennsylvania Department of Transportation. (2015). *Concrete Field Testing Technician Certification raining Manual*. Pennsylvania.
- Delatte, N. (2008). *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance*. USA: Taylor & Francis.
- Estado de Nuevo León. (2010). *Ley para la Construcción y Rehabilitación de Pavimentos del Estado de Nuevo León*. Monterrey Nuevo León.
- Fahl, T. P. (2006). *Concreto: herramientas, materiales y prácticas de construcción*. EE.UU.
- Gobierno del Distrito Federal. (2013). Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal. En *Construcción e Instalaciones. Obra Civil en Urbanización* (pág. 466). Ciudad de México.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- IMT. (1990). *MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS*. Sandfandila, Qro.
- Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia. (1994). *Reglamento de Construcción y de los Servicios Urbanos para el Municipio de Morelia*. Morelia, Michoacán.
- Jack A. Scott, P. (1999). *Construction Manual Fot Airport Pavements*.
- Karleen Kelleher, R. M. (s.f.). Pavement Design and Economic Analysis. *The Design of Plain Doweled Jointed Concrete Pavement*.
- N-CMT-1-03. (2002). Materiales para Subrasantes. En SCT, *Características de los Materiales* (págs. 1-5). México.
- N-CMT-4-02-001/11. (2011). Materiales para subbases. En SCT, *Características de los Materiales* (pág. 7). México.
- N-CMT-4-02-002/11. (2011). Materiales para bases hidráulicas. En SCT, *Características de los Materiales* (págs. 1-11). México.
- N-CRT-CAR-1-04-009. (2006). Carpetas de Concreto Hidráulico. En SCT, *Construcción* (págs. 1-37). México.

- NMX-C-049-ONNCCE-2013. (2013). *Industria de la Construcción - Cementantes hidráulicos - Método de ensayo para la determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante la malla 0.045 mm (No. 325).*
- NMX-C-056-ONNCCE-2013. (2013). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación de la finura de los cementantes hidráulicos (Método de permeabilidad al aire).*
- NMX-C-057-ONNCCE-2010. (2000). *Industria de la Construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación de la consistencia normal.*
- NMX-C-059-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la Construcción - Cementos hidráulicos - Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos.*
- NMX-C-061-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.*
- NMX-C-062-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Determinación de la sanidad de cementantes hidráulicos.*
- NMX-C-083-ONNCCE-2002. (2002). *Industria de la construcción - Concreto - Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto - Método de prueba.*
- NMX-C-109-ONNCCE-2013. (2013). *Industria de la construcción - Concreto hidráulico - Determinación del cabeceo de especímenes.*
- NMX-C-111-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción - Agregados para concreto hidráulico - Especificaciones y métodos de prueba.*
- NMX-C-122-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción - Agua para concreto - Especificaciones.*
- NMX-C-132-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la Construcción - Cementos hidráulicos - Determinación del fraguado falso del cemento hidráulico.*
- NMX-C-151-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación del calor de hidratación.*
- NMX-C-155-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la construcción - Concreto hidráulico industrializado - Especificaciones.*
- NMX-C-156-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Concreto hidráulico - Determinación del revenimiento en concreto fresco.*
- NMX-C-159-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción - Concreto - Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.*
- NMX-C-160-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Concreto - Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.*

- NMX-C-161-ONNCCE-1997. (1997). *Industria de la construcción - Concreto fresco - Muestreo.*
- NMX-C-162-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Concreto hidráulico - Determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.*
- NMX-C-164-ONNCCE-2002. (2002). *Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso.*
- NMX-C-165-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción - Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino - Método de prueba.*
- NMX-C-177-ONNCCE-1997. (1997). *Industria de la construcción - Concreto - Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, mediante la resistencia a la penetración.*
- NMX-C-196-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la maquina de los ángeles.*
- NMX-C-265-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Agregados para concreto hidráulico - Examen petrográfico - Método de ensayo.*
- NMX-C-303-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Concreto hidráulico - Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en el centro del claro.*
- NMX-C-414-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Especificaciones y métodos de ensayo.*
- NMX-C-435-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la construcción - Concreto hidráulico - Determinación de la temperatura del concreto fresco.*
- Office of Pavement Design . (2008). *Guide for Design and Construction of New Jointed Plain Concrete Pavements (JPCPs).*
- Poole, T. S. (2005). *Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavements.* Vicksburg, MS.
- Rollings, R. (2001). *Concrete Pavement Design: It's More Than a Thickness Design Chart.* Orlando FL.
- Snyder, M. B. (2011). *Guide to Dowel Load Transfer Systems for Jointed Concrete Roadway Pavements.* Ames, IA.
- Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.* EE.UU.

Apéndice I

Propuesta de Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto
Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad



Ing. Marcos Monroy Mendoza

Índice

Elaboración de concreto hidráulico	4
Medición y dosificación.	5
Mezclado	7
Transporte del concreto hidráulico	8
Tipo de pavimentación.....	11
Cimbra.....	12
Colocación del concreto hidráulico.....	16
Compactación del concreto hidráulico.....	18
Texturizado.....	21
Curado.....	24
Descimbrado	25
Aserrado y sellado de las juntas.....	26
Diagrama pavimentación de concreto hidráulico con cimbra fija	32

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

En la actualidad los pavimentos de concreto hidráulico son una opción muy viable para la construcción de vialidades urbanas y carreteras, y estas tendrán un buen desempeño siempre y cuando sean construidas aplicando adecuadamente una metodología de diseño y tomando las precauciones adecuadas durante su construcción y conservación.

Los procedimientos constructivos empleados en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico tienen una vital importancia, ya que el empleo de procesos constructivos ineficientes conducen a reducción de la vida del pavimento, por lo cual el pavimento presenta deterioros prematuros, reduciendo el nivel de servicio y originando que requiera mantenimientos anticipados.

La calidad del concreto no solo depende de la calidad de los componentes del concreto, también depende de los equipos y métodos empleados para su elaboración.

Objetivos:

- **Mejorar prácticas constructivas.**
- **Prácticas no recomendables y sus consecuencias.**

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Elaboración de concreto hidráulico

Para la elaboración del concreto hidráulico es importante conocer las características de los bancos de materiales disponibles en la zona, de igual forma, debe encontrarse la ubicación de la planta de mezclado central, de manera que se minimicen los acarreos de los agregados y del concreto hidráulico elaborado.

La calidad del concreto no solo depende de la calidad de los componentes del concreto, también depende de los equipos y métodos empleados para su elaboración.

- **Cemento**

El cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado compuesto principalmente de silicatos hidráulicos de calcio, el cual al agregarle agua tiene la propiedad de fraguar y endurecer, esto es debido a la reacción química con el agua (hidratación), una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad. Todo el cemento se debe almacenar en, las estructuras de ventilación adecuada a la intemperie para evitar la absorción de humedad.



Cemento



Agregados



Agua

- **Agregados**

Los agregados empleados en la elaboración del concreto hidráulico constituyen aproximadamente del 60 al 75% del volumen del concreto, por lo que su selección es muy importante, ya que deben cumplir con los criterios de calidad que se establezcan en cada proyecto en particular.

- **Agua**

El elemento más difícil de controlar es el agua, ya que un pequeño incremento o decremento de la cantidad de agua puede afectar en gran medida la apariencia y el desempeño del pavimento.

Figura 1.- Componentes del concreto hidráulico.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Medición y dosificación.

La correcta elaboración de un concreto depende en gran medida del equipamiento del cual se dispone en la obra. Los dispositivos de dosificación deben garantizar la determinación exacta de las proporciones requeridas de los componentes: cemento, agregados, agua y aditivos.

- **Cemento**

El cemento hidráulico se debe dosificar por peso.

- **Agregados**

Los agregados se deben dosificar por peso, dosificar por volumen no debe ser permitido. En obras pequeñas se acostumbra dosificar por volumen empleando como medida los botes y carretillas. La dosificación por peso permite ajustar y compensar considerando el contenido de humedad que tiene el agregado.

- **Agua**

El agua se puede dosificar por peso o por volumen. En muchos casos se le incorpora agua de más a la mezcla para mejorar la trabajabilidad del concreto hidráulico. Cuando se emplea una cantidad de agua mayor a la que se establece en el diseño de la mezcla, el exceso de agua provoca que se diluya la pasta de cemento, reduciendo la resistencia del concreto, de igual forma si la mezcla es muy húmeda puede ocurrir segregación y formación de huecos.

Tabla 1.- Tolerancias típicas de dosificación de componentes del concreto hidráulico.

Ingredientes	Tolerancias
Cemento (peso)	± 1%
Agregados (peso)	± 2%
Agua (peso o volumen)	± 1%
Aditivos	± 1%

Dosificaciones inadecuadas de los materiales producen mezclas de concreto hidráulico con diferentes características a las deseadas. La variación entre una mezcla y otra produce pérdida de uniformidad en el concreto hidráulico.

Se debe buscar que todo el concreto que se elabore sea uniforme.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

* Practicas no recomendadas

Cemento

- No utilizar cemento que no cumpla con las normas NMX correspondientes al cemento.
 - Al utilizar cemento que no cumple con lo establecido en la normas NMX, el concreto hidráulico puede no cumplir con las características de diseño.
- No utilizar cemento que haya estado en contacto con humedad.
 - El cemento al entrar en contacto con la humedad empieza a reaccionar químicamente, por lo cual si se emplea cemento húmedo en la elaboración del concreto hidráulico no se conseguirán las características deseadas ya que el cemento no reaccionara de forma adecuada.
- No utilizar equipos inadecuados para la dosificación del cemento.
 - Si se coloca una cantidad inferior de cemento en la elaboración del concreto hidráulico, la resistencia a flexión resultante será inferior a la de diseño.
 - Utilizar una mayor cantidad de cemento incrementa los costos de elaboración de concreto hidráulico.

Agregados:

- No utilizar agregados que no cumplan con las normas NMX correspondientes a agregados para la elaboración de concreto hidráulico.
 - Emplear agregados que no cumplan con lo establecido en las normas NMX en la elaboración del concreto hidráulico resulta en bajas resistencias del concreto hidráulico.
- No se debe dosificar por volumen.
 - Al dosificar por volumen no se conoce la cantidad de humedad que contienen los agregados. Un contenido de agua mayor disminuye la resistencia del concreto hidráulico.

Agua:

- No se debe emplear agua que no cumpla con lo establecido en la norma NMX en la elaboración de concreto hidráulico.
 - Emplear agua con alto contenido de impurezas resulta en concretos hidráulicos de baja resistencia y poca afinidad.
- Equipos adecuados para la dosificación del agua.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Mezclado

Actualmente se cuenta con dos formas de elaborar el concreto hidráulico:

- Fabricado en planta.
- No fabricado en planta.

Concreto fabricado en Planta

Es la forma más recomendable. Requiere disponer de una planta de concreto y de un servicio de control de calidad de producción. Así se consigue una gran homogeneidad y uniformidad de las masas de concreto. El concreto fabricado en planta puede ser:

- Concreto mezclado en planta central.
- Concreto mezclado en dos fases: En planta y en tránsito.
- Concreto mezclado en camión.

Cuando el concreto es mezclado en una planta central, los ingredientes se dosifican y se cargan en una mezcladora estacionaria.

En el concreto mezclado en dos fases primero se mezcla parcialmente en una planta central y luego se termina de mezclar en un camión mezclador.

En el concreto hidráulico elaborado por medio de un camión de mezclado de concreto hidráulico, los ingredientes se dosifican y se cargan directamente en el camión, dentro del cual se realiza la mezcla del concreto hidráulico.

En este caso el controlador del camión es el responsable de la mezcla del concreto hidráulico. Para utilizar el concreto hidráulico es necesario esperar hasta que el equipo complete la mezcla del concreto hidráulico, mas sin embargo el tiempo entre mezclado y descarga completa del concreto en la obra no tiene que ser mayor de una hora y medio, o antes de que el camión haya logrado 300 revoluciones.

* Practicas no recomendadas

Mezclado:

- Diferentes tiempos de mezclado en la elaboración de concreto hidráulico.
 - Si los tiempos de mezclado entre una mezcla y otra son muy diferentes se presentan problemas de uniformidad, resultando en diferentes características entre un concreto y otro.
- Poco tiempo de mezclado.
 - Poca homogeneidad en el concreto hidráulico, resultando en concretos débiles.



Figura 2.- Planta Mezcladora Central.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Tiempo de mezclado

El tiempo requerido para el mezclado se basa en la capacidad de la mezcladora para producir concreto uniforme durante la mezcla. El tiempo de mezclado se mide desde el momento en que todos los ingredientes han sido colocados a la mezcladora.

Tabla 2.- Tiempo mínimo de mezclado del concreto hidráulico.

