

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- GENERALIDADES

En mundo globalizado, en dónde las barreras fronterizas se encuentran en una franca tendencia a desaparecer y la apertura en los mercados mundiales es una realidad latente gracias a los tratados de libre comercio y convenios internacionales, han obligado a las empresas nacionales a ser más competitivas para permanecer activas ya que ahora, no solo se compite con las empresas locales, sino que se deben medir con empresas internacionales que ofrecen los mismos productos y/o servicios pero a un costo mucho menor y con una mayor calidad.

En muchas ocasiones la sociedad requiere construir con rapidez una ruta, una pista de aterrizaje, o reparar un pavimento urbano, una vereda o un bache con la finalidad de habilitar o poner la obra en servicio urgentemente. Para este fin se requiere que el hormigón posea elevada resistencia temprana.

Es conocido que la interrupción de la comunicación genera malestar, pérdidas de tiempo, enormes trastornos y, además significativas pérdidas económicas.

En el concreto que se usa para pavimentos es importante tener en cuenta el comportamiento que pueda tener el mismo bajo requerimientos de flexión, tracción y desgaste, porque de ello dependerá la vida útil de la vialidad y las rehabilitaciones que con el tiempo sean necesarias realizar.

En este sentido, cabe destacar que, las mezclas tradicionales de concreto vial, por lo general pierde en un tiempo relativamente corto su resistencia mecánica, lo que origina la falla del pavimento bajo los requerimientos mencionados, esto implica hacer reparaciones constantes a las capas o la sustitución de la estructura. Con el fin de evitar estos trabajos se han incorporado nuevos agregados a las mezclas de concreto que permitan mejorar la resistencia a tracción, desgaste y flexión.

También cabe destacar que con la incorporación de nuevos agregados a la mezcla de concreto, se busca, la disminución potencial o definitiva de la retracción hidráulica que afecta considerablemente a los pavimentos rígidos, ya que esta retracción agrieta los pavimentos en horas, semanas o meses y es producida por factores como geometría de las piezas, condiciones atmosféricas, temperatura y humedad.

La reparación o sustitución de pavimentos deteriorados compatible con el mantenimiento del flujo de tránsito ha sido un desafío para los responsables de aeropuertos, rutas y vías urbanas en servicio. Los métodos usuales para la ejecución de estos trabajos ya no son aceptables en función del gran volumen de tránsito de estas obras y sus consecuencias socioeconómicas negativas, provocadas por paralizaciones parciales durante períodos de tiempo prolongados para su ejecución. Para vencer este desafío es imprescindible el empleo de hormigones de alto desempeño que ofrezcan una alta resistencia a edad temprana. Generalmente se utilizan relaciones agua/cemento bajas, lo que conduce necesariamente a la utilización de aditivos súper plastificantes.

Una de las etapas más importantes en el diseño de hormigones de alto desempeño está determinada por la elección de la mejor combinación de cemento y aditivo que permita una gran reducción de agua sin afectar la trabajabilidad y el comportamiento reológico, posibilitando realizar las tareas de compactación y terminación sin provocar efectos colaterales negativos como demoras en el fraguado, segregación, etc.

El estudio del sistema aditivo reductor de agua-material cementicio es importante en el diseño de hormigones de alto desempeño. Es por ello que la optimización del comportamiento fluido de una pasta, mortero u hormigón que contiene un aditivo superfluidificante es interesante desde el punto de vista tecnológico para la obtención de un hormigón resistente y durable.

El uso de aditivos reductores de agua de alto rango en hormigones, conocidos comúnmente como SUPERFLUIDIFICANTES permite el mejoramiento en las

propiedades ya sea en su estado fresco o endurecido. Puede decirse que el uso de estos aditivos responde a alguno de los siguientes requerimientos:

- 1) Aumento de la resistencia y disminución de la porosidad reduciendo el contenido de agua y manteniendo el contenido de cemento, con menor relación agua/cemento (a/c) respecto de la mezcla sin aditivo.
- 2) Aumento de la fluidez de la mezcla y de su trabajabilidad, manteniendo el contenido de agua y de cemento, con la misma relación a/c.
- 3) Disminución del costo relativo de la mezcla, disminuyendo el contenido de agua y de cemento, con la misma relación a/c.

El caso particular del uso de hormigones en pavimentos de rápida habilitación al tránsito implica la necesidad de la fabricación de un hormigón con altas resistencias tempranas. Una resistencia de 20 Mpa a la edad de 24 hrs. es aceptable en la mayoría de los pliegos para la liberación de la vía al tránsito. Entre los requerimientos anteriormente citados para el uso de los aditivos, el que nos compete en este caso es el del aumento de la resistencia, considerando que el hormigón de alto desempeño se obtiene utilizando un cemento cuya hidratación no es acelerada, sino normal.

1.2.- PROBLEMA

A pesar de la experiencia acumulada a escala de obra y laboratorio, la fisuración continúa siendo uno de los principales problemas en losas de pavimento y pisos ejecutados en hormigón en nuestro país.

Las fisuras tempranas constituyen uno de los problemas más frecuentes en los pavimentos de hormigón, al cual contribuye su gran superficie expuesta a los efectos del medio ambiente y del suelo de apoyo. El fenómeno involucra el período más cercano a la transición del hormigón de suspensión líquida a sólido rígido, y es afectado tanto por sus propiedades y las de sus materiales componentes como por los procesos constructivos y las condiciones de obra.

Una gran cantidad de variables, desde las características de los materiales (cementos, aditivos, tipo y tamaño máximo de los agregados), características de la base, composición de la mezcla, prácticas constructivas y hasta las condiciones ambientales, han sido ponderadas con el objeto de cuantificar que efecto tienen sobre el fenómeno de fisuración, pero lo complejo del problema ha hecho difícil que se alcancen conclusiones claras en este sentido.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

El estudio de la “Influencia de utilización de aditivos en la disminución de fisuración en pavimentos rígidos”, busca explicar las ventajas que implica aplicar la utilización de aditivos en pavimentos rígidos para reducir su fisuración en capas de pavimentos, con el fin de mejorar su calidad y evitar su falta de resistencia, disminuyendo costos en mantