

I.- INTRODUCCION

1.1.- ANTECEDENTES

Por necesidad, los primeros caminos fueron de vías de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones en busca de alimentos; posteriormente, cuando esos grupos se volvieron sedentarios, los caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista. En América, y en México en particular, hubo este tipo de caminos durante el florecimiento de las civilizaciones maya y azteca.

A finales del siglo XIX, se inventó el automóvil y para su tránsito tuvieron que acondicionar los primeros caminos de carretera sufriendo grandes transformaciones en

su geometría y estructuración, pues tanto en número como en peso los vehículos se han incrementado. **(Crespo, 1998)**

A partir de 1925 es cuando se empieza la construcción de caminos con técnicas avanzadas, siendo los primeros en México, los de la Ciudad de México a Veracruz, a Laredo y a Guadalajara, estos fueron proyectados y construidos por firmas de USA, pero a partir de 1940 los ingenieros mexicanos se han encargado de estos trabajos, teniéndose hasta 1980 una red de caminos pavimentados de 75,000 Km y de 120,000 Km de caminos secundarios, con superficie de rodamiento revestida.

El estado de Sonora también formaba parte de esta red de caminos pavimentados, así los antiguos pueblos que lo conformaban se fueron desarrollando poco a poco y de igual manera se satisfacían las necesidades de desarrollo que en ella se veían.

Poco a poco se fue viendo la necesidad de hacer estos caminos más funcionales amplios y cómodos y de esta manera se fueron desarrollando técnicas que con el paso del tiempo se han ido perfeccionando. De igual manera se ocupó el revestimiento de las calles que conformaban estas comunidades, por lo que se comenzaron a pavimentar con diferentes materiales como el asfalto o el concreto hidráulico, esto con el objetivo de contrarrestar los efectos que en la pavimentación causan tanto daño como las altas temperaturas, problemas de drenaje, capacidad de carga, falta de control de materiales y el agua, entre otros.

Algunas ciudades del Estado de Sonora se caracterizan por sus altas temperaturas, factor que debe de tener muy en cuenta el Ingeniero que desea trabajar sobre los pavimentos seleccionados.

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndose con uniformidad. Los pavimentos pueden ser pavimentos flexibles (asfálticos) o pavimentos rígidos (concreto hidráulico). **(Hay, 2000)**

Las ventajas que tienen los pavimentos rígidos sobre los pavimentos flexibles son:

- ✓ Mayor vida útil
- ✓ Requieren mínimo mantenimiento
- ✓ Requieren menos tiempo de construcción
- ✓ Poseen mayor durabilidad
- ✓ Poseen mas seguridad al usuario
- ✓ Presentan mayor resistencia a la flexión por tener un modulo de elasticidad mas alto.

Uno de los aspectos críticos de los pavimentos rígidos son sus juntas, ya que generalmente se descuida su conservación y posteriormente el motivo de fallas en las losas al introducirse agua por estas.

Las juntas permiten los movimientos relativos de las diversas losas y evitan el agrietamiento debido al esfuerzo que se provoca por la contracción y alabeo de las losas.

Es muy importante construir juntas en los pavimentos de concreto hidráulico ya que si no se hace se presentaría con mas facilidad grietas a intervalos regulares debido a la contracción y dilatación del concreto.

Los pavimentos asfálticos se usan mas en la Ciudad debido a su costo inicial bajo ya que los pavimentos rígidos son mas caros de construir. Los pavimentos rígidos se usan en zonas de mayor volumen de tránsito y tienen una superficie de rodamiento que proporciona al usuario rapidez, confortabilidad y seguridad.

La problemática de los pavimentos rígidos que se tiene en la Ciudad se refiere a que no se les da el mantenimiento necesario a su debido tiempo, se encuentran contruidos en zonas de mayor volumen de tránsito por lo que las cargas de los vehículos poco a poco van dañando la estructura del pavimento y se encuentran contruidos en una región de altas temperaturas con cambio climáticos bruscos.

Actualmente estas calles presentan fallas sobre la mayor parte de su superficie, tales como grietas de esquinas, grietas transversales, desintegración, juntas saltadas, fragmentación múltiple, juntas longitudinales, etc., entre otras.

En lo que respecta a este trabajo se tratará la problemática que ocurre en los pavimentos rígidos de Cd. Obregón, como se originan las fallas en un pavimento de concreto hidráulico así como su clasificación e identificación para proponer una solución de reparación y de su prevención en el caso de nuevos pavimentos a construir.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las causas mayores que provoca un mal funcionamiento de una pavimentación son las fallas sobre su superficie o estructura, las cuales pueden ser ocasionadas por diversos factores, los cuales, han sido definidos por la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico como parámetros de durabilidad del concreto, entre los cuales tenemos:

- Los *materiales* constituyentes del concreto
- Los *procesos de construcción* a los que se somete el concreto
- Las *propiedades químicas y físicas* del concreto
- Los *tipos de carga*
- La *naturaleza del ambiente* a la que es expuesto el pavimento

Se observaron y analizaron el Boulevard Antonio Caso, Boulevard Norman Boularg y el crucero Jesús García Michoacán, de esta ciudad, las cuales son de pavimento regido, es notorio que el pavimento en algunos tramos no ofrece un buen servicio ya que la losa de concreto se encuentra en un estado de deterioro tal que podría propiciar en cualquier momento dado un accidente de tránsito, daño a los vehículos que transitan sobre estas calles y una superficie incomoda para el usuario.

A lo largo de los tramos de estudio se pueden detectar diferentes tipos de fallas como son: grietas de esquina, desintegración, juntas saltadas, grietas transversales, etc., las cuales no se les ha realizado un estudio profundo de sus causas, solo se reparan sin saber si esa es la solución correcta, por lo que al poco tiempo vuelven a estar en las mismas o peores condiciones.

Por lo anterior, el problema que se plantea es: ¿Cuáles son las causas principales que originan las fallas en el Boulevard Antonio Caso, Boulevard Norman Boularg y el crucero Jesús García Michoacán?, ¿Cuáles son las soluciones mas factibles de reparación? Y ¿Cómo pueden prevenirse o controlarse para un nuevo proyecto?

Se propondrán soluciones para las causas de estas fallas, mediante, pruebas de campo, mediciones, pruebas no destructivas, etc. Basándose en el Manual de Deterioros de Pavimentos.

1.3.- OBJETIVO GENERAL

Clasificar e identificar los tipos de fallas de pavimentos rígidos de Cd. Obregón, así como su origen, para su posible prevención y reparación.

1.4.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.- Proponer una metodología para clasificar e identificar los tipos de fallas de pavimentos rígidos.
- 2.- Clasificar e identificar los tipos de fallas mas típicas de pavimentos rígidos de la Ciudad, en base a estudios de campo y al catalogo de deterioros de fallas.
- 3.- Seleccionar tres calles de la Ciudad, con diferentes características y representativas del estudio.
- 4.- Seleccionar las fallas más típicas en base a pruebas y estudios de campo.
- 5.- Presentar recomendaciones de reparación y prevención, de las fallas más típicas.

1.5.- JUSTIFICACION

El realizar este trabajo nos permite conocer los problemas que pueden suscitarse en una obra de pavimentación de concreto hidráulico, mediante, la clasificación e identificación del tipo de fallas.

El tener el conocimiento de este tema les será de gran ayuda a las personas, principalmente al estudiante o egresado de Ingeniería Civil, ya que al querer realizar una obra de este tipo tendrán las herramientas necesarias para elaborarlo de una manera útil a la sociedad, principalmente a las personas que tengan la necesidad de transitar por esa calle o esa zona, de una manera rápida, cómoda y segura, tomando en cuenta que este es un problema muy común que se da en las comunidades, colonias y en todas las zonas urbanas y residenciales.

La realización de este trabajo será de gran ayuda para el Ingeniero Constructor que se dedique a realizar obra de urbanización o diseño y rehabilitación de pavimentos, ya que podrá conocer cuales son los orígenes que ocasionan las fallas y así no cometer los mismos errores.

El constructor y el Ayuntamiento de Cd. Obregón podrán dar soluciones factibles para la reparación de las fallas y futuras construcciones así como controlar los problemas de fallas que se tienen de manera correcta y evitar que no se susciten tan frecuentemente, fundamentándose con los resultados de los estudios de campo y pruebas no destructivas realizadas en este trabajo.

1.6.- HIPOTESIS

Mediante estudios de campo, pruebas no destructivas y manual de deterioros se identificarán y clasificarán los tipos de fallas mas comunes que se presentan en los pavimentos rígidos contruidos en Cd. Obregón para su prevención y posible reparación de estos.

RESUMEN

Con el paso del tiempo se fue viendo la necesidad de hacer caminos funcionales amplios y cómodos de esta manera se fueron desarrollando técnicas que con el paso del tiempo el Ingeniero Civil las ha ido perfeccionando. El Ingeniero se dio cuenta que se ocupaba el revestimiento de las calles que conforman las comunidades, por lo que dio inicio a pavimentar con diferentes materiales como el asfalto o el concreto hidráulico.

Hoy en día la problemática en las obras de pavimentación afecta en todos los aspectos al usuario ya que existen diversos factores que ocasionan a corto y a largo plazo las fallas en un pavimento en general, los cuales son las altas temperaturas, problemas de drenaje, capacidad de carga (exceso de carga), falta de control de materiales y los procesos constructivos que se utilice.

Las diferencias de construir un pavimento rígido (concreto hidráulico) a un pavimento flexible (asfalto) es que tienen mayor resistencia al volumen de tránsito, mayor vida útil la cual es de 20 a 40 años, su proceso de construcción es mas rápido, tienen mayor durabilidad y proporcionan mas seguridad al usuario, salvo que el problema que se tiene es que el Ayuntamiento no brinda el apoyo necesario para la construcción de este tipo de pavimento, ya que su costo inicial es caro, por lo tanto se construyen pavimentos flexibles que tienen un costo inicial bajo y solamente se construyen pavimentos rígidos (concreto hidráulico) en zonas de alto volumen de tránsito esto con el objetivo de que el usuario tenga mas seguridad al transitar por esas zonas.

Con respecto a Cd. Obregón se escogieron tres tramos de las calles pavimentadas con concreto hidráulico las cuales son las de mas volumen de tránsito las cuales se analizaron y se realizaron estudios, pruebas no destructivas y mediciones de campo, donde se pudo clasificar e identificar los tipos de fallas así como el origen de las mismas y poder encontrar las causas y soluciones factibles para el Ingeniero Civil, con el fin de que no se cometan los mismos errores al realizar una obra de pavimentación en un futuro.

DEDICATORIAS

A MI PADRE: Rafael Enrique Mendoza Cevallos le dedico este trabajo por su apoyo, confianza y comprensión que me brindó desde mi primer grado escolar hasta el ultimo, el cual lo verá concluido al lado de Dios, con esfuerzo, paciencia y dedicación para llegar a ser dueño de un titulo universitario. GRACIAS PADRE TE AMO Y TE SEGUIRE AMANDO DURANTE EL RESTO DE MI VIDA.

A MI MADRE: Bertha Maria Félix Gastélum le dedico este trabajo por su perseverancia, esfuerzo y apoyo que me dio para poder lograr terminar mi trayectoria como estudiante, ya que sin ella jamás hubiera llegado a este día de mi vida. GRACIAS MAMA TE AMO Y SIEMPRE SERAS GRAN PARTE DE MI.

A MI HERMANA: Gabriela por darme el ejemplo de seguir adelante y no rendirme hasta conseguir mis metas sin rendirme por ningún motivo. TE QUIERO MUCHO HERMANA.

A MIS ABUELAS: Les dedico este trabajo por haber sido mis pilares de apoyo y confianza. TE QUIERO TITA Y TE QUIERO ABUE.

A MI TIO JESUS: Le dedico este trabajo por sus consejos, su apoyo y su amistad la cual me ha dado fuerzas para continuar y seguir adelante. TE QUIERO MUCHO TIO.

A MIS GRANDES AMIGOS: Francisco Velarde, Sergio Iván Solorio Gutiérrez, Rubén Ruiz, Miguel Medina, Renato Ramírez, Randolpho Avilez, Jesús Bernal, Placido Hernández, Juan Flores, Cristina Canale, Jazmín Americano, Adrián Castro, Félix Bacaricia, Omar (Guaymitas), porque de no haber sido por ustedes no estaría terminando hoy mis estudios profesionales. Gracias por su apoyo, comprensión, paciencia y por compartir tantos momentos felices a lo largo de mi carrera. GRACIAS AMIGOS....

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, a ti te agradezco todo lo que he sido y lo que he llegado a ser hasta este día de hoy, por darme la oportunidad de conseguir mis metas, la salud de vivir, la fortaleza de poder terminar mis estudios profesionales y lo mas importante, que me has permitido hasta este día de hoy de tener a mi lado a mis seres queridos. GRACIAS Y ESTOY EN DEUDA CONTIGO.

A MI ASESOR, M.I. Gerardo Herrera, por haberme dedicado su tiempo y haberme tenido paciencia, para la elaboración de mi trabajo de titulación, trabaje muy a gusto con usted.

A MIS MAESTROS, por la dedicación de su tiempo a realizar una tarea tan noble como es la enseñanza de sus conocimientos y experiencias.

A TODOS MIS COMPAÑEROS, Por ayudarnos mutuamente a salir adelante y por los momentos agradables.

A LUIS, Del laboratorio, por proporcionarme el equipo necesario para realizar mi trabajo con satisfacción y ayudarme con algunas dudas acerca de mis pruebas realizadas, gracias campeón.

A MIS COMPADRES, Pancho Velarde, Solorio, Ruiz, Medina, Rando y el Renato, gracias por permitirme ser su amigo y ayudarme en todos los momentos difíciles de mis estudios profesionales, siempre estarán en mi corazón. GRACIAS POR TODO, LOS QUIERO.

A MIS ROOMATES, Armando, Marcos, Pollo, Pans, Rivas, Chino, Chupon, Pánfilo, Roli, Simio, Morgan, por su amistad y su convivencia durante mis estudios profesionales. GRACIAS COMPARES, LOS ESTIMO...

A MIS JEFES INGENIEROS, Ing. Uriel, Ing. Imay de la Compañía Constructora MAS, por su apoyo y sus permisos para realizar mis tramites de mi titulación y a Ing. José por apoyarme con las impresiones de mis Tesis. GRACIAS POR PERMITIRME ESTAR CON USTEDES.

LISTA DE FIGURAS

FIG. IV.1 Falla tipo bache.

FIG. IV.2 Falla tipo grieta longitudinal.

FIG. IV.3 Falla tipo grieta de esquina.

FIG. IV.4 Falla tipo textura inadecuada.

FIG. IV.5 Falla tipo deficiencia de sellado.

FIG. IV.6 Falla tipo junta saltada.

FIG. IV.7 Falla tipo grieta transversal.

FIG. IV.8 Falla tipo grieta de esquina.

FIG. IV.9 Falla tipo bache.

FIG. IV.10 Falla tipo desintegración.

FIG. IV.11 Falla levantamiento localizado.

FIG. IV.12 Falla tipo grieta longitudinal.

FIG. IV.13 Falla tipo grieta transversal.

FIG. IV.14 Falla tipo fragmentación múltiple.

FIG. IV.15 Falla tipo textura inadecuada.

FIG. IV.16 Falla tipo desintegración.

LISTA DE TABLAS Y GRAFICAS

TABLA IV.1 Áreas de deterioros de cada una de las fallas identificadas.

TABLA IV.2 Frecuencias de las fallas identificadas en los tramos de estudio.

TABLA IV.3 Nivel de severidad e incidencia de las fallas más típicas de los tramos de estudio.

TABLA IV.4 Resistencia a la flexotracción para entrega de servicio.

TABLA IV.5 Granulometría de arenas para el sellado.

CROQUIS Anexo. A.1 Calle Norman Boularg entre Boulevard I. Ramírez y G. Prieto.

CROQUIS Anexo. A.2 Crucero Jesús García y Michoacán.

CROQUIS Anexo. A.3 Boulevard Antonio Caso.

TABLA Ap. A.1 Dimensiones y análisis de lecturas de los tableros tipo de concreto hidráulicos.

TABLA Ap. A.2 Lecturas para medir la resistencia del concreto por medio del esclerómetro (Calle Norman Boularg entre Boulevard Ignacio Ramírez y Guillermo Prieto)

GRAFICA Ap. A.3 Comportamiento gráfico de la resistencia de los tableros de concreto (Calle Norman Boularg entre Boulevard I. Ramírez y Guillermo Prieto.

TABLA Ap. A.4 Lecturas para medir la resistencia del concreto por medio del esclerómetro (Crucero Jesús García y Michoacán).

GRAFICA Ap. A.5 Comportamiento gráfico de la resistencia de los tableros de concreto (Crucero Jesús García y Michoacán).

TABLA Ap. A.6 Lecturas para medir la resistencia del concreto por medio del esclerómetro (Boulevard Antonio Caso).

GRAFICA Ap. A.7 Comportamiento gráfico de la resistencia de los tableros de concreto (Boulevard Antonio Caso).

TABLA Ap. A.8 Tabla de lecturas del esclerómetro en dirección de -90 grados.

GRAFICA Ap. A.9 Grafica de -90 grados (Posición del esclerómetro sobre los tableros de concreto).

INDICE

	Pagina
Dedicatorias.....	I
Agradecimientos.....	II
Lista de Figuras.....	III
Lista de Tablas.....	IV

I INTRODUCCION

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Objetivo General.....	5
1.4. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Justificación.....	6
1.6. Hipótesis.....	6

II. MARCO TEORICO

2.1 Pavimentos Rígidos.....	7
2.2. Junta de los Pavimentos Rígidos.....	12
2.2.1. Juntas Longitudinales.....	13
2.2.2 Juntas Transversales.....	14
2.2.2.1 Juntas Transversales de Contracción.....	14
2.2.2.2 Juntas Transversales de Construcción.....	15
2.2.2.3 Juntas Transversales de Expansión.....	16
2.3 Bombeo de Juntas.....	16
2.4 Dispositivos Especiales de Juntas.....	17

2.5 Tipos de Esfuerzos que esta sujeto un pavimento rígido.....	17
2.5.1 Esfuerzo Abrasivo.....	17
2.5.2 Esfuerzo de Compresión Directa y Cortante.....	18
2.5.3 Esfuerzos de Flexión.....	18
2.5.4 Esfuerzos debidos a la compresión.....	19
2.5.5 Esfuerzos térmicos de tensión y compresión.....	19
2.5.6 Esfuerzos de Contracción.....	19
2.5.7 Esfuerzos de Expansión.....	20
2.5.8 Esfuerzos de Alabeo.....	20
2.6 Distribución de la Presión.....	21
2.7 Factores que influyen en las fallas de un pavimento rígido.....	21
2.7.1 Importancia de la Durabilidad.....	22
2.7.2 Materiales y el Concreto.....	24
2.7.3 Procesos de construcción a l a que se somete el concreto....	27
2.7.4 Propiedades químicas y físicas del concreto.....	29
2.7.5 Tipos de Carga.....	30
2.7.6 El medio ambiente al que esta expuesto el pavimento.....	32
2.8 Tipos de fallas que actúan en un pavimento rígido.....	34
2.8.1 Agrietamientos.....	34
2.8.2 Fisuras.....	35

III.- METODOLOGIA

3.1 Selección de calles de estudio.....	36
3.2 Historia y características de las calles de estudio.....	37
3.3 Observación y análisis preliminar para identificación de fallas.....	37

3.4 Realización de estudios de campo y pruebas no destructivas.....	37
3.4.1 Concepto.....	38
3.4.2 Componentes.....	38
3.4.3 Procedimiento.....	39
3.5 Selección de fallas mas típicas de los tramos de estudio.....	39
3.6 Evaluación y Solución del tipo de fallas típicas.....	39

IV- RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Selección de calles de estudio.....	40
4.2 Historia y características físicas de las calles de estudio.....	41
4.2.1 Calle Norman Boularg.....	41
4.2.2 Crucero Jesús García y Michoacán.....	42
4.2.3 Boulevard Antonio Caso.....	42
4.3 Observación y análisis para identificación del tipo de fallas.....	43
4.3.1 Calle Norman Boularg.....	43
4.3.1.1 Deterioros Superficiales.....	43
4.3.1.2 Grietas.....	44
4.3.1.3 Otros Deterioros.....	45
4.3.2 Calle Boulevard Antonio Caso.....	46
4.3.2.1 Deficiencia de Sellado.....	46
4.3.2.2 Grietas.....	47
4.3.2.3 Deterioros Superficiales.....	49
4.3.2.4 Otros Deterioros.....	50

4.3.3 Crucero Jesús García y Michoacán.....	51
4.3.3.1 Grietas.....	51
4.3.3.2 Otros Deterioros.....	52
4.3.3.3 Deterioros Superficiales.....	54
4.4 Realización de pruebas destructivas y estudios de campo.....	54
4.5 Selección de fallas mas típicas en los tramos de estudio.....	58
4.6 Evaluación y Solución del tipo de Fallas.....	59
4.6.1 Grietas de Esquina.....	59
4.6.2 Grietas Transversales.....	61
4.6.3 Desintegraciones.....	62
4.6.4 Baches.....	63

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	64
5.2 Recomendaciones.....	65

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS A

APENDICES A

II.- MARCO TEORICO

2.1.- PAVIMENTOS RIGIDOS

“Antiguamente, la losa se construía sobre las terracerías sin importar la calidad que tuvieran; esto dio lugar a que un gran numero de pavimentos fallaran al aparecer grietas transversales o longitudinales cercanas a las orillas, al investigar el fenómeno se encontró que la causa de ellas había sido lo que se ha dado por llamar “fenómeno de bombeo”, que consiste en el ascenso de materiales finos y húmedos hacia la superficie de rodamiento a través de las juntas, en virtud de la deformación y recuperación de las losas en las orillas, al paso de los vehículos. A partir de este estudio, se especifico que la losa debía colocarse sobre un material granular, que cuando menos cumpliera las normas para súbbase de pavimento; en un principio no se tomaba en cuenta su espesor;

sin embargo, en la actualidad ya se toma, pues se ha visto que el espesor de la losa se puede disminuir, sobre todo si la subbase se estabiliza con cemento Pórtland.” **(Olivera, 1986)**

Con respecto al fenómeno de bombeo se ha realizado estudios donde se han concluido factores que intervienen en la construcción de un pavimento rígido, donde el 80 % de las losas de este, que se encontraran con fallas, estas eran provocadas por la falta de la subbase.

El Dr. Paul H. Wright nos explica que al momento de diseñar y construir de manera adecuada, las calles y carreteras de concreto tienen capacidad de soportar cantidades casi ilimitadas de cualquier tipo de tránsito con comodidad, facilidad y seguridad. Las superficies de este tipo son lisas, libres de polvo y resistentes al patinamiento, tienen un alto grado de visibilidad para la conducción de vehículos tanto de día como de noche, y en general, sus costos de mantenimiento son bajos. En muchas localidades resultan económicas debido a su bajo costo en el mantenimiento y a su gran durabilidad, por supuesto que estos pavimentos están clasificados como de alta calidad. El uso principal de superficies de este tipo, es en la construcción de carreteras y calles de ciudad con tránsito intenso, incluyendo aquellas que se localizan en zonas residenciales, de negocios e industriales. **(Wright, 1999)**

El Ingeniero Antonio Ortega Maldonado llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías

además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La composición de un pavimento rígido se trata de losas de concreto hidráulico que en algunas veces presenta un armado de acero, resulta mas caro que un pavimento flexible, su periodo de vida varia entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas por lo tanto es muy poco lo que se gasta a lo largo de su vida útil, claro esta, a diferencia de un pavimento flexible. El pavimento de concreto de cemento Pórtland esta sujeto a una diversidad de esfuerzos causados por la misma naturaleza del concreto como material de construcción.

El maestro Fernando olivera Bustamante explica en su libro estructuración de vías terrestres, que los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico y la subbase que le sirve de apoyo y se construye sobre la capa subrasante.

El Ingeniero Antonio Ortega Maldonado explica que la división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Es importante tener en cuenta que al disminuir la flexibilidad de los pavimentos rígidos distribuye cargas que imponen las ruedas en un área muy amplia de la capa de apoyo. De esta manera, las pequeñas irregularidades en la capacidad de apoyo no resultan muy significativas. Las losas se pueden tener directamente sobre la capa de apoyo, pero en la construcción pesada moderna probablemente habrá debajo una o mas pistas base.

El Ingeniero Fernando Caprara explica que los pavimentos varían desde las losas de concreto casi rígidas que se tienden directamente sobre la capa de apoyo hasta

los diversos tipos de pavimentos de una o varias capas flexibles y la simple colocación de los materiales mas selectos (arena o grava) en los niveles superiores de una capa de apoyo donde la intensidad de la carga es máxima. Con frecuencia los pavimentos de carretera se clasifican como rígidos o flexibles, son subgrupos y grupos intermedios. La diferencia entre rígido y flexible es solo cuestión de grado. Los pavimentos mas rígidos poseen cierta flexibilidad, mientras que muchos de los llamados flexibles presentan casi la rigidez del concreto.

“El ingeniero Clifford Older fue, probablemente, el primero que diseño pavimentos de concreto hidráulico, basándose en su análisis en que los pavimentos son estructuras capaces de resistir ciertas cargas y que el punto critico del mismo lo constituía la esquina, donde hay dos tipos de pavimentos, pavimentos de concreto hidráulico o rígidos y pavimentos flexibles, considerándose una carga P aplicada en la intersección de una junta y la arista exterior del pavimento, al aplicar la carga P a la losa, esta tiende a romperse según la línea A-B a una distancia x de la esquina.”
(Crespo, 1998)

Los pavimentos rígidos para trabajo pesado comprenden los concretos asfálticos y los concretos de cemento Pórtland, donde los asfálticos consisten en agregados bien calificados y el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tensión, de donde resulta una baja resistencia a *la flexión*. El concreto se expande o se contrae según esté húmedo o seco; de manera que durante el fraguado se produce la contracción. Se expande a medida que aumenta la temperatura y se contrae cuando disminuye. Con frecuencia los esfuerzos debidos a los aumentos de la temperatura quedan contrarrestados por un esfuerzo opuesto debido al efecto del secado.
(Hay,2000)

Los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos como también se les designa, difieren de los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles, primero, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, y segundo, en que son afectados grandemente por los cambios de temperatura.

Los pavimentos de concreto hidráulico o rígidos están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a).- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b).- Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c).- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d).- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- e).- Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

En virtud de estar los pavimentos rígidos sujetos a los esfuerzos mencionados, es notorio que para que estos pavimentos cumplan en forma satisfactoria y económica la vida útil que de ellos se espera, es necesario que su proyecto este basado en los factores siguientes:

- a).- Volumen, tipo y peso del transito a servir en la actualidad y en un futuro predecible.
- b).- Valor relativo de soporte y características de la subrasante
- c).- Clima de la región
- d).- Resistencia y calidad del concreto a emplear.

(Crespo, 1998)

Al realizar el proyecto de un pavimento de concreto hidráulico o rígido, no se toman en cuenta los factores mencionados, el pavimento no será económico y su vida útil será menos de 20 a 40 años.

El Ingeniero Fernando Caprara se refiere que en el caso de las carreteras, las pistas de aterrizaje y rodaje de los aeropuertos, un pavimento que desempeña diversas funciones actúa como cubierta protectora de la capa de apoyo, realizando las siguientes funciones:

a) Soporta y distribuye la carga, con una presión unitaria lo suficientemente disminuida para estar dentro de la capacidad del suelo que constituye la capa de apoyo, reduciendo la tendencia a la formación de surcos.

b) El pavimento impermeabiliza la superficie retirando la humedad de las áreas que reciben la carga y de la capa de apoyo.

c) La acción abrasiva de las ruedas en los materiales de la capa de apoyo se reduce o se elimina.

2.2.- JUNTAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

La necesidad de construir juntas en los pavimentos de concreto hidráulico es muy importante ya que si no se hace se presentarían grietas a intervalos bastantes regulares debido a la contracción y dilatación del concreto. Las juntas son, generalmente, puntos débiles de la superficie de rodamiento en los cuales se pueden dar desperfectos al aumentar los pesos de los vehículos, también pueden despostillarse por el efecto de elementos extraños en las mismas, tales como piedras, etc, provocando, además, un aumento en los gastos de conservación, por lo que es de gran necesidad que el ingeniero tenga mucho cuidado en la realización del proyecto y construcción.

“Las juntas se instalan en los pavimentos de concreto para controlar los esfuerzos inducidos por los cambios volumétricos que sufre el concreto. Estos esfuerzos pueden producirse en una losa de concreto debido a 1) su contracción debida a una disminución uniforme en la temperatura o una disminución en la humedad, 2) su expansión debido a un aumento uniforme en la temperatura y 3) los efectos de alabeo en los pavimentos debidos a un diferencial en la temperatura en sentido vertical o en la humedad de la losa.” **(Wright, 1999)**

“Para controlar los esfuerzos que resultan de los efectos combinados de los cambios de temperatura y humedad y de las cargas rodantes, hay cuatro tipos de juntas para pavimentos de concreto hidráulico o rígidos:”

- 1.- Juntas longitudinales
- 2.- Juntas transversales de contracción
- 3.- Juntas transversales de construcción
- 4.- Juntas transversales de expansión.

(Wright, 1999)

2.2.1.- JUNTAS LONGITUDINALES

“Las juntas longitudinales son aquellas que se construyen paralelas al eje del camino con el fin de permitir los movimientos relativos de las diversas losas. En los caminos, la cantidad de juntas longitudinales depende del ancho de la corona de los mismos, escogiéndose, muy comúnmente, en forma tal que ellas dividan a la corona en el numero de las vías necesarias para la circulación.” **(Crespo, 1998)**

“Una junta longitudinal en un pavimento de concreto hidráulico, es por supuesto, una junta que corre en forma continua a lo largo del pavimento. La junta divide, por ejemplo, un pavimento de dos carriles en dos secciones, siendo la anchura de cada uno, la de un carril de tránsito.

Las juntas longitudinales que se usan en los pavimentos de concreto son de dos tipos diferentes, abarcando tanto variedades patentadas como otras que no están, dos de los tipos de juntas de uso mas común son aquellos que se denominan “deformada o ranurada” y plano debilitado”. Las juntas deformada o ranurada se utiliza cuando se construye un solo carril a la vez, por lo general, la junta de plano debilitado se utiliza si se pavimentan dos o mas carriles al mismo tiempo.” **(Wright, 1999)**

Lo mas importante es entender que el objetivo de las juntas longitudinales es de controlar la magnitud de los esfuerzos del alabeo por temperatura, en forma tal, que no se presente un agrietamiento longitudinal en el pavimento, la construcción de estas juntas ha eliminado casi por completo este tipo de grietas.

2.2.2.- JUNTAS TRANSVERSALES

“Las juntas transversales en los pavimentos rígidos tienen por objeto el evitar el agrietamiento debido al esfuerzo que se provoca por la contracción y alabeo de las losas.

Este tipo de juntas son de varias clases: de contracción, de construcción y de dilatación.

Las juntas transversales de contracción usadas para evitar los esfuerzos debidos a la disminución de volumen, se construyen de manera análoga a las juntas longitudinales tipo plano debilitado, o se emplean las llamadas juntas de contracción sumergidas.

Para determinar el espaciamiento L de las juntas transversales de contracción se hace el razonamiento siguiente: La contracción o dilatación de una losa entre dos juntas transversales se ve, en parte, coartada por la fricción entre la losa y el terreno provocando con ello esfuerzos que pueden ser perjudiciales máxime en las primeras horas de vaciado el concreto.” **(Crespo, 1998)**

Las juntas transversales pueden ser de tres tipos:

- 1.- Juntas transversales de contracción
- 2.- Juntas transversales de construcción
- 3.- Juntas transversales de expansión.

2.2.2.1.- JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN

“Son las que se usan con dos propósitos, para controlar las grietas de la losa que resultan de la contracción y para relajar los esfuerzos provocados por alabeo.

Cuando se presenta la contracción, se fractura la parte inferior de la losa en el plano debilitado y las clavijas y el entrelazamiento del agregado mantienen la integridad estructural de la junta. Este tipo de junta se conoce también con el nombre de junta “simulada” de contracción.

Los ingenieros han descubierto dos maneras de mejorar el comportamiento de una junta y prolongar la vida de los pavimentos de concreto simple. Una forma es construir juntas transversales que están un poco sesgadas respecto a la línea perpendicular con la línea central del pavimento (4 o 5 pies en 24 pies). Una junta sesgada hace que las cargas rodantes de cada eje crucen por la junta individualmente con lo que se reduce la deformación y el esfuerzo en la juntas. Otra técnica para mejorar el comportamiento de los pavimentos de concretos simple es construir las juntas espaciadas al azar (13, 19 y 12 pies) para evitar efectos rítmicos en los automóviles, los cuales están asociados con los espaciamientos que son múltiples exactos. Ver figura 20 – 3”. (Wright, 1999)

2.2.2.2.- JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCION

“Las juntas de construcción transversales se pueden colocar al final del trabajo de un día o cuando el trabajo cesa debido alguna otra causa. Si se detiene la construcción en la colocación de una junta transversal, la junta se puede instalar de la manera usual, colocando concreto en uno de los lados de la junta y el otro lado protegido en forma apropiada, hasta que puedan continuarse las operaciones de construcción.

Las juntas de construcción longitudinales se pueden hacer en forma similar cuando, por ejemplo, el pavimento se construye con el ancho de un carril. Las juntas de este tipo se pueden formar también utilizando cimbras de acero que incorporan un cunero o fijándose mediante una tira machihembrada o de metal en el lado interior de las cimbras, las barras de enlace pueden doblarse o utilizarse pernos de enlace.” (Wright, 1999)

2.2.2.3.- JUNTAS TRANSVERSALES DE EXPANSION

“Las juntas de expansión que se utilizan en la actualidad son por lo regular de $\frac{3}{4}$ a 1 pulgada de ancho y atraviesan todo el espesor de la losa. EL espacio de la junta se rellena con algún material comprensible, elástico y que no haya sufrido extrusión. Se han utilizado como rellenos de las juntas de expansión una variedad de materiales, entre los que están los materiales bituminosos, corcho, caucho, corcho – caucho mezclados, materiales impregnados con asfalto de expansión y su diámetro, espaciamiento y longitud, serán en general similares a los indicados para juntas de contracción.

En la figura 20 – 5 se ilustra un diseño un tanto típico de una junta de expansión transversal.” **(Wright, 1999)**

2.3.- BOMBEO DE JUNTAS

El Dr Paul Wrigth en su libro de “Ingeniería de Carreteras” define el fenómeno de bombeo como una combinación de factores que están presentes, en el movimiento de los extremos de la losa bajo las cargas de tránsito que provoca la extrusión o bombeo de una parte del material de subrasante en las juntas, grietas y a lo largo de las orillas del pavimento. El bombeo a través de las juntas solo se presentara bajo las siguientes circunstancias:

- 1.- Ocurrencia frecuente de cargas rodantes muy pesadas.
- 2.- La existencia de un excedente de agua en el suelo de subrasante.
- 3.- La presencia de un suelo de subrasante que sea susceptible al bombeo.

(Wright, 1999)

Unos de los factores que puede ocasionar falla en un pavimento rígido es la cantidad de suelo removido por el bombeo que puede ser suficiente para provocar una considerable reducción en el soporte, que la subrasante da a la losa y esto puede ser perjudicial para el pavimento.

2.4.- DISPOSTIVOS ESPECIALES EN JUNTAS

Los dispositivos especiales en la juntas tienen la finalidad de mantener unidas las losas de concreto hidráulico, o con el fin de transmitir cargas verticales de una losa a otra, se emplean dispositivos especiales denominados pasadores y pasa-juntas.

Estos dispositivos se emplean de dos formas, según sea su objetivo, por ejemplo:

a).- Si su objetivo es mantener unidas las losas, soportaran cargas axiales mayores.

“En este caso el esfuerzo máximo de tensión a que las barras pasadores pueden estar sometidas será igual al esfuerzo necesario para la fricción entre el pavimento y la subrasante o la base, en la distancia comprendida entre la junta y el bordo libre, del pavimento en el caso de que los pasadores se coloquen en las juntas longitudinales; si los pasadores se colocan en las juntas transversales, la distancia a considerar será entonces aquella que espera a dichas juntas dividida entre dos ($L / 2$).” (Crespo, 1998)

2.5.- TIPOS DE ESFUERZOS QUE ESTA SUJETO UN PAVIMENTO RIGIDO

2.5.1.- ESFUERZO ABRASIVO

“El esfuerzo abrasivo se debe al movimiento de las ruedas sobre la superficie de desgaste. Aunque no hay una medida confiable del esfuerzo abrasivo, la experiencia indica una relación con la resistencia a la compresión. El diseño exige normalmente una resistencia a la compresión de 4000 a 4500 lb / plg² (27576 a 31023 Mpa) en 28 días, empleando una relación agua-cemento de 6 galones de agua por 1 saco de cemento. Con los neumáticos modernos, el esfuerzo abrasivo no se considera un problema.” (Hay, 2000)

2.5.2.-ESFUERZO DE COMPRESIÓN DIRECTA Y CORTANTE

“Estas condiciones son el resultado de las cargas que imponen las ruedas. El pavimento de concreto es resistente a las cargas de compresión, relativamente elevadas, de 40000 a 8000 lb / plg² (27576 a 55152 Mpa). En muchos estados la carga de las ruedas esta limitada a un máximo de 9000 lbs (4086 Kg), aunque algunos estados del este permiten hasta 11, 200 lbs (5085 Kg). En el diseño se usa comúnmente un factor de impacto promedio de 1.5, aunque el rango es de 1.25 a 2.00. En las carreteras han sido relativamente escasas las fallas de las losas sometidas directamente al esfuerzo de corte y a la compresión.” (Hay, 2000)

2.5.3.- ESFUERZOS DE FLEXION

“Estos esfuerzos se deben a la flexión que sufre el pavimento sometido a la carga de las ruedas y son mucho mas significativos que los anteriores. La expresión pavimento rígido implica una resistencia a la flexión o deformación cuando la capa de apoyo es inadecuada. En realidad si se producen la flexión y la deformación. En 1925 el ya fallecido H.W. Westergaard publico los resultados de sus estudios teóricos en los cuales supuso que la losa actuaba como una placa elástica, sostenida continúa y elásticamente por la capa de apoyo. Supuso igualmente que las reacciones verticales de la capa de apoyo eran directamente proporcionales a las desviaciones de la losa y se relacionaban con ellas mediante el modulo de reacción de la capa de apoyo, k, expresado en libras por pulgada cuadrada por pulgada por flexión.

(Adviértase que el módulo k de Westergaard difiere del módulo de elasticidad del carril, de Talbot, (u), en que u está expresado en libras por pulgada de riel por pulgada de deformación, un índice lineal más bien que de área.) Así, el módulo de la capa de apoyo refleja a la vez la rigidez de la capa y la de la losa.

Westergaard consideró los efectos de las cargas impuestas en tres posiciones críticas sobre losas de espesor uniforme: la parte interior, el borde y la esquina de la losa. para estas losas, encontró que el esfuerzo unitario máximo ocurre(a en las esquinas o en los bordes más bien que en el interior.” (Hay, 2000)

2.5.4.- ESFUERZOS DEBIDOS A LA COMPRESION

“Los esfuerzos de compresión provienen de la contracción que ocurre durante los procesos de enfriamiento y secado a medida que el concreto fragua. La contracción de la losa se soporta mediante contacto fraccional con la capa de apoyo, y se producen grietas.”

Estas grietas se producen como promedio cada 30 pies (9.1 m) de longitud del pavimento. Estas grietas se pueden prevenir introduciendo juntas de contracción a intervalos de 20 a 35 pies (6.1 a 10.7 m).

Llegando a la conclusión que las juntas de contracción son necesarias para prevenir las detonaciones que causan los esfuerzos directos de compresión.” (Hay, 2000)

2.5.5.- ESFUERZOS TERMICOS DE TENSION Y DE COMPRESIÓN

“Estos esfuerzos, que se deben a los cambios de temperatura, dan lugar a variaciones en la longitud de la losa y al movimiento longitudinal de la misma con respecto a la capa de apoyo. Aparecerán grietas a menos que se coloquen juntas de dilatación y compresión.

Estas juntas térmicas se colocan por lo general cada 90 0 100 pies, distancia múltiplo de la que separa a las juntas de contracción, sustituyendo a estas ultimas en los lugares correspondientes. Mientras que las bajas temperaturas pueden dar lugar a esfuerzos de tensión que contribuyen a la expansión y a los esfuerzos de compresión. En días sumamente calurosos se pueden producir fallas o detonaciones del pavimento.”

(Hay, 2000).

2.5.6.- ESFUERZOS DE CONTRACCIÓN

“Como en la mayoría de los materiales de construcción, el concreto cambia en volumen cuando hay un cambio en la temperatura. Entonces, si una losa de concreto tiene libertad de movimientos, se contrae con una caída de temperatura. No obstante, si

se previene la contracción o movimiento de la losa en forma completa o parcial, se desarrollan los esfuerzos de tensión. En un pavimento, la resistencia de la losa al movimiento esta provocada por la fricción entre el fondo de la losa y la subrasante.

También se sabe que en general, el concreto se contrae o se encoge con una disminución en la humedad. Ya que podría por lo común esperarse que una losa de concreto disminuya su humedad con el paso del tiempo, puede esperarse también que la losa se contraiga ligeramente, lo que da por resultado una abertura en las juntas transversales.” (Wright, 1999)

2.5.7.- ESFUERZOS DE EXPANSION

Los esfuerzos de expansión actúan cuando la losa de pavimento de concreto esta sujeta a un incremento uniforme en la temperatura, al hacer esto aumentara la longitud de dicha losa. Bajo una combinación extrema de circunstancias se puede pensar que una losa de concreto de gran longitud puede combarse o aun reventarse si se evita esta expansión.

Si se instalan juntas de expansión transversales, se puede dar una cierta ayuda para poder evitar que se reviente el material de construcción.

2.5.8.- ESFUERZOS DE ALABEO

Es muy común que exista una diferencia de temperaturas entre la parte superior de y la parte inferior del pavimento. Sabemos que durante el día la temperatura es mas alta, por lo tanto afecta a la parte superior del pavimento siendo esta mas alta que la de fondo, por lo tanto, la parte superior del pavimento llega a expandirse mas que el fondo, dando como resultado una losa de superficie ligeramente convexa, las resiste el peso de la losa, con el resultado de que las fibras de la parte superior del pavimento están sujetas a compresión y las fibras del fondo estén sujetos a tensión, los esfuerzos que actúan en el pavimento como en este caso, se denominan esfuerzos de alabeo.

2.6.- DISTRIBUCIÓN DE LA PRESION

Hay que tener en cuenta la intensidad de la presión que proveniente de una carga, como se puede demostrar, esta carga es capaz de disminuir con la profundidad y de ser distribuida sobre un plano, a una profundidad dada, variando de una intensidad a otra cuya distribución de frecuencia es normal o en forma de campana de Gauss. La deformación del pavimento se puede relacionar directamente con la ley de Hooke, la cual afirma que el esfuerzo es una tensión proporcional, es decir, $S = Es$, en donde S es el esfuerzo, s es la tensión y E es el módulo de elasticidad del material. El análisis de Talbot de los carriles expresa inicialmente la relación como $p = uy$, en donde p es la carga, y es la deformación y u es el módulo de elasticidad del carril o de rigidez de sus apoyos.

2.7.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS FALLAS DE UN PAVIMENTO RIGIDO

En tiempos pasados y en la actualidad, los ingenieros civiles han construido infinidad de vías terrestres, como en este caso han sido pavimentos rígidos, etc; tomando en cuenta su diseño como punto importante, sus materiales de construcción, el tipo de suelo, el tipo de carga que estará sujeto el pavimento, el lugar donde será construido, en este caso sería el tipo de clima que tendría el lugar, los procesos de construcción, el medio ambiente que rodea al pavimento y como respondería este, a los fenómenos naturales como las lluvias, los vientos fuertes, el calor, la temperatura, etc.

El ingeniero al tomar en cuenta todos estos factores que seguramente causarían fallas y daños severos a los pavimentos rígidos a lo largo del tiempo, tendrá que estimar la durabilidad del pavimento, el cual será un factor de suma importancia para toda la comunidad que transite por este pavimento rígido, para así tomar medidas importantes para su mantenimiento perdurando por mas tiempo y brindando beneficios a la sociedad.

2.7.1.- IMPORTANCIA DE LA DURABILIDAD

“El doctor Pedro Castro Borges se refiere que el deterioro sufrido por algunos de los pavimentos construidos ha sido excesivo y las deficiencias se han atribuido a fallas

en el diseño, control de calidad, escasa capacitación del personal dedicado a la construcción de este tipo de pavimentos, lo cual ha inducido defectos en el proceso constructivo, influencia de la temperatura, sistemas de juntas deficientes, curado y texturizado escaso o no uniforme, entre otras. La atribución de fallas se ha basado muchas veces en experiencias y conocimientos empíricos, sin que se haya desarrollado una metodología detallada que permita dictar recomendaciones tendientes a aumentar la durabilidad en los pavimentos de concreto sobre la base de la detección de las causas reales de los problemas observado.”

“La maestra Cecilia Olague Caballero indica los principales problemas de durabilidad relacionados con los materiales de concreto que son la resistencia al congelamiento y descongelamiento, la reactividad alcalina y la resistencia a la abrasión. Como consecuencia de éstos problemas se inducen otros en el acero (pasajuntas o mallas). Por ejemplo, en zonas de hielo y deshielo se utiliza sal para evitar el congelamiento y los accidentes; en las zonas marinas la sal del mar se deposita en los pavimentos, y en grandes ciudades con determinado nivel de humedad hay carbonatación del pavimento. Estas situaciones producen la corrosión del acero y por ende una degradación más rápida del concreto.”

“Joseph Lamond indica que para evitar problemas de congelamiento y deshielo, el pavimento no deberá estar críticamente saturado, los vacíos de la pasta habrán de ser los adecuados, se deberá verificar que los agregados no sean susceptibles al congelamiento.”

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos hablan de controlar la reactividad álcali carbonato, especificando la selección de la cantera de agregados y el uso de un cemento portland bajo en álcalis. Para asegurar un concreto resistente a la abrasión se tendrá que especificar la adecuada resistencia a la compresión y la calidad de los agregados finos y gruesos. De igual manera, deben tomarse precauciones especiales para minimizar el ingreso de sales y gases al concreto que afecten su durabilidad. Lo anterior sólo será posible cuando se logre conocer las propiedades físicas y químicas de nuestros materiales y se emitan metodologías y reglamentos de acuerdo con nuestras condiciones climáticas y orográficas.”

Los factores que ocasionan las fallas en un pavimento de concreto hidráulico, han sido definidos por la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico como parámetros de durabilidad del concreto, este empleado para que se lleve a cabo la construcción de pavimentos rígidos, entre los cuales tenemos:

- Los *materiales* constituyentes del concreto,
- Los *procesos de construcción* a los que se somete el concreto,
- Las *propiedades químicas y físicas* del concreto,
- Los *tipos de carga*
- La naturaleza del ambiente a la que es expuesto el pavimento

.

Por consiguiente los pavimentos rígidos deben ser analizados por la degradación que sufre al ser expuesto a los procesos de congelación y descongelación y al efecto de elevados gradientes de temperatura y fuertes oscilaciones de la humedad relativa.

Es de suma importancia tomar en cuenta los deterioros que puede sufrir un pavimento rígido provocado por la corrosión del acero de refuerzo, el estado de corrosión de pasajuntas y barras de amarre, evidencias de reactividad álcali agregado y de contaminaciones químicas entre otros efectos.

Para que el ingeniero civil lleve un mejor control, es importante realizar estudios con la determinación de sitios de muestro para llegar a fondo en el conocimiento de cada factor o parámetro de durabilidad y su efecto en los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico.

A continuación se definirán los factores que influyen en los pavimentos rígidos, para que se den fallas:

2.7.2.- MATERIALES Y EL CONCRETO

Al iniciar la construcción de un pavimento rígido el material es uno de los parámetros de durabilidad más importantes ya que es con lo que vas a crear el pavimento, lo cual debe ser de buena calidad, y todo lo referente al concreto como la relación agua-cemento, la relación y cantidad de los agregados, etc. Si se realiza debidamente con el material necesario y con los requerimientos indicados, tanto el material como el concreto, tendrán mejor resistencia, dureza, durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo, siendo un pavimento rígido de buenas condiciones.

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos hablan de lo fundamental que son los análisis de durabilidad del concreto el conocimiento de las propiedades de los materiales empleados en cada región para la construcción de pavimentos de concreto, para lo cual se deberán realizar estudios de caracterización de materiales mediante análisis petrográficos, estudios básicos para determinar los agregados potencialmente reactivos, estudios básicos de los cementos empleados en la región que consideren la composición química de los mismos, su contenido de álcalis y su finura. Esta información facilitará la formulación de una caracterización química y física de los materiales empleados en la construcción de las losas de concreto.”

“Se sugiere la definición de regiones climáticas en el área de estudio con la realización de estudios petrográficos de agregados gruesos y finos. En el caso de los agregados gruesos, se ubicarán los bancos de calizas de donde se los extrae por tener una dureza 3, y se procederá a la toma de muestras tanto del material triturado final como del material directo del banco. Debe realizarse una exploración detallada del banco en la misma ocasión en que se realice el muestreo. En el caso de los agregados finos el material generalmente es arena de río, razón por la cual deben ubicarse los ríos de donde se la extrae, y se procederá al muestreo del material necesario para el estudio, conforme a las diferentes regiones climáticas consideradas.”

“Los estudios petrográficos se complementarán con análisis de difracción de rayos X para obtener información relativa a la composición química de los agregados.

Estas muestras se utilizarán además para determinar el carácter reactivo o no de los agregados de cada región climática. La reactividad álcali-agregado se sugiere que se realice con base en:

a) Ensayes de barras de mortero (ASTM C 227), prueba que requiere de tres a seis meses para obtener resultados.

b) Prueba química rápida (ASTM C 289), la cual determina el contenido de agregados silíceos potencialmente reactivos (dos o tres días para obtener resultados).

c) Prueba de núcleo de roca (ASTM C 586), que determina agregados de roca con carbonatos potencialmente reactivos (se tienen resultados en 28 días).”

“La evaluación detallada permitirá definir criterios para ubicar los sitios de donde se extraerán corazones a los que se efectuarán pruebas de resistencia a la compresión y de permeabilidad. Se considera necesario la determinación del módulo de ruptura de los pavimentos de cada región.”

“La permeabilidad de un concreto es un buen indicador de su durabilidad frente a agresiones físicas y químicas. La baja permeabilidad y una mejora sustancial de la micro estructura de su pasta implicarán una reducción de la permeabilidad. Hustand y Loland confirman lo anterior .Skurdal presenta resultados de la influencia que en la permeabilidad tiene la temperatura de la superficie.”

“La parte superior de los pavimentos rígidos, son las losas de concreto hidráulico que se construyen sobre la subbase y proporcionan la superficie de rodamiento. El concreto hidráulico es un material pétreo artificial, que se elabora mezclando parte del agua y cemento Pórtland, con arena y grava en proporciones tales que se produzcan la resistencia y la densidad deseada.”(Olivera, 1986)

Las principales propiedades que se deben observar en las gravas y arenas son la plasticidad, la dureza, la sanidad, la forma de la partícula y la granulometría.” (Olivera, 1986)

Es importante utilizar aditivos para el concreto, para retardar el fraguado inicial, acelerar la resistencia y reducir la cantidad de agua de un 5 a 10 % sin disminuir la fluidez.

El ingeniero debe tener en cuenta el proporcionamiento de materiales para el concreto hidráulico, debe manejar los materiales adecuadamente, mezclando las cantidades necesarias para que sobre todo se obtenga la resistencia adecuada, una vez que el concreto haya endurecido, además de tener la mejor densidad posible, por esta razón es que el ingeniero debe encontrar el proporcionamiento mas adecuado, el cual esta en función de la resistencia adecuada, la densidad optima y la manejabilidad del concreto fresco.

“El concreto soporta esfuerzos de compresión relativamente elevados, pero tiene muy poca resistencia a la tensión. Debido a su resistencia baja a la tensión, la resistencia a la flexión de las losas también es baja. El concreto como otros materiales, se dilata o se contrae cuando la temperatura aumenta o disminuye.” (Ogles, 1969)

“Los pavimentos de concreto están expuestos a los elementos, aquellos varían de longitud según la hora del día, las estaciones y las variaciones del tiempo, además la variación de la temperatura diaria y de las estaciones y la diferencia de humedad entre las partes superior e inferior de las losa, introducen una tendencia a inclinarse y curvarse.” (Ogles, 1969)

Dentro de la elaboración del concreto es importante la relación de agua cemento, esta misma manteniéndose constante, la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto puede variar de acuerdo a la manejabilidad que se requiere en la obra y que se mide por medio de la prueba de revenimiento o asentamiento, teniendo que ser mas fluida cuando se tiene un emparrillado de acero muy cerrado, o cuando se trata de fabricar elementos muy delgados.

2.7.3.- PROCESOS DE CONSTRUCCION A LA QUE SE SOMETE EL CONCRETO

En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos dan el ejemplo de los pavimentos de concreto hidráulico de la ciudad de Chihuahua mencionando los deterioros más severos y más numerosos, ubicados tanto en las juntas de construcción

como en las juntas de expansión. Por ello, un aspecto fundamental para considerar en la metodología es el análisis de las causas reales que están ocasionando estos deterioros.

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico se habla de realizar una recopilación de los procedimientos y equipos de construcción empleados en la región. Posteriormente, y con base en la evaluación tanto somera como detallada que se realizó previamente, se debe crear una base de datos por tipos de juntas y grietas profundas de acuerdo con una convención sugerida en las mismas metodologías. Se sugiere determinar la eficiencia de las juntas mediante la medición de las deflexiones del área cargada contra el área no cargada empleando la viga Benkelman, equipo económico y fácilmente accesible”

Para la construcción de losas de pavimento rígido, es importante tener revenimientos entre 3 cm y 5 cm, la cantidad de agua necesaria para fabricar un metro cúbico de concreto esta ligada con la cantidad de agua para tener revenimiento de 10 cm, debiéndose corregir, aumentando o restando 3 % por cada 2.5 cm (1plg) de mas o de menos en el revenimiento deseado. Esta cantidad de agua es parte de la que requieren los materiales pétreos para estar en una condición de saturados y superficialmente secos.

“Cuando se construye el pavimento de concreto hidráulico apropiadamente, tiene una larga vida y un costo de mantenimiento relativamente bajo. Pocas veces es resbaladizo, aun cuando se encuentre húmedo, a menos que este cubierto con lodo, hielo y aceite.” **(Ogles, 1969)**

El proceso de construcción de un pavimento rígido es muy importante realizarlo de acuerdo a un patrón de orden ya que si no se hace de esa forma puede repercutir ocasionando fallas en el pavimento.

El ingeniero Olivera Bustamante nos explica como debe ser el procedimiento de construcción para una franja de losas de pavimento rígido, para prevenir las fallas que pueden darse a lo largo de la vida útil del pavimento, donde general se requieren mas de tres franjas, por lo que es necesario repetir el procedimiento las veces que se necesite:

1).- “Se eligen los bancos de materiales pétreos (arena y grava), para lo cual es necesario realizar una exploración de la zona en donde se construirá la obra.

2).- Se elige el tipo y marca del cemento Pórtland, así como los aditivos que se utilizaran y las proporciones en que intervendrán: cemento, agua, arena, grava y la cantidad y tipo de aditivo que se usara por unidad de peso.

3).- Se extrae el material de los bancos; si se trata de conglomerados o roca se deben utilizar explosivos y para cualquier materia, dependiendo de los tamaños máximos, para cargarlos en los transportes se utilizan desde palas manuales, palas frontales hasta palas mecánicas.

4).- Se realizan los tratamientos previos necesarios, como cribado, triturado, lavado.

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

6).- Se realiza el mezclado de los materiales.

7).- La subbase deberá ser compactada debidamente e impregnada, se humedecerá para que no absorba el agua del concreto fresco.

8).- El concreto vaciado en el encofrado deberá acomodarse o compactarse por medio de vibradores de inmersión para darle densidad adecuada, enseguida se enrasa la mezcla por medio de un vibrador de superficie, con lo cual se da el espesor necesario y se tiene un primer acabado.” **(Olivera, 1986)**

Si se cumple estas restricciones el pavimento de concreto hidráulico o rígido tendrá resistencia, durabilidad, y no presentara fallas a lo largo de su vida útil, beneficiando a la sociedad.

2.7.4.- PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DEL CONCRETO

En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos hablan acerca de los distintos elementos que intervienen en la mezcla de concreto, los cuales deben cumplir con los siguientes requisitos para así lograr mejor durabilidad:

“a) Los agregados finos deben ser químicamente inertes, libres de cualquier recubrimiento; deben ser satisfactorios en términos físicos, es decir, en cuanto a dureza,

absorción, propiedades térmicas y elásticas, aspectos todos que deben ser estudiados y evaluados en los concretos elaborados para construir pavimentos.

b) El agregado grueso debe ser petrográficamente aceptable en cuanto a dureza y tenacidad; debe ser químicamente inerte, libre de cualquier recubrimiento, tener granulometría y forma apropiadas; debe ser satisfactorio tanto en términos físicos como en densidad y absorción, cualidades que serán analizadas en cada uno de los bancos de materiales de la región.

c) El agua de mezclado debe ser compatible y debe estimular la hidratación química del cemento; ésta deberá estar libre de cloruros o sulfatos.

d) Los aditivos deben ser mutuamente compatibles en el sentido químico.”

“Otro dato importante que maneja la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico es la importancia de estudiar el espesor, que este se desprende de un estudio en el que se evidencia la influencia del espesor del pavimento en la durabilidad del mismo.”

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos habla del factor que mas incide en la durabilidad de las mezclas del concreto, el cual es, la relación agua / cemento: cuanto más baja es esta relación más resistente es el concreto y más densa e impermeable es la mezcla. Los compuestos químicos que se encuentran en la base hidráulica pueden contener elementos reactivos con el pavimento de concreto. Si estos compuestos ascienden por capilaridad pueden llegar al pavimento y ocasionarle deterioros.”

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos indica que el estudio de dosificaciones adecuadas de mezclas y el empleo de aditivos se analizarán con el fin de determinar las más adecuadas de acuerdo con los materiales de la región. Se analizarán los bancos de materiales de la zona con el objeto de conocer la calidad de los mismos, la posible reactividad álcali-agregado, la contaminación con sulfatos o cloruros que puedan afectar la durabilidad de los concretos empleados en pavimentación.” En esta parte del estudio, y con fundamento en el conocimiento previo de la caracterización química y física de los materiales, se plantea la realización de un

estudio que defina la influencia del método de dosificación de mezclas en la durabilidad del concreto obtenido. Se sugiere la comparación entre el método tradicional del ACI y un método experimental –desarrollado por un investigador cubano, el doctor V. O Reilly– cuya aplicación plantea la obtención de mezclas más económicas y durables.”

2.7.5.- TIPOS DE CARGA

“La evaluación de pavimentos de concreto hidráulico trata de los volúmenes vehiculares máximos, así como los datos del TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual), dimensiones y peso máximo de los vehículos que circulan por los pavimentos, son datos básicos que deben ser considerados en los análisis de durabilidad. Esta información puede obtenerse mediante una recopilación de datos existentes en las dependencias correspondientes. Asimismo se procede a la verificación, cuando se considere necesario, mediante aforos vehiculares que determinen tanto el volumen como la composición del tránsito que circula por las vialidades. Esto se hace con el fin de contar con una información confiable y segura.”

“Si una porción de suelo se le impone la carga de una rueda, un durmiente de ferrocarril o una losa de pavimento, el suelo tendera a comprimirse e incluso a elevarse alrededor del área que recibe la carga. Si el suelo (capa de apoyo) que se comprimió recupera su posición una vez retirada la carga, habrá sufrido una deformación elástica, pero si permanece comprimido o con señales de surco, se habrá producido una deformación plástica (una falla)” (Hay, 2000)

“Los factores de diseño incluyen no solo las características del suelo sino también las cargas que imponen las ruedas y el numero de veces que se repiten dichas cargas. La mayoría de los estados, lo mismo que el gobierno federal, han limitado las cargas impuestas por un solo eje a 18 000 lbs (18 Kips) (1872 kg) a un equivalente de 32,000 lbs (32 Kips) (14528 kg) para ejes en tandem. De acuerdo con las pruebas AASHTO, el equivalente de la carga de un solo eje se toma en $0.57 \times$ la carga de ejes en tandem. El numero de cargas por eje diarias en una sola dirección de diversos pesos se obtiene de los estudios o estimaciones del transito. Se multiplica por el factor de

equivalencia apropiado para obtener el numero equivalente de cargas de eje de 18 kips por día para el carril que se diseña.” (Hay, 2000)

“El ingeniero Clarkson H. Ogles en su libro Ingeniería de Carreteras nos habla acerca de la carga e impacto que debe tener un pavimento rígido, mencionando las cargas permisibles de las ruedas que difieren ampliamente. Para el Ingeniero fue de particular interés el descubrimiento de que las cargas de las ruedas de 3629 kg sobre llantas de alta presión, desarrollaban una reacción vertical de 5325 kg, mientras que las cargas en las ruedas de 4082 kg sobre llantas de baja presión producían solamente 4536 kg de reacción vertical.” (Ogles, 1969)

Toda esta información es importante que el ingeniero la conozca ya que son datos que le permitirán construir un pavimento de concreto hidráulico de buena calidad, resistencia, durabilidad, tomando las magnitudes de carga adecuadas para su diseño, las cuales se mencionan en el párrafo anterior.

Tomando en cuenta estas restricciones de carga en el diseño, habrá menos posibilidades de fallas, tales como agrietamientos, fisuras, etc, ocasionadas por los vehículos.

2.7.6.- EL MEDIO AMBIENTE AL QUE ESTA EXPUESTO EL PAVIMENTO

En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos explican que las condiciones del medio ambiente en que se encuentran las estructuras son tan importantes como lo es el cemento, los agregados y el material de base; esto reafirma el verdadero papel que los agregados desempeñan como componentes activos utilizados en la construcción de la estructura del pavimento. Es importante el estudio de los mecanismos que inducen el agrietamiento por contracción plástica del concreto⁵ así como el agrietamiento por cargas de servicio ya que este redundará en una menor durabilidad de los pavimentos. Esto requiere información relacionada con el gradiente térmico, la humedad relativa y datos de contaminación por sulfatos, CO₂ y cloruros.

Es importante que el ingeniero tenga el conocimiento del gradiente térmico de la losa así como de la humedad relativa interna del pavimento ya que es muy importante para cada región y en cada caso particular de interés.

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos hablan de los estudios de resistencia al congelamiento y al deshielo deben efectuarse en las regiones con susceptibilidad alta y media, de acuerdo con la regionalización del país propuesta en el manual del concreto de la CFE 1996. Esta se relacionará con datos, previamente obtenidos, de porosidad, absorción, permeabilidad y estructura del poro de los agregados. En general las partículas gruesas presentan más porosidad por lo que son las más propensas a saturarse y, en consecuencia, a expandirse cuando se someten a la congelación. Este aspecto deberá cuidarse especialmente en las zonas críticas (ASTM C 666).”

Puede ser conveniente, que el ingeniero adicione la realización de pruebas para determinar la profundidad de carbonatación en los pavimentos existentes en cada región, al realizar este tipo de pruebas el ingeniero podrá seleccionar con facilidad los sitios de muestreo con base en la antigüedad y las condiciones que propicien la presencia de este problema.

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico toman en cuenta que es importante estudiar el efecto colateral que la carbonatación podría tener en el agrietamiento del pavimento, ya que al densificarse la mezcla como resultado de la reacción álcali-carbonato podría la sobrecapa ser más susceptible de agrietarse con el paso del tránsito. Ello permitirá realizar diseños más acordes con las características climatológicas del lugar y no utilizar únicamente normativa que no se sabe si es aplicable a las condiciones del medio. Para estudiar estos efectos es necesario seleccionar pavimentos y elaborar un mapeo de grietas señalando su ubicación y espesor. Esta evaluación se llevará a cabo con el Manual SHRP (Strategic Highway Research Program) 1993. Posteriormente se extraerán corazones de concreto en zonas agrietadas y zonas sanas para observar su resistencia a la compresión simple, su carbonatación y su permeabilidad. La correlación de estos factores permitirá conocer las causas de las fallas encontradas en pavimentos de este tipo.”

También en la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico se explica que se deberá determinar además el frente de sulfatación y el perfil de cloruros en donde corresponda, dependiendo de la información relativa a contaminaciones existentes.

“En la evaluación de pavimentos de concreto hidráulico nos hablan de otro aspecto fundamental es el que se refiere al conocimiento de las condiciones locales que inducen el deterioro del acero empleado en el pavimento rígido (pasajuntas y barras de amarre) y que, en caso de no tomarse en cuenta, sus efectos inducirían un proceso de corrosión con los consecuentes daños a la estructura. Cabe hacer mención de la importancia del estudio de este parámetro que no es considerado de manera sistemática en ninguna metodología, y que repercute considerablemente en los costos de un pavimento ya que, si bien 61 % de éstos corresponde al costo del cemento, le sigue el costo de los pasajuntas y barras de amarre con 17 % del costo total de la losa. Esto pone en evidencia la importancia de dictar recomendaciones relativas a mejorar la durabilidad del concreto y su protección contra los agentes que corroen el acero.”

2.8.- TIPOS DE FALLAS QUE ACTUAN EN UN PAVIMENTO RIGIDO

En un pavimento rígido o de concreto hidráulico, se pueden dar fallas provocadas por factores como son los materiales de construcción, los procedimientos de construcción utilizados, los tipos de carga el cual soporta el pavimento, el medio ambiente el cual esta rodeado y los tipos de esfuerzos que esta sujeto el pavimento.

Las fallas que se pueden dar en un pavimento pueden ser las siguientes:

- a).- Agrietamientos
- b).- Fisuras
- c).- Ahuellamiento
- d).- Expansión y Contracción.

2.8.1.- AGRIETAMIENTOS

“El concreto hidráulico es un producto que desde que se termina su mezclado y puesto en obra, esta sujeto a agrietarse; al principio por la pérdida de agua por evaporación y por las reacciones químicas internas en esta etapa; estas anomalías pueden reducirse a un mínimo si se curan de forma adecuada, para lo cual, lo mas efectivo es un esparcido superficial, inmediatamente después del tendido, de alguna sustancia de las que existen en el mercado que impiden la evaporación del agua de la mezcla. Además deben tomarse en cuenta factores de clima, como es evitar el colado cuando haya vientos con altas velocidades o temperaturas muy altas (principalmente en las costas).” **(Olivera, 1986).**

“El ingeniero Olivera nos habla en su libro de estructuración de vías terrestres que una vez que ha endurecido la mezcla tiende a expandirse o dilatarse y a acortarse o contraerse de acuerdo con los cambios de temperatura, lo cual, aunado a la fricción que tienen con la subbase impregnada, que impide parcialmente su movimiento, hace que el concreto se agriete. Este agrietamiento se presentara de manera no uniforme, y su abertura puede ser de tal magnitud, que pierda la interacción granular entre las diferentes partes, lo cual no debe tolerarse en los pavimentos rígidos, sino antes al contrario, se deberá asegurar que las losas del pavimento trabajen conjuntamente al aplicárseles las cargas.”

“En general, puede decirse que si las grietas no se abren mas de 3 mm, se asegura que haya acción interregular. Claro esta que las grietas se abran mas o menos, es función del largo de las losas y también en forma secundaria, y de su ancho; así mismo, se debe forzar a que las grietas sean perpendiculares a la dirección del colado.” **(Olivera, 1986)**

2.8.2.- FISURAS

El ingeniero Ogles en su libro de ingeniería de carreteras nos explica esta falla muy común en los pavimentos rígidos, dando importancia a los esfuerzos de flexión y de tensión directos en las losas de concreto de cualquier longitud grande, excederán la

fatiga de resistencia del material, de allí que las fisuras en las losas largas ocurrirán en una forma no controlada e imprevista o en lugares previamente establecidos en el pavimento en donde puede tratarse con efectividad.

“Casi universalmente, las fisuras a lo largo del pavimento (falla longitudinal) están controladas mediante alguna forma de junta en el punto de división entre los carriles de tránsito.” **(Ogles, 1969)**

“Las fisuras que ocurren transversalmente, en ángulos rectos a la dirección del vehículo que viaja (falla transversal), se acomodan comúnmente en uno de los tres modos a continuación:

1).- Las fisuras debidas al cambio de temperatura y variación de humedad y otras causas.

2).- Proveer relativamente refuerzo ligero en la losa y espaciar mas las secciones debilitadas. Con este diseño se anticipa que algunas fisuras finas aparezcan a intervalos, pero que el acero de refuerzo evitara que se abra. Los ajustes en la longitud de la losa debido al cambio de temperatura y humedad y de otros factores, ocurrirán en las juntas.

3).- Proveer relativamente con refuerzo pesado continuo y omitir por entero las juntas. Este procedimiento causa finuras finas que se desarrollan a tan pequeños intervalos que casi no hay movimiento de la losa con la variación de la temperatura y la humedad.” **(Ogles, 1969)**

III.-METODOLOGIA

3.1.- SELECCION DE CALLES DE ESTUDIO

Primeramente se realizó la selección de calles a estudiar, es recomendable, ir con Ingenieros Civiles que tengan experiencia en este tipo de problema, como en este caso, las fallas en un pavimento rígido; realizar entrevistas y hacerles preguntas de las calles que mas han sufrido fallas de cualquier tipo y que recomienden cuales son las calles de Cd. Obregón, donde se necesite la elaboración de este estudio.

3.2.- HISTORIA Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CALLES DE ESTUDIO

En cuanto a las características fue importante investigar, el año de construcción, espesores de la estructura, conservación y mantenimiento de las calles, materiales de construcción que se emplearon y las características del tránsito, etc.

Para encontrar toda esta información fue necesario realizar una o varias visitas al ayuntamiento y al departamento de obras, para obtener información de manera específica de todo lo mencionado anteriormente, lo cual sería lo más importante de las calles a estudiar.

3.3.- OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS PRELIMINAR PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE FALLAS

Para realizar la observación y el análisis indicado, y poder identificar y clasificar los tipos de fallas, fue necesario, ir a revisar las calles a estudiar, lo cual consistió en realizar recorridos a pie sobre los tramos de las calles ya construidas, donde se observó y se analizó con claridad los tipos de fallas existentes, donde se utilizó el catálogo de fallas como instrumento y se usó una cámara fotográfica para tener evidencias de las fallas y herramientas para un estudio más específico en gabinete.

3.4.- REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE CAMPO Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Los estudios de campo y pruebas no destructivas consistieron en la verificación de las dimensiones de las losas de concreto, la magnitud y el nivel de severidad de cada una de las fallas más típicas encontradas, utilizándose una cinta métrica, basándose principalmente en el catálogo de deterioros de fallas de pavimentos de concreto hidráulico para su respectivo análisis. (M5.2. CATÁLOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, colección de documentos, Volumen num.12, 2002).

Se realizó el estudio de la resistencia del concreto a la compresión mediante la prueba del martillo de shmidt o esclerómetro, a continuación se proporciona la información básica de cómo llevar a cabo esta prueba no destructiva:

3.4.1.- CONCEPTO

La prueba del esclerómetro esta basada en el principio de que el rebote de una masa depende de la superficie sobre la que golpea la masa. En esta dicha masa es impulsada por un resorte que tiene una cantidad fija de energía que se le imprime al extender el resorte hasta una posición determinada, presionando el embolo contra la superficie del concreto a probar.

Al liberarlo, la masa rebota del embolo que aun esta en contacto con el concreto y la distancia recorrida por la masa expresada como (%), de la extensión inicial del resorte, es lo que se llama numero de rebote y es señalado por un indicador que ocurre sobre una escala graduada.

3.4.2.- COMPONENTES

El esclerómetro (Martillo de Rebote) es un aparato que básicamente consta de los siguientes componentes:

- ✓ Embolo
- ✓ Concreto
- ✓ Camisa Tabular
- ✓ Guía
- ✓ Escala
- ✓ Masa
- ✓ Botón asegurador
- ✓ Resorte
- ✓ Seguro

3.4.3.- PROCEDIMIENTO

- ✓ Pulir el área del concreto a probar.
- ✓ Colocar perpendicularmente el embolo del esclerómetro y presionarlo contra el área a probar.
- ✓ Liberar la masa con el botón disparador.
- ✓ Tomar 4 lecturas ubicadas en cada esquina del tablero de concreto a probar, quitando la mayor y menor lectura promediando las dos restantes.
- ✓ Obtener la resistencia a compresión del tablero de concreto de acuerdo con las curvas de la calibración del esclerómetro.

3.5.- SELECCIÓN DE FALLAS MÁS TÍPICAS DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Mediante la identificación y clasificación del tipo de fallas de los tramos de estudio, se compararan los tres tramos estudiados para así conocer cuales son las fallas más comunes que existieron, posteriormente para escoger las fallas más típicas y realizarles pruebas de campo y de laboratorio que permitieran recomendar su reparación y/o prevención.

3.6.- EVALUACIÓN Y SOLUCION DEL TIPO DE FALLAS TÍPICAS.

En base al manual de deterioros, estudios de campo y pruebas no destructivas, se evaluó y cuantificó la severidad y magnitud de cada falla más típica. Se utilizó una cinta métrica con la cual se midió el ancho refiriéndose a las grietas transversales, la longitud de la saltadura de la grieta de esquina y el área de cada bache y desintegración donde se obtuvieron resultados que se compararon con los valores ya establecidos en el catalogo de deterioros, determinándose el nivel de severidad (Baja, Media, Alta), donde se recomendó algunas soluciones para su reparación.



IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1.- SELECCION DE CALLES DE ESTUDIO

Para la selección de calles de estudio se realizaron entrevistas a Ingenieros Civiles que con experiencia en este tipo de pavimentos, las preguntas realizadas básicamente consistieron en cual de las calles construidas con concreto hidráulico, han sufrido fallas de cualquier tipo y cuales serian las calles adecuadas para su investigación. **(Ver Anexo A) Croquis de localización de las calles de estudio.**

4.2.- HISTORIA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CALLES DE ESTUDIO

En lo que son las características físicas se investigó, el año de construcción, vida útil del pavimento, espesores de la estructura, conservación y mantenimiento de las calles, materiales de construcción que se emplearon y las características del tránsito, etc.

Para encontrar toda esta información se realizó varias visitas al Departamento de Ingeniería Municipal del Ayuntamiento y al Departamento de Obras del Instituto Tecnológico de Sonora, y a empresas constructoras. A continuación información de cada calle de estudio:

4.2.1.- CALLE NORMAN BOULARG

Se seleccionó para su estudio esta calle ya que es uno de los pavimentos más transitados, ya que presenta diariamente la circulación de gran volumen de todo tipo de vehículos, (A'2, B'2) sometiendo al pavimento a una gran cantidad de esfuerzos.

- ✓ La calle Norman Boularg se construyó en el año de 1993, proyectada a 30 años de vida útil.
- ✓ Su espesor de la losa es de 20 cm.
- ✓ Su resistencia es de 350 kg/cm².
- ✓ Se le aplicó hielo molido al 2.5 % del volumen, para evitar la vejez prematura del concreto, para que no perdiera humedad a la hora de estar fraguando.
- ✓ La aplicación del concreto fue una cimbra deslizante vibratoria y al acabado se le dio con llanas metálicas.
- ✓ El tamaño máximo del agregado fue de $\frac{3}{4}$ de grava
- ✓ Para su curado se efectuó con membrana de curado y se utilizaron lonas de sellamiento de superficie, así para evitar la aspiración de la humedad.

4.2.2.- CRUCERO JESUS GARCIA Y MICHOACAN

Se seleccionó para su estudio esta calle debido al gran volumen de todo tipo de vehículos (A'2 y B'2) que circulan durante el día, lo cual con el tiempo ocasionan daños al pavimento.

- ✓ El cruceo Jesús García y Michoacán se construyó en el año 2000, proyectado a 30 años de vida útil.
- ✓ Su espesor de losa es de 15 cm.
- ✓ Su resistencia es de 350 kg/cm².
- ✓ No se le aplicó hiello molido.
- ✓ Se utilizó revolvedora y albañiles para la colocación del concreto.
- ✓ El tamaño máximo de los agregados fue de ¾ de grava.
- ✓ El curado se efectuó con membrana de curado.

4.2.3.- BOULEVARD ANTONIO CASO

Se seleccionó para su estudio esta calle ya que es uno de los pavimentos rígidos más antiguos de acuerdo a su construcción, presenta diariamente un gran volumen de todo tipo de vehículos (A'2 y B'2), los cuales pueden ocasionar daños al pavimento, debido a que su ubicación es en una zona escolar.

- ✓ El Boulevard Antonio Caso se construyó en el 1986, proyectado a 30 años de vida útil.
- ✓ Su espesor de losa es de 15 cm.
- ✓ Su resistencia del concreto es de 280 kg/cm²
- ✓ Se utilizó riego de impregnación.
- ✓ Su curado fue utilizando curacreto base de agua y regla vibratoria
- ✓ Sus espesores de Base y Sub-base fueron de 15 cm.
- ✓ Entre junta y junta se selló con cemento asfáltico.
- ✓ No contiene aditivos
- ✓ Se utilizó motoconformadora, retroexcavadora, compactador vibratorio y sapo.

4.3.- OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACION DEL TIPO DE FALLAS

Para poder identificar y clasificar los tipos de fallas, se revisaron los tramos de las calles a estudiar a detalle, utilizando el manual de deterioros como instrumento, recorridos a pie para ir observando con más claridad las fallas y se usó una cámara fotográfica para la recolección de evidencias para un estudio mas específico en gabinete.

Encontrándose las siguientes fallas:

4.3.1 CALLE NORMAN BOULARG

Se seleccionó un tramo representativo de aproximadamente 300 mts ubicado entre el Boulevard Ignacio Ramírez Guillermo Prieto.

4.3.1.1.- DETERIOROS SUPERFICIALES

a).- BACHES: Es una cavidad, normalmente de forma redondeada, que se forma al desprenderse concreto. Su diámetro varia entre unos 25 mm y 100 mm y la profundidad supera los 15 mm. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Materiales deleznales (terrones de arcilla, cal viva, etc) en el interior del concreto.
- ✓ Mortero poco homogéneo. **(Ver figura IV.1)**



(Ver figura IV.1)

4.3.1.2.- GRIETAS

a).- GRIETA LONGITUDINAL: Son grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa pero la intersección se produce a una distancia mucho mayor que la mitad del ancho de la losa. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Asentamiento de la base o la subrasante
- ✓ Losa de ancho excesivo
- ✓ Carencia de una junta longitudinal
- ✓ Mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas
- ✓ Aserrado tardío de la junta. **(Ver figura IV.2)**



(Ver figura IV.2)

b).- GRIETA DE ESQUINA: Son grietas que origina un trozo de forma triangular, al interceptar las juntas transversales y longitudinal y que forma un ángulo de aproximadamente 50 grados con la dirección del transito. La longitud de los lados del triangulo varia entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Falta de apoyo de la losa, originando por erosión de la base o alabeo térmico.
- ✓ Sobrecarga en las esquinas.

- ✓ Deficiente transmisión de cargas entre las juntas.

(Ver figura IV.3).



(Ver figura IV.3).

4.3.1.3.- OTROS DETERIOROS

a).- TEXTURA INADECUADA: Es la carencia o perdida de la textura superficial necesaria para que exista una fricción adecuada entre pavimento y neumáticos. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ No se terminó con textura adecuada
- ✓ Concreto mal dosificado o mala calidad de la arena
- ✓ Exceso de mortero en la superficie por mucha vibración o mala dosificación.
- ✓ En climas fríos, acción combinada del tránsito con los ciclos hielo-deshielo, cuando el concreto tuvo una mala terminación superficial o no tiene aire incorporado. (Ver figura IV.4).



(Ver figura IV.4).

4.3.2.- CALLE BOULEVARD ANTONIO CASO

Se seleccionó un tramo representativo de aproximadamente 300 mts ubicado entre las calles Berlin y Albert Einstein.

4.3.2.1.- JUNTAS

a).- DEFICIENCIA DE SELLADO: Es el deterioro del sello de las juntas que permiten la incrustación de materiales incompresibles (piedras, arenas, etc) y/o la infiltración de una cantidad considerable de agua superficial. Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: endurecimiento, despegado de una o ambas paredes, fluencia fuera de la caja, carencia total, incrustación de materias ajenas y crecimiento de vegetación.

Sus posibles causas son las siguientes:

- ✓ Endurecimiento: producto de mala calidad, envejecimiento
- ✓ Despegado de las paredes de la junta: producto de mala calidad sellado mal colocado, caja mal diseñada.
- ✓ Fluencia fuera de la caja: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de coloración deficiente.
- ✓ Carencia: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- ✓ Incrustaciones de materias incompresibles: bermas no pavimentadas vehículos que dejan caer materiales.

(Ver figura IV.5).



(Ver figura IV.5).

b).- JUNTA SALTADA: Es la desintegración de las aristas de una junta longitudinal o transversal o una grieta, con pérdida de trozos y que puede afectar hasta unos 500 mm dentro de la losa. Sus posibles causas son las siguientes:

- ✓ Debilitamiento de los bordes de la junta debido a un acabado excesivo u otro defecto de construcción.
- ✓ Penetración de partículas incompresibles dentro de la caja de una junta o dentro de una grieta activa. (Ver figura IV.6).



(Ver figura IV.6).

4.3.2.2.- GRIETAS

a).-GRIETA TRANSVERSAL: Son grietas predominantemente perpendiculares al eje de la calzada. También pueden extenderse desde una junta transversal hasta el borde del pavimento, siempre que la

intersección con la junta está a una distancia del borde mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con el borde se encuentra a una distancia inferior que la mitad del ancho de la losa.

Sus posibles causas son las siguientes:

- ✓ Losas de longitud excesiva
- ✓ Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- ✓ Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones
- ✓ Retracción térmica que origina alabeos. **(Ver figura IV.7).**



(Ver figura IV.7).

b).-GRIETA DE ESQUINA: Son grietas que origina un trozo de forma triangular, al interceptar las juntas transversales y longitudinal y que forma un ángulo de aproximadamente 50 grados con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Falta de apoyo de la losa, originando por erosión de la base o alabeo térmico.
- ✓ Sobrecarga en las esquinas.
- ✓ Deficiente transmisión de cargas entre las juntas.

(Ver figura IV.8).



(Ver figura IV.8).

4.3.2.3.-DETERIOROS SUPERFICIALES

a).- BACHES: Es una cavidad, normalmente de forma redondeada, que se forma al desprenderse concreto. Su diámetro varía entre unos 25 mm y 100 mm y la profundidad supera los 15 mm. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Materiales deleznales (terrones de arcilla, cal viva, etc) en el interior del concreto.
- ✓ Mortero poco homogéneo. (Ver figura IV.9)



(Ver figura IV.9)

b).-DESINTEGRACION: Es la desintegración progresiva de la superficie perdiéndose primero la textura y luego el mortero, quedando el árido grueso expuesto. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Concreto con exceso de mortero
- ✓ Concreto mal dosificado

- ✓ En climas fríos, acción del tránsito y de los ciclos de hielo-deshielo cuando la superficie presenta fisuramiento por retracción (tipo malla) o el concreto no contiene aire incorporado.
- ✓ Curado inapropiado. **(Ver figura IV.10)**



(Ver figura IV.10)

4.3.2.4.- OTROS DETERIOROS

LEVANTAMIENTO LOCALIZADO: Es el levantamiento de parte de la losa, localizado a ambos lados de una junta transversal o grietas. Habitualmente el concreto afectado se quiebra en varios trozos. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Variaciones térmicas cuando la longitud de las losas es excesiva y no cuenta con juntas de expansión
 - ✓ En pavimentos con barras de traspaso de cargas, mala colocación de estos elementos.
 - ✓ Presencia de un estrato de suelos expansivos a poca profundidad.
- (Ver figura IV.11)**



(Ver figura IV.11)

4.3.3.- CRUCERO JESUS GARCIA Y MICHOACAN

4.3.3.1.- GRIETAS

a).- GRIETA LONGITUDINAL: Son grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa pero la intersección se produce a una distancia mucho mayor que la mitad del ancho de la losa. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Asentamiento de la base o la subrasante
- ✓ Losa de ancho excesivo
- ✓ Carencia de una junta longitudinal
- ✓ Mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas
- ✓ Aserrado tardío de la junta. (Ver figura IV.12)



(Ver figura IV.12)

b) GRIETA TRANSVERSAL: Son grietas predominantemente perpendiculares al eje de la calzada. También pueden extenderse desde una junta transversal hasta el borde del pavimento, siempre que la intersección con la junta está a una distancia del borde mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con el borde se encuentra a una distancia inferior que la mitad del ancho de la losa.

Sus posibles causas son las siguientes:

- ✓ Losas de longitud excesiva
- ✓ Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- ✓ Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones
- ✓ Retracción térmica que origina alabeos. **(Ver figura IV.13).**



(Ver figura IV.13)

4.3.3.2.- OTROS DETERIOROS

a).- FRAGMENTACION MULTIPLE: Es el área superior a 0.1 m^2 y hasta losas que presentan múltiples grietas abiertas que dan origen a numerosos trozos separados. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Corresponde a una etapa de deterioro muy avanzado de grietas de esquina, grietas longitudinales o transversales o una combinación de ellas, normalmente por las grietas penetra el agua, por lo que también se da la sugerencia de finos. **(Ver figura IV.14)**



(Ver figura IV.14)

b).- TEXTURA INADECUADA: Es la carencia o pérdida de la textura superficial necesaria para que exista una fricción adecuada entre pavimento y neumáticos. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ No se terminó con textura adecuada
- ✓ Concreto mal dosificado o mala calidad de la arena
- ✓ Exceso de mortero en la superficie por mucha vibración o mala dosificación.
- ✓ En climas fríos, acción combinada del tránsito con los ciclos hielo-deshielo, cuando el concreto tuvo una mala terminación superficial o no tiene aire incorporado. (Ver figura IV.15).



(Ver figura IV.15).

4.3.3.3.- DETERIOROS SUPERFICIALES

a).- **DESINTEGRACION:** Es la desintegración progresiva de la superficie perdiéndose primero la textura y luego el mortero, quedando el árido grueso expuesto. Sus causas posibles son las siguientes:

- ✓ Concreto con exceso de mortero
- ✓ Concreto mal dosificado
- ✓ En climas fríos, acción del tránsito y de los ciclos de hielo-deshielo cuando la superficie presenta fisuramiento por retracción (tipo malla) o el concreto no contiene aire incorporado.
- ✓ Curado inapropiado. (Ver figura IV.16)



(Ver figura IV.16)

4.4.-REALIZACION DE PRUEBAS DESTRUCTIVAS Y ESTUDIOS DE CAMPO A LOS TRAMOS DE ESTUDIO

a).- PRUEBA NO DESTRUCTIVA

Se realizó la prueba del martillo de shmidt o esclerómetro, donde se tomaron 4 lecturas ubicadas en cada esquina del tablero, las cuales se promediaron, obteniéndose una lectura promedio, donde esta se analizó en la grafica de – 90 grados (posición del

esclerómetro respecto al tablero de concreto hidráulico), donde se obtuvo la resistencia de compresión final de cada tablero de concreto hidráulico. **(Ver Tablas y Graficas del Apéndice A).** En la tabla que se muestra a continuación se indican las resistencias a la compresión (promedios y de proyecto).

CALLES DE ESTUDIO	F'c PROMEDIO (Kg/cm ²)	F'c DEL PROYECTO (Kg/cm ²)
Boulevard Norman Boularg	344	350
Crucero Jesús García y Michoacán	242	350
Boulevard Antonio Caso	399	280

Puede observarse que se obtuvieron resistencias a la compresión relativamente altas excepto para el crucero de la calle Jesús García y Michoacán, con lo que se garantiza un buen comportamiento del pavimento bajo esfuerzos de compresión y de flexión, impuesto por las cargas de las ruedas de los vehículos por lo menos para las calles Norman Boularg y Antonio Caso.

b).- ESTUDIOS DE CAMPO

En la tabla IV.1 se muestra la frecuencia de cada una de las fallas localizadas en los tramos de estudio.

En la tabla IV.2 se muestran las áreas de influencia de las fallas identificadas en cada uno de los tramos de estudio.

TABLA DE TIPO DE DETERIOROS			
CALLES DE ESTUDIO			
	B. NORMAN BOULARG	C. JESUS GARCIA Y MICHOACAN	B. ANTONIO CASO
TIPO DE FALLA	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
Baches	4	4	2
Grietas Transversales	4	3	8
Grietas Longitudinales	1	1	2
Grietas de Esquina	16	5	3
Desintegración	6	2	3
Fragmentación Múltiple	1	-	1
Juntas Saltadas	3	-	1
Levantamiento Localizado	-	-	1

(Tabla IV.1 Frecuencias de las fallas identificadas en los tramos de estudio).

TABLA DE MAGNITUD DE DETERIOROS						
CALLES DE ESTUDIO						
	B. NORMAN BOULARG		C. JESUS GARCIA Y MICHOACAN		B. ANTONIO CASO	
	Área		Área		Área	
TIPO DE FALLA	(m ²)	(cm ²)	(m ²)	(cm ²)	(m ²)	(cm ²)
BACHE 1	0.6257	6256.7	0.37	3700	0.4263	4623
BACHE 2	0.736	7360	0.3105	3105	0.48	4800
BACHE 3	1.012	10120	-	-	0.572	5720
BACHE 4	0.66	6600	-	-	0.3696	3696
DESINTEGRACION 1	0.88352	8835.2	3.74	37400	1.065	10650
DESINTEGRACION 2	-	-	0.851	8510	22.044	22044
DESINTEGRACION 3	-	-	0.5194	5194	0.852	8520
DESINTEGRACION 4	-	-	-	-	1.596	15960
DESINTEGRACION 5	-	-	-	-	5.81	58065
DESINTEGRACION 6	-	-	-	-	1.05	10508

(Tabla IV.2 Áreas de deterioro de cada una de las fallas identificadas).

4.5.- SELECCIÓN DE FALLAS MÁS TÍPICAS EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Para realizar la selección de fallas más típicas, se compararon los tres tramos de estudio, para así conocer las fallas más comunes, las cuales son las siguientes:

- ✓ Grietas de esquina
- ✓ Grietas transversales
- ✓ Baches
- ✓ Desintegración

En la tabla IV.3 Se muestra la severidad de cada una de las fallas más típicas, se entiende que (A= Alta Severidad, M= Media Severidad y B= Baja Severidad).

TABLA DE DETERIOROS TÍPICOS						
CALLES DE ESTUDIO						
	B. NORMAN BOULARG		C. JESUS GARCIA Y MICHOACAN		B. ANTONIO CASO	
TIPO DE FALLA TÍPICAS	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
Grietas de Esquina	5	M	3	B	16	M
Grietas Transversales	3	M	8	B	4	M
Baches	4	A	2	M	4	A
Desintegración	2	B	2	B	6	A

(Tabla IV.3 Nivel de Severidad e incidencia de las fallas más típicas de los tramos de estudio).

4.6.- EVALUACIÓN Y SOLUCION DE L TIPO DE FALLAS

En base a estudios de campo se presentaron las causas posibles y soluciones recomendadas para los deterioros más típicos.

4.6.1 Grietas de Esquina

Las causas posibles fueron la sobrecarga en las esquinas, esto se refiere a la intensidad del volumen de tránsito aunado a las cargas que ejercieron las ruedas de los vehículos. Otra causa posible pudiera ser la deficiencia de transmisión de esfuerzos debido a la falta de dispositivos efectivos de transmisión entre las juntas.

La solución que se recomienda para las grietas de esquina con nivel de severidad media y baja es la utilización de material de buena calidad, ya que la resistencia elevada a temprana edad depende de la razón de agua – cemento, de las características y del contenido del cemento, las propiedades del agregado y de las condiciones ambientales imperantes o del sistema de curado que se utilice. El constructor debe de asegurar que la granulometría de los agregados sea bien graduada, sin grandes saltos por carencia de partículas de algunos tamaños, en este caso, se tendrá que ser especialmente exigente en la cantidad y distribución del material que pasa entre los tamices de 10 y 2.5 mm.

El constructor si decide utilizar aditivos, estos deberán cumplir con lo preescrito en la especificación para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, los cuales deben ser avalados mediante ensayos de laboratorio. Los compuestos de curado, las barras de acero y los sellantes para las juntas, deberán cumplir con lo estipulado en la especificación para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

El constructor deberá de tener en cuenta que el curado que utilizará para la construcción de este tipo de pavimento, consistirá en mantas confeccionada de espuma de poliestireno con celdas aisladas y protegidas con una lamina de plástico u otro elemento que resguarde adecuadamente el pavimento, también el constructor podrá utilizar otros elementos que aseguren la protección adecuada al pavimento en condiciones ambientales prevalecientes.