Capacidad de la revolvedora (m³)	Tiempo mínimo de mezclado (s)
Inferior de 0.75	60
Entre 0.75 y 1.50	75
Entre 1.50 y 2.25	90
Entre 2.25 y 3.0	105
Entre 3.00 y 3.75	120
Entre 3.75 y 4.80	135

Transporte del concreto hidráulico

Los equipos que se utilizan para el transporte del concreto hidráulico son los siguientes:

- Camión mezclador.
- Camión no mezclador.

El transporte debe ser lo más velozmente posible desde la planta a la obra.

El concreto será usado rápidamente para poder conservar su calidad.

Si el concreto es transportado por camión mezclador, es necesario que éste sea mezclado al momento del arribo por 1-2 minutos (20 revoluciones al menos) antes de ser descargado.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Cualquiera que sea la forma de transporte, deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Evitar las vibraciones y choques, así como un exceso de agua, que favorecen la segregación.
- Se evitará, en lo posible, que el concreto se seque durante el transporte. La mejor manera de evitar este secado es si se maneja el concreto en forma inmediata, proteger contra el sol y el viento y si se pintan los recipientes expuestos al sol de blanco brillante.
- Si un vehículo no puede ser descargado en el momento de su arribo a la obra, tendrá que esperar en un lugar protegido (a la sombra o bajo techo).
- Si al llegar al lugar de colocación el concreto muestra un principio de fraguado, la masa debe desecharse y no ser puesta en obra.

* Practicas no recomendadas

Transporte del concreto hidraulico:

- No se debe utilizar equipos que favorezcan la segregación y el secado del concreto.
 - Las vibraciones favorecen la segregación del concreto hidraulico.
 - Equipos pintados de colores oscuros hacen que el concreto hidraulico se seque mas pronto.



Figura 3.- Transporte de concreto hidráulico en camión no mezclador



Figura 4.- Recomendaciones de acabados de camión mezclador de concreto hidráulico.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

- **Concreto no fabricado en Planta**

Es la fabricación en mezcladoras en obra. Su empleo no es aconsejable salvo en obras de poca importancia, por las grandes dispersiones que resultan de este tipo de preparación.

A veces las operaciones son efectuadas con sistemas poco adecuados como son los de dosificación por volumen. En este sistema la medición de los agregados se hace por volúmenes aparentes, con poca precisión, sin tener en cuenta su contenido de humedad, la cantidad de agua se estima según la apreciación visual de la consistencia y trabajabilidad.

El equipo que comúnmente se emplea para la fabricación de concreto hidráulico en obra es la revolvedora, las cuales tienen capacidades de 200 a 400 litros.



Figura 5.- Elaboración de concreto hidráulico en obra, utilizando revolvedora de 200 litros.



Figura 6.- Pérdida de uniformidad del concreto debido a tiempos de mezclado y dosificaciones diferentes.

El concreto elaborado por este método puede presentar problemas de uniformidad, ya que el dosificamiento varía de una mezcla a otra

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Tipos de pavimentaciones

De acuerdo al proceso constructivo empleado en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Pavimentación con cimbra fija.
- Pavimentación con cimbra deslizante.



Figura 7.- Pavimentación con cimbra fija.

Pavimentación con cimbra fija

Requiere cimbra fija para contener el concreto

Pavimentadora de cimbra deslizante

La cimbra deslizante da forma al concreto y no requiere una cimbra fija para contener el concreto



Figura 8.- Pavimentación con cimbra deslizante.

Pavimentación con cimbra fija.

Este tipo de pavimentación se utiliza en calles de zonas urbanas, caminos locales, aeropuertos y zonas complicadas de corta longitud con anchos variables.

Existe una gran cantidad de factores críticos implicados en la construcción de un pavimento de concreto. El más importante es la implementación de una red de comunicación. Todos los involucrados tendrán la información disponible en el momento oportuno para llevar a cabo su función.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Cimbra

La cimbra fija es el molde que determina el espesor del pavimento, la anchura y la planicidad de la superficie. La manera más eficiente de colocar el concreto en áreas grandes es haciendo tiras largas y no se recomienda colocar el concreto utilizando la secuencia de tablero de ajedrez, debido a que requiere más tiempo, más material de cimbra y usualmente resulta en superficies menos regulares con mala transferencia de carga en las juntas.

Las especificaciones típicas de las cimbras fijas (American Concrete Pavement Association, 1996) son:

- Cada sección de la cimbra está hecha usualmente de metal de al menos 5.6 milímetros de espesor y 3 metros de longitud.
- La profundidad de la cimbra será igual al espesor del pavimento.
- La anchura de la base de la cimbra proporcionará la estabilidad necesaria para soportar el empuje de la mezcla del concreto hidráulico.
- Los apoyos de la cimbra se extenderán sobre la base no menos de 2/3 de la profundidad de la cimbra.
- Todas las cimbras permitirán la unión con cimbras adyacentes, esta unión será firme y estará al ras cuando estén en posición.
- Para un ajuste seguro, se utilizarán estacas en la cimbra con un mínimo de dos pasadores de fierro por cada 3 metros.
- Las cimbras serán limpiadas y engrasadas antes de usarse.

La cimbra tendrá una superficie perfectamente plana, no deben variar por más de 3 mm en 3 m, cualquier variación puede ser detectada con una regla o una línea de referencia. La cara de la cimbra no variará por más de 6 mm en 3 m considerando una línea plana.

Una vez colocada la cimbra se evitará el movimiento de ésta, ya que cualquier movimiento de la cimbra hacia arriba o hacia abajo resultará en un pavimento en mal estado. Se recomienda reciclar o desechar cualquier cimbra que este doblada o torcida.



Figura 9.- Colocación de cimbra metálica.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Cimbra

El ajuste de la cimbra es un paso crítico de la construcción, la cimbra será fijada con precisión y se apoyará de manera uniforme sobre una base sólida. La lisura del acabado del pavimento depende del cuidado con el que la cimbra es colocada, debido a que el equipo del acabado se mueve sobre la cimbra. La alineación y elevación adecuada de la cimbra contribuirá a un pavimento liso. Antes de colocar la cimbra, será inspeccionada individualmente para determinar si cumplen o no con los requisitos especificados.

Los pasadores tendrán la longitud suficiente para sujetar la cimbra en su lugar durante la colocación y el acabado del concreto hidráulico, estos pasadores serán revisados regularmente para evitar cualquier movimiento causado por algún equipo o personal que se mueva sobre la cimbra.

Si hay alguna cimbra que se encuentre por encima de la línea de referencia, será acomodada o recortada para que coincida con la línea de referencia, por otro lado, si se encuentra por debajo de la línea de referencia se removerá la cimbra y se escarificará la base, se puede utilizar una cama firme de agregados triturados finos para llenar los puntos bajos y colocar la cimbra de acuerdo a la línea de referencia.



Figura 10.- Fijación de la cimbra en la capa de base.



Figura 11.- Aplicación de desmoldante en la cimbra metálica.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Cimbra

- Una vez colocada la cimbra se revisará que cumplan con las especificaciones, líneas y niveles. La forma más rápida y simple es realizar una inspección visual, se debe apreciar que la cimbra sea recta y la parte superior lisa, la mayor parte de las desviaciones se pueden apreciar fácilmente. Se puede utilizar un nivel para comprobar los errores que pudiera haber. Se comprobará el ancho de la calzada entre las cimbras para asegurar que se ajusta a lo establecido en el proyecto. En caso de haber una sección que este fuera de línea se restablecerá inmediatamente.
- Se engrasará la cimbra antes de la colocación de las barras de amarre para evitar que las barras de amarre se cubran de grasa y no exista adherencia entre el concreto hidráulico y las barras de amarre.
- En los proyectos urbanos se deben considerar drenajes pluviales, pozos de visita para el drenaje sanitario, registros de cables eléctricos, de teléfono, registros de conexiones de válvulas de agua, etc. Todos estos espacios se deben de considerar para el ajuste de la cimbra y para su posterior pavimentación. Todos estos tipos de estructuras, dependiendo de su tamaño y de su ubicación, pueden requerir de una junta especial con la losa para evitar el agrietamiento aleatorio.



Figura 12.- Verificación de las líneas y niveles de la cimbra



Figura 13.- Verificación de las líneas y niveles de la cimbra

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Cimbra

Tener un buen movimiento sobre la cimbra depende de varios factores entre ellos:

- Una base uniforme, compactada y humedecida antes de la colocación del concreto hidráulico.
- Buena compactación en la línea de cimbra.
- Cimbra que cumpla con las especificaciones.
- Colocación adecuada de la línea de referencia, colocación de la cimbra engrasada.
- Construcción apropiada de la cimbra para pozos de visita, registros, etc.
- La colocación adecuada de las canastillas para las pasajuntas.
- Un buen proveedor de concreto hidráulico y una buena comunicación.
- La entrega oportuna del concreto hidráulico, así como la colocación correcta de la mezcla, evitar el exceso de pilas.
- Mover el excedente de concreto hidráulico con palas o rastrillos, nunca utilizar vibradores para desplazar el concreto hidráulico. Tener especial cuidado en la colocación del concreto hidráulico sobre las canastillas para pasajuntas.
- Vibración y consolidación adecuada. Tener especial cuidado en la vibración cerca de la cimbra y sobre las canastillas



Figura 14.- Paseo del rodillo vibratorio sobre la cimbra.

* Practicas no recomendadas

- Cimbra:
- No se deben utilizar cimbras maltratadas que no tengan una superficie plana.
 - La cimbra proporciona la forma que tendrá el pavimento, si la cimbra esta deformada no cumplirá con las líneas y niveles de proyecto, pudiendo ocasionar depresiones en el pavimento.
- No se debe comenzar la colocación del concreto hidráulico sin revisar que la cimbra cumpla con las líneas y niveles establecidos en el proyecto. Cualquier anomalía se debe corregir antes de la colocación del concreto hidráulico.
- No se debe marcar sobre la cimbra la ubicación de las juntas transversales.
 - Las marcas sobre la cimbra se pueden borrar.

En el caso de que se construya otro carril adyacente, se colocarán barras de amarre para proporcionar una transferencia de carga entre los carriles adyacentes. Las barras de amarre se colocarán a la elevación indicada en proyecto formando un plano horizontal y deben ser perpendiculares a la junta longitudinal. Las barras de amarre se asegurarán por medio de soportes que eviten algún desplazamiento cuando se va colocando el concreto hidráulico.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Colocación del concreto hidráulico

Antes de la colocación del concreto hidráulico se revisará que el sitio esté preparado para recibir el concreto hidráulico, para ello se realizarán las siguientes acciones:

1. Limpiar cuidadosamente el sitio de colocación, eliminando los elementos sueltos, los restos de lechada de cemento, etc.
2. Verificar la compactación, y humedecer el mismo.
3. Verificar la impermeabilidad de dicho sitio, para evitar pérdidas de agua de la mezcla, inclusive las perdidas por absorción de la cimbra.
4. Aplicar desmoldante, cuando sea necesario, que recubran uniformemente y sin exceso toda la superficie de la cimbra, evitando contaminar las armaduras, los elementos embebidos y el concreto ya colocado.
5. Preparar las juntas.
6. Se revisarán las líneas de referencia.
7. Se verificará el espesor de la losa, esto se puede realizar por medio del arrastre de un perfil metálico a lo largo del sitio preparado, con este trabajo se verifica el excedente de la capa de soporte que podría hacer que el espesor de la losa sea menor. Al mismo tiempo se comprueba que donde falta material de la capa de soporte, cuidando el aspecto económico de la obra.
8. Realizar una inspección final, antes de la colocación del concreto.



Figura 15.- Preparación de la capa de soporte del pavimento de concreto hidráulico.



Figura 16.- Medición de la compactación de la capa de base.

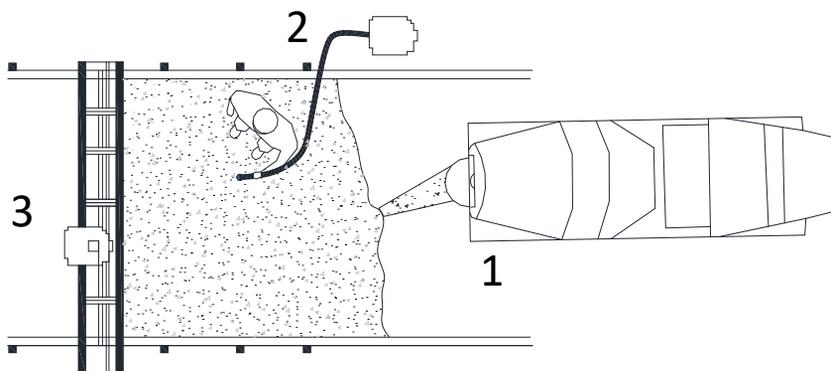
No se comenzará la colocación del concreto si es que existe posibilidad de temperaturas de congelación. La velocidad de fabricación del concreto irá en relación con la capacidad del equipo de trabajo y la mano de obra utilizada para la colocación y procesos de terminado.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Colocación del concreto hidráulico

Los siguientes elementos son clave en la colocación del concreto hidráulico.