El constructor antes de construir deberá:

- De desarrollar en el laboratorio un análisis detallado para establecer las características del hormigón preparado con los mismos materiales locales.
- Para consolidarlo requiere, normalmente, vibración algo mas prolongada que lo habitual.
- El aserrado de las juntas se realiza con los equipos y procedimientos habituales. sin embargo deben modificarse los tiempos en que esta actividad se ejecuta, es conveniente aserrar cuando la temperatura del hormigón aun este en ascenso con lo que se evitan grietas o fisuras no controladas.
- Para el curado se debe utilizar una membrana aplicada con una tasa de 1.5 veces mayor que la habitual y cubrir no solo la cara superior si no que también los bordes expuestos.
- Bajo condiciones climáticas muy calurosas, normalmente debe de colocarse mantas aislantes que retengan el calor de hidratación del hormigón. Se instalan después de aplicar el compuesto de curado debiéndose retirar solamente durante el aserrado de las juntas.
- El constructor podrá entregar el pavimento construido al tránsito cuando se haya cumplido la siguiente condición:

RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION PARA ENTREGA AL SERVICIO	
ESPESOR DE LA LOSA (mm)	RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION (Mpa)
180	2.2
200	2.0
230	1.7
250 y mas	1.4

(Tabla IV.4 Resistencia a la flexotracción para entrega al servicio) .

Cuando se especifique o se prevea que el pavimento no va ser transitado por vehículos comerciales en las primeras 24 horas, la apertura puede realizarse cuando la resistencia haya alcanzado 1.4 Mpa, cualquiera que fuere el espesor de la losa.

Se debe de tener en cuenta que los valores de la resistencia indicados en la tabla IV.4 fueron calculados con un modelo matemático para secciones en el interior de la losa.

Antes que el constructor entregue el pavimento al tránsito y una vez retirado el modelaje del lado de la berma, se procederá a reparar esa zona, rellinando con el material adecuado. Si la berma es revestida, deberá reproducirse el tipo de revestimiento que tiene el resto del camino, ajustándose, en lo que corresponda, a lo que señalan las correspondientes especificaciones.

4.6.2 Grietas Transversales

Las causas posibles fueron que las losas tenían longitud excesiva, no se respetó las dimensiones realizadas en el diseño de construcción y el espesor de la losa fue insuficiente para soportar las sollicitaciones y las juntas de contracción aserrada o formada tardíamente.

La solución que se recomienda al constructor es mantener selladas las juntas y grietas con nivel de severidad de media y baja para que puedan alcanzar la vida útil esperada para el pavimento. Sin embargo para que un sellado cumpla cabalmente el objetivo para el cual es necesario que las juntas y grietas no trabajen, es decir, que no experimenten desplazamientos verticales significativos entre si.

El constructor debe de tener muy en cuenta que para evitar que se originen los desplazamientos que no exista un traspaso adecuado de las cargas entre las losas.

Se recomienda al constructor que para juntas y grietas de ancho superior a 30 mm, para poder aplicar el sellado se tendrá que utilizar una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18 % de emulsión, la arena deberá ajustarse a alguna de las granulometrías que se indican en la tabla IV.5.

TAMIZ		PORCENTAJE EN PESO QUE PASA		
(mm)	(ASTM)	A	B	C
12.5	1/2"	-	-	100
10	3/8"	100	100	85 - 100
5	No. 4	85 - 100	85 - 100	55 - 85
2.5	No. 8	80 - 90	65 - 90	35 - 65
0.63	No. 30	55 - 80	30 - 50	15 - 35
0.16	No. 100	5 - 15	5 - 15	2 - 10

(Tabla IV.5) Granulometrías de arenas para el sellado

Las juntas y grietas de más de 30 mm de ancho se limpiaran de acuerdo con lo especificado, y se sellaran con una mezcla de arena – emulsión asfáltica siempre que el ancho promedio no exceda los 100 mm, en cuyo caso el sellado se hará con una mezcla en caliente. En ambos casos el espesor del material sellante será como mínimo de 20 m. El relleno debiera quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento. Las paredes de las juntas y grietas deberán imprimirse con emulsión asfáltica diluida. Se utilizaran emulsiones del tipo CSS-1 o SS-1, a las que se les agregara una parte igual de agua. No se deberá imprimir una longitud mayor que aquella que pueda sellarse en la jornada del trabajo, las juntas y grietas deberán de encontrarse perfectamente secas antes de comenzar el sellado. Solo se podrá proceder a sellar cuando la temperatura ambiental sea superior a 5 grados centígrados e inferior a 30 grados centígrados.

4.6.3 Desintegraciones

Las causas posibles fue el concreto con exceso de mortero, concreto mal dosificado y curado inapropiado.

La solución que se recomienda al constructor para evitar desintegraciones es ajustar el concreto en todos sus términos a lo estipulado en las correspondientes especificaciones para la confección y colocación de concretos. La unión entre el concreto antiguo y el nuevo debe ser monolítica, para lo cual se deberá proceder de acuerdo con los procedimientos definidos juntas de concreto en las normas.

El curado que el constructor debe de utilizar consistirá en mantas confeccionada de espuma de poliestireno con celdas aisladas y protegidas con una lamina de plástico u otro elemento que resguarde adecuadamente el pavimento, también el constructor podrá utilizar otros elementos que aseguren la protección adecuada al pavimento en condiciones ambientales prevalecientes, para poder aplicar el sellado se tendrá que utilizar una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18 % de emulsión, la arena deberá ajustarse a alguna de las granulometrías que se indican en la tabla IV.5.

4.6.4 Baches

Las causas posibles fue la utilización de concreto poco homogéneo.

Las soluciones que se recomiendan al constructor es utilizar materiales de buena calidad con las cantidades acordes y homogéneas.

El constructor debe de tener en cuenta la limpieza de las paredes, colocar un puente de adherencia y luego rellenar con un concreto que contenga un aditivo expansor.

Si el deterioro es generalizado, para prevenirlo deberá de colocar una carpeta asfáltica u otra alternativa, siempre garantizar la adherencia entre las capas del pavimento rígido.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES

En el presente trabajo se clasificaron e identificaron los tipos de fallas que existen en los pavimentos de concreto hidráulico o rígidos, lo cual, se cumplió satisfactoriamente ya que se obtuvieron las fallas mas típicas encontradas en cada uno de los tramos de estudio (cantidad, magnitud y nivel de severidad) y en base a estudios de campo, pruebas no destructivas y manual de deterioros de concreto hidráulico, se pudo obtener las causas posibles que originaron cada una de las fallas mas típicas obteniendo soluciones de reparación y aspectos de prevención.

Es importante recordar que los pavimentos están diseñados para cumplir con un periodo de vida útil y que, en el transcurso de esta, sufren todo tipo de fallas y deterioros producidos por el clima, el intemperismo y por la misma acción de las cargas que transmiten las ruedas de los vehículos. Estos factores disminuyen su capacidad de ofrecer un tránsito rápido, seguro y cómodo.

Por tal motivo es de suma importancia que al proyectar un pavimento rígido o flexible, se debe proponer paralelamente un plan de conservación, para evitar el rápido deterioro de la vía terrestre.

5.2.- RECOMENDACIONES

En cuanto a la construcción de vías terrestres, es recomendable aplicar las pruebas necesarias a los materiales para saber si cumplen con las especificaciones de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), y así poder utilizar el material adecuado de acuerdo a sus características.

También se recomienda tener una supervisión estricta de los procedimientos de construcción del personal que en la obra se labore, es otro punto esencial para asegurar la correcta ejecución del trabajo.

El Ingeniero Civil puede tomar en cuenta otros aspectos (pruebas de laboratorio, entre las cuales pueden ser, Valor Relativo de Soporte, Limite Liquido, Limite Plástico, Contenido Optimo de Humedad de una muestra del material característico de la zona a estudiar), para obtener resultados más precisos y llegar a una conclusión mas detallada de la investigación.

Finalmente es recomendable diseñar el plan de mantenimiento que se realizará a la vía terrestre, de acuerdo con las características de esta, como es el clima, el tránsito, el drenaje con que cuenta, etc, ya que todo esto depende que cumpla con la vida útil para la cual fue diseñada.



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Estructuración de vías terrestres, Fernando Olivera Bustamante, compañía editorial, S.A, de C.V, México 1986, primera edición.
- 2- Ingeniería de transporte, William W. Hay, 2002, editorial limusa S.A. de C.V, grupo Noriega editores.
- 3.- Vías de comunicación, Crespo, 2000, tercera edición, editorial limusa, S.A de C.V, grupo Noriega editores.
- 4.- Ingeniería de carreteras, Paul H. Wright y Radnor J. Paquete, 1999, editorial limusa, S.A de C.V, grupo Noriega editores.
- 5.- Ingeniería de carreteras (calles, viaductos y pasos a desnivel), Clarkson H. Ogles, 1969, compañía editorial continental, S.A de C.V.
- 6.- M5.2. CATALOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS RIGIDOS, (colección de documentos, Volumen num.12, 2002).

PAGINAS DE INTERNET

- 1.- <http://mail.imcyc.com/revista/1998/nov/evaluacion.htm>, por maestra Cecilia Olague Caballero y Doctor Pedro Castro Borgues, recuperado el 16/03/03
- 2.- <http://www.construaprende.com/trabajos/T7/pag01.html/>, por I.C. Antonio Ortega Maldonado recuperado el 19/03/03.
- 3.- <http://www.monografias.com/trabajos/transvial/transvial>, hecho por Fernando Caprara. Recuperado el 12/03/03
- 4.- <http://www.carreteras.org/diccionario/P.htm>
- 5.- http://Fing.javeriana.edu.co/Ingenieria/dep_ing_civil/, por I.C. Adriana del Pilar Rodríguez Paez y por I.C Jiro Humberto Guerrero Lopez, Bogota_D.C.Colombia, recuperado el 18/03/03.

Gráfica Ap. A.3 Comportamiento Gráfico de la Resistencia de los Tableros de Concreto Norman Boularg entre Boulevard Ignacio Ramirez y Guillermo Prieto

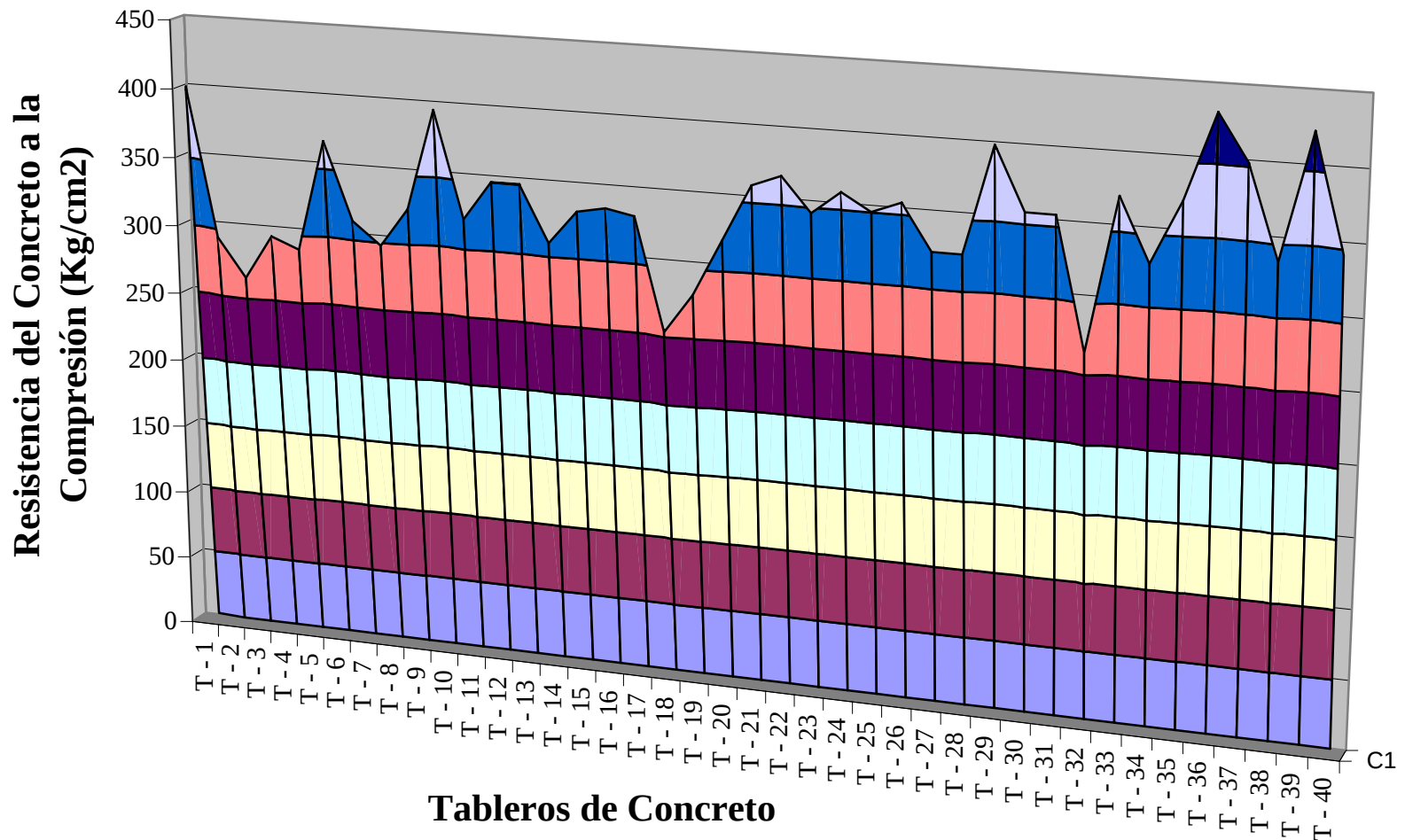


TABLA Ap. A.8 TABLA DE LECTURAS DEL ESCLEROMETRO EN DIRECCION DE -90 GRADOS

GRAFICA DEL ESCLEROMETRO EN DIRECCION DE -90 grados							
			LECTURAS	Rc (PSI)			
			20	1750			
			25	2510			
			30	3700			
			35	4750			
			40	6000			
			45	7250			
			50	8500			
			55	8500			