- La elaboración de concreto hidráulico debe ir acorde con la velocidad de colocación en el sitio de construcción, para evitar problemas de secado prematuro y tiempos perdidos en la colocación del concreto hidráulico.
- Se asegurará que el concreto se coloca y se extiende de forma uniforme. Una vez colocado el concreto hidráulico se moverá por medio de palas y rastrillos, nunca se utilizarán los vibradores de mano para desplazar el concreto hidráulico ya que estos pueden separar la mezcla.
- Revisar que la vibración sea la adecuada sobre toda el área de la pavimentación para obtener una consolidación adecuada. Asegurarse que el equipo de compactación se va moviendo sobre la cimbra.
- Para obtener el acabado en áreas irregulares y pequeñas se emplean flotadores de cadmio.



- 1.- Camión mezclador de concreto hidráulico.
- 2.- Compactación interna.
- 3.- Compactación superficial con regla vibratoria.

Figura 17.- Esquema de la colocación del concreto hidráulico.

* Prácticas no recomendadas

Colocación del concreto:

- No se debe comenzar a colocar el concreto hidráulico sin antes revisar que el equipo y herramientas estén en buenas condiciones, de igual forma se debe contar con el personal suficiente para su correcta colocación.
- Durante la colocación del concreto no se permitirá que el concreto caiga desde una altura mayor a 1.2 metros.
 - La caída del concreto de alturas mayores a 1.2 metros favorece la segregación del material.
- No se debe desplazar el concreto hidráulico con vibradores internos.
 - Desplazar el concreto hidráulico utilizando el vibrador interno, produce la segregación del concreto hidráulico provocando pérdida de uniformidad.
- No se debe adicionar agua al concreto hidráulico para aumentar su trabajabilidad.
- Si el concreto hidráulico comienza a presentar fraguado no se debe colocar.

Compactación del concreto hidráulico

Si se permite que el concreto endurezca sin haber aplicado ningún tipo de compactación, este sería débil, poroso, tendría mala adherencia con el refuerzo, no sería uniforme y tendría un mal aspecto (ACI-309-05, 2005).

- El objetivo de la compactación es de remover las burbujas de aire en la mezcla, induciendo a las partículas sólidas, del concreto recién mezclado, a acomodarse de manera que se alcance su posición de máxima densidad.
- El método más utilizado para la compactación es la vibración. Esta puede ser interna (vibradores aguja), de superficie (reglas vibratorias), externa (vibradores para la cimbra), o una combinación de estas.
- La compactación por vibración consiste en dos partes, la primera consiste en el asentamiento del concreto, y la segunda en la desaereación (remover las burbujas de aire atrapadas).



Figura 18.- Compactación superficial por medio de rodillo vibratorio.

Compactación

Para una buena compactación del concreto se tomará en cuenta lo siguiente:

- El vibrado se aplicará de manera metódica para cubrir todas las áreas inmediatamente después de que se deposita el concreto.
- En el vibrador de aguja, la aguja se introduce verticalmente en la masa de concreto, hasta que la punta penetre en la capa subyacente; será en forma rápida, y después de haberla dejado un breve tiempo retirará con lentitud, para que el hueco que se crea a su alrededor se cierre por completo.
- Los vibradores no se utilizarán para mover el concreto lateralmente.
- La distancia entre los puntos de inmersión de la aguja será aproximadamente 1.5 veces el radio de acción, y será tal que los campos de acción se superpongan ligeramente.
- Es necesario suspender la vibración cuando en la superficie se forma un sutil estrato de mezcla fina y las grandes burbujas de aire comienzan a aflorar de modo esporádico.
- Es mejor vibrar en muchos puntos durante poco tiempo que en pocos durante más tiempo.
- Es preciso continuar la vibración hasta que el concreto se aplane y adquiera un aspecto brillante y deje de subir el aire atrapado. El concreto vibrado en exceso tendrá mortero en demasía en la parte superior y un aspecto espumoso.

* Practicas no recomendadas

Compactación del concreto hidráulico:

- No se debe utilizar por mas de 6 segundos un vibrador de aguja sobre un mismo punto.
 - Esta practica produce la segregación del concreto hidráulico.
- Los vibradores de aguja no deben golpear la cimbra.
 - Al golpear la cimbra se puede desplazar y quedar fuera de líneas y niveles.
- Los vibradores de aguja no se deben introducir diagonalmente en el concreto hidráulico.

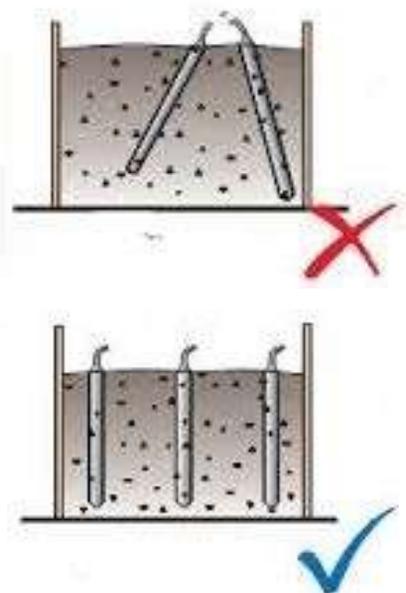


Figura 19.- Posición correcta de utilizar un vibrador de aguja.

Vibradores Superficiales

Hay tres principales tipos de vibradores superficiales: reglas vibratorias, placas vibratorias y rodillos vibratorios.



▶ Reglas vibratorias:

- ▶ Longitudes de 1.2 hasta 6.25 metros.
- ▶ Material: Aluminio,
- ▶ Profundidad de compactación desde 8 cm hasta 20 cm.



▶ Reglas vibratorias:

- ▶ Longitudes de 2.4 hasta 18.0 metros.
- ▶ Material: Aluminio,
- ▶ Profundidad de compactación hasta 25 cm.



▶ Rodillo vibratorio:

- ▶ Longitudes de 2.4 hasta 18.0 metros.
- ▶ Material: Aluminio,
- ▶ Profundidad de compactación hasta 25 cm.

Texturizado

El texturizado del pavimento se compone de dos partes, el microtexturizado y el macrotexturizado.

El microtexturizado se logra pasando una rastra de texturizado de tela de yute o de algodón húmeda a lo largo del concreto hidráulico una vez que se tiene un buen afinado y que la superficie está seca, de forma que permita la presencia de granos de arena después del paso de la tela. El pasto sintético puede ser utilizado en lugar de la tela de yute.

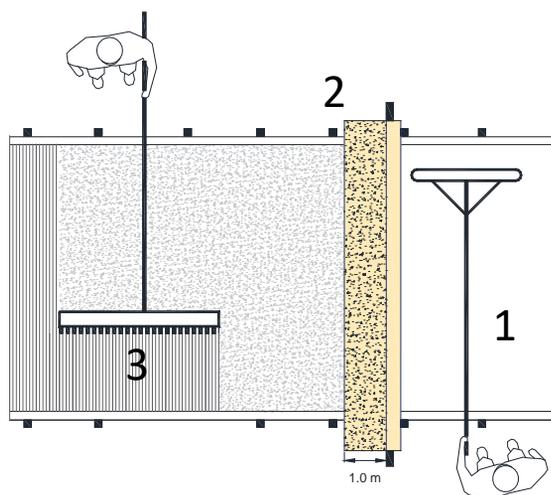
Se controlará la humedad de la tela, el tiempo de aplicación y la velocidad de aplicación.

La presencia de burbujas de agua detrás del paso de la manta indica que se tiene un exceso de humedad, más sin embargo, la falta de humedad causa levantamiento de concreto.

El tiempo de aplicación será al cambio de tono del concreto hidráulico de brillante a mate y la velocidad de aplicación no debe levantar el concreto hidráulico.

La dimensiones de la rastra serán tales que proporcione una franja de contacto de cuando menos un metro de ancho sobre la superficie del pavimento. (N-CRT-CAR-1-04-009, 2006).

Es importante realizar limpieza de forma que no tenga fragmentos de concreto hidráulico adheridos, el tejido debe ser continuo y no se debe coser tramos de yute para alcanzar la longitud.



- 1.- Aplanado con llana metálica.
- 2.- Microtexturizado de la superficie.
- 3.- Macrotexturizado de la superficie.

Figura 20.- Esquema del texturizado del pavimento.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Texturizado

El macrotexturizado permite una rápida evacuación de agua de la superficie del pavimento, evitando el hidroplaneo y reduce las proyecciones de agua.

- El macrotexturizado se logra al pasar un peine metálico en sentido transversal al eje del camino.
- El tiempo de aplicación, la profundidad del texturizado y la separación de las cerdas se deben de tomar en cuenta para un adecuado texturizado.
- El macrotexturizado se aplica después del microtexturizado, si no se realiza en el tiempo adecuado y se aplica tarde requiere de una mayor presión o profundidad, lo que terminaría sacando agregado del concreto hidráulico y dejando un mal acabado.
- La profundidad de las cerdas debe quedar entre los 3 milímetros y los 5 milímetros, con un ancho de 3 milímetros y un espaciado de 12 a 20 milímetros.
- El equipo utilizado para el macrotexturizado debe estar limpio y en buen estado, de forma que los dientes del peine estén bien alineados y el texturizado sea uniforme.
- El proceso de texturizado debe ser continuo y de manera tal que no se formen “rebarbas” superficiales.
- La superposición de la texturización debe evitarse, ya que las ranuras resultantes serán extremadamente frágiles.
- El cepillo debe limpiarse de restos de concreto después de cada pasada.
- La clave está en aplicar en el momento adecuado (luego de que ha desaparecido el brillo superficial del agua en la losa).



Figura 21.- Macrotexturizado de la superficie del pavimento con peine metálico.

Texturizado

* **Prácticas no recomendadas**

Texturizado:

- No se debe iniciar el texturizado si existe agua sobre la superficie.
 - Resulta en un acabado superficial de pésima calidad.
- El uso de tela de yute seca produce levantamientos del concreto hidráulico.
- Si las cerdas de los cepillos metálicos están dobladas no se debe utilizar por que provocan un macrotexturizado deficiente.
- No se debe superponer el macrotexturizado.

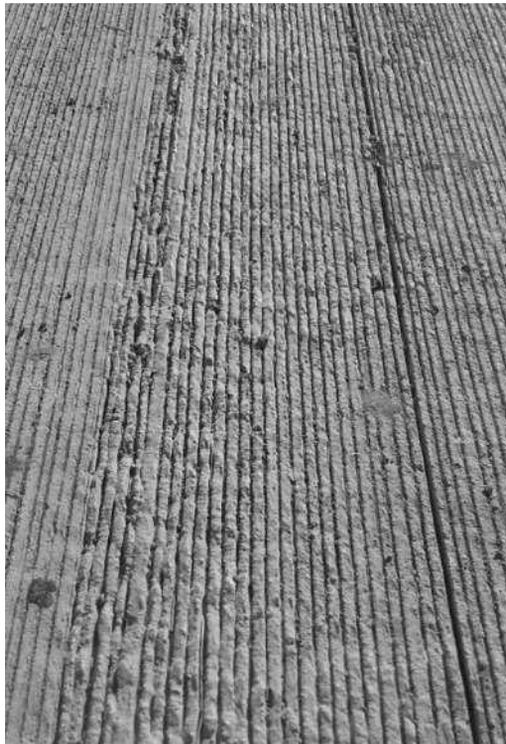


Figura 22.- Acabado deficiente provocado por un mal macrotexturizado realizado a temprana edad del concreto hidráulico.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Curado

El objetivo del curado es evitar la pérdida de humedad del concreto hidráulico.

- El curado debe aplicarse inmediatamente después de dar el acabado superficial.
- Si se emplea un método de membrana para el curado del concreto, ésta debe de tener un color blanco que refleje la luz solar y con la cual se puede observar que se cubra en su totalidad la superficie del pavimento.
- se debe de garantizar la uniformidad del compuesto de curado antes de su vaciado a los tanques de aplicación mediante la agitación.
- El curado debe comenzar, sin importar el método, tan pronto como la superficie no resulte dañada por el procedimiento de curado.
- Se debe medir constantemente el volumen de curado y el área de la superficie aplicados para verificar que cumpla con el proporcionamiento.



Figura 23.- Aplicación de membrana de curado sobre el pavimento de concreto hidráulico.

El curado debe proteger al concreto de:

- Agrietamiento plástico debido al viento, al sol, al frío seco.
- Temperaturas extremas (calor – frío y grandes amplitudes térmicas).
- Intemperie.
- Acción prematura de sustancias nocivas como aceites, y otras.

Propuesta de un Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de Morelia

Descimbrado

En la mayoría de los casos la cimbra puede ser removida en unas 8 horas si se realiza con extremo cuidado el proceso de remoción de los seguros de la cimbra y el desbloqueo del cimbrado, a la hora de retirar la cimbra no se debe hacer palanca entre el borde de la cimbra y el del concreto hidráulico

Una vez removida la cimbra se comprueba que la vibración haya sido la adecuada para producir un concreto hidráulico denso y uniforme a lo largo de la línea de la cimbra, si aparecen varios huecos significa que el proceso de vibración del concreto hidráulico no fue el correcto.

La cimbra debe limpiarse inmediatamente después de que se retire, ya que de lo contrario se vuelven difíciles de limpiar, las cimbras sucias se vuelven difíciles de verificar que cumplan con los bordes rectos. La cimbra debe ser tratada con cuidado para que estén listas para el día siguiente de trabajo. Con el manejo apropiado de la cimbra puede tener una duración de años.



Figura 24.- Descimbrado del pavimento de concreto hidráulico.

Aserrado y sellado de las juntas.

Una junta es una grieta diseñada, la cual proporciona un plano de debilidad que permite al pavimento agrietarse en los lugares designados, las grietas controladas son más fácil de mantener que las grietas aleatorias.

En sellado de las juntas minimiza la entrada de humedad que propicia la expulsión de finos y materiales no compresibles, tales como piedras pequeñas, las cuales conducen al deterioro del pavimento.

Para evitar problemas en el aserrado y sellado de las juntas es necesario realizar una buena planeación y preparación antes de realizar los trabajos, para ello todas las partes involucradas en el trabajo deben estar bien informados, tener el equipo necesario para realizar el trabajo en óptimas condiciones, comprender cuando, en donde y la forma de llevar a cabo los trabajos

Se debe contar con el número de cortadoras suficiente para realizar los aserrados de las juntas de acuerdo con la velocidad de colocación del concreto.

El corte inicial debe realizarse tan pronto el pavimento soporte el paso del equipo sin dejar marcas sobre el pavimento y la sierra no produzca despostillamiento durante el corte (entre las 6 y 18 horas después del terminado superficial).

Si el aserrado de la junta se realiza demasiado tarde, se tendrá un agrietamiento descontrolado del pavimento, mientras que si se realiza demasiado pronto, puede dar lugar a desprendimientos y despostillamientos del pavimento.

Si existen temperaturas excesivas, se recomienda que de un conjunto de tres juntas se ejecute una, para posteriormente aserrar las demás.

El aserrado transversal se debe realizar primero e inmediatamente después el aserrado longitudinal.

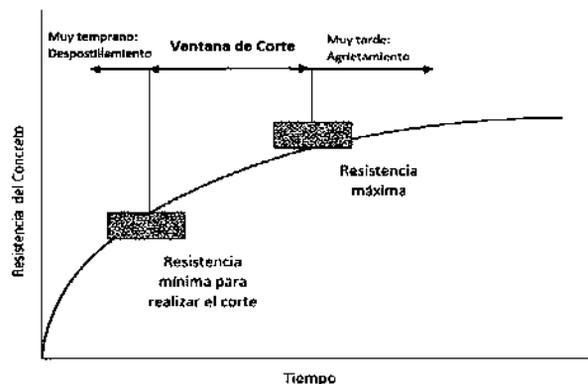


Figura 25.- Lapso para realizar el aserrado de juntas en el pavimento de concreto hidráulico.

Aserrado y sellado de las juntas.

El ensanche del corte de la junta es necesaria para dar forma para el material de sellado. El corte de la ampliación puede realizarse en el mismo tiempo que el primer corte con la sierra, para ello se debe emplear un diseño especial de la hoja de sierra, de esta forma se realiza el corte inicial y la ampliación en una sola pasada.

En sellado de las juntas minimiza la entrada de humedad que propicia la expulsión de finos y materiales no compresibles, tales como piedras pequeñas, las cuales conducen al deterioro del pavimento.

Los tipos de aserrado son aserrado en húmedo y aserrado en seco. El método más común para realizar el primer corte, es el aserrado en húmedo con hojas de sierra de diamante.

Las hojas de diamante por lo general requieren de agua para lubricar y enfriar y para proteger el metal que los sostiene. Sin el agua el metal se sobrecalienta y se ablanda, lo que puede causar la pérdida de los diamantes. De igual forma el agua elimina el polvo producto del aserrado del concreto hidráulico.

Una vez realizado el aserrado inicial, las juntas deben limpiarse con agua para evitar que los residuos del aserrado se queden en la junta, si se dejan los residuos pueden impedir la expansión y contracción de la junta durante los cambios de temperatura, o hacer que sean difícil de limpiar antes de colocar el material de sello.

Se debe reponer la membrana de curado después de hacer el aserrado, ya que pudo perderse por la aplicación del agua durante el aserrado.

Aserrado y sellado de las juntas.

La localización de las juntas antes de la colocación del concreto hidráulico es un factor crítico para evitar errores antes de comenzar con el aserrado, especialmente cuando se utilizan mecanismos de transferencia de carga.

Marcar puntos de control en ambos lados lejos del borde del pavimento, y evitar que los puntos sean borrados o movidos durante la pavimentación.

No se debe confiar en marcas hechas sobre la cimbra, debido a que la cimbra puede ser removida antes de realizar el aserrado o que se pueda borrar.

Determinar el momento adecuado para el aserrado es un factor crítico, el cual requiere de un buen juicio y experiencia, el ensayo del rayado es una de las pruebas más sencillas para ayudar a determinar el momento oportuno para realizar el aserrado de la losa, esta prueba requiere rayar la superficie del pavimento con alguna herramienta, por ejemplo un clavo, una navaja, para observar las marcas y la profundidad que deja en la superficie del pavimento. Mientras más dura sea la superficie del pavimento, menor será la marca que deje el rayado, si el rayado elimina la textura de la superficie, es muy pronto para comenzar con el aserrado ya que podría presentar problemas de desprendimiento.



Figura 26.- Aserrado transversal del pavimento de concreto hidráulico.

* Practicas no recomendadas

Aserrado de la junta:

- No se debe iniciar el aserrado del concreto si éste no ha adquirido la resistencia necesaria.
 - Si se realiza el aserrado antes de que el concreto alcance la resistencia necesaria se tendrán despostillamientos y desprendimientos en el pavimento.
- No se debe esperar demasiado tiempo antes de iniciar el aserrado del concreto.
 - Si se esperan demasiado tiempo antes de iniciar el aserrado, el concreto hidráulico se agrietara aleatoriamente en el pavimento.
- No se debe hacer primero el aserrado longitudinal.
- Si el equipo de corte se aleja de la línea de corte, no se debe realinear el equipo con la sierra en movimiento.

Aserrado y sellado de las juntas.

Los materiales para sello formados se clasifican de acuerdo a su método de aplicación, en caliente y en frío.

Los aplicados en caliente son los basados en asfalto polimérico, el sellador polimérico, los de bajo módulo, el sellante elastomérico, PVC, etc. Los aplicados en frío son los selladores de silicona, caucho nitrilo y sellador de polisulfuro.

Todos los selladores dependen de la adhesión a largo plazo con la cara de la junta, por lo cual la limpieza adecuada de la junta es un factor crítico para una buena unión entre el sellador y la junta. La anchura y profundidad de la junta debe ser la adecuada para que el material de sello tenga un desempeño óptimo.

El uso de un cordón de relleno no adherente ayuda a controlar la forma adecuada del material de sello. El ancho del cordón de relleno no adherido debe ser aproximadamente 25 a 50% mayor que la anchura de la junta para asegurar un ajuste apretado.

Los materiales de cordón de relleno no adherente pueden ser:

- **Espuma de polietileno.**- Es una espuma de celda cerrada que no absorbe el agua y es moderadamente compresible, este material no es recomendable cuando el material de sello es aplicado en caliente, ya que puede se puede fundir.
- **Espuma de polietileno reticulado (cross linked).**- Es una espuma de celda cerrada compatible con selladores aplicados en caliente que no absorbe el agua y es moderadamente compresible, este material no se fundirá al contacto con el sellador de aplicación en caliente.



Figura 27.- Espuma de polietileno para relleno de junta.

Aserrado y sellado de las juntas.

- La preparación de la junta para recibir el material de sellado es el elemento más importante que afecta el desempeño de los selladores en las juntas del pavimento. Los pasos necesarios para la preparación de la junta son el lavado con agua que incluye soplado de aire y secado al aire, limpieza abrasiva y la limpieza del aire.
- Se debe utilizar un lavado con agua justo después del aserrado de la junta para eliminar el residuo del aserrado, el soplado de aire ayuda a la eliminación del exceso de agua de la junta, después se debe dejar que el aire natural seque por completo la junta. El soplado de aire no elimina completamente la humedad, lo cual no asegura la adhesión del sellante en la junta.
- Justo antes del sellado, la junta debe ser soplada con aire para eliminar cualquier material que pueda haber sido depositado por el chorro abrasivo, el viento o el tráfico, la presión de aire utilizado debe ser mayor de 0.6 MPa.
- La junta debe ser llenada desde el fondo hacia arriba para evitar burbujas de aire. No se debe llenar completamente la junta. El material de sellado se debe bombear a través de una boquilla que encaje en la junta y permita colocar el material de sellado desde la parte superior del cordón



Figura 28.- Preparación de la junta para recibir material de sellado.



Figura 29.- Colocación de cordón de relleno en la junta.



Figura 30.- Aplicación de sellador en junta.

Diagrama pavimentación de concreto hidráulico con cimbra fija.

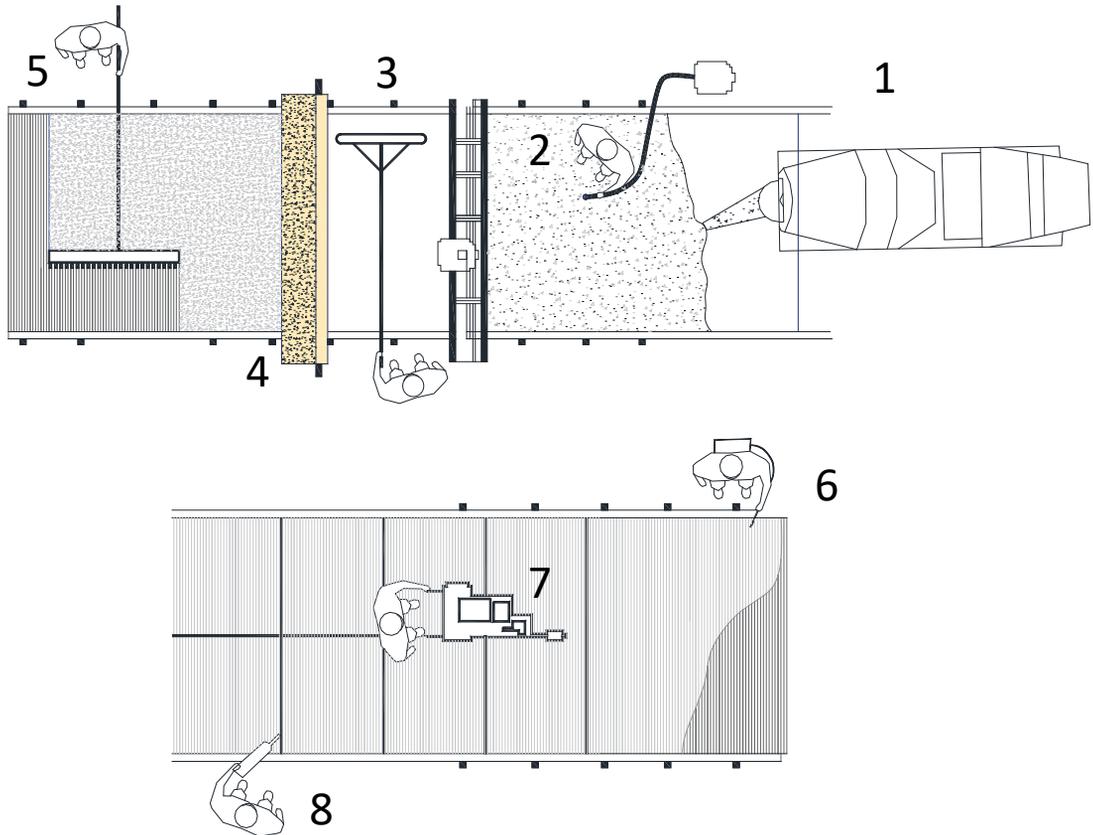


Figura 32.- Esquema de la construcción de un pavimento de concreto hidráulico con cimbra fija.

Pasos para la construcción de un pavimento de concreto hidráulico con juntas:

1. Colocación del concreto hidráulico.
2. Vibrado interno y superficial.
3. Aplanado de la superficie con llana metálica.
4. Texturizado utilizando tela de yute.
5. Texturizado empleando un cepillo de cerdas metálicas.
6. Aplicación de membrana de curado por toda la superficie del pavimento.
7. Aserrado de las juntas transversales y longitudinales.
8. Colocación de cintilla y sellado de la junta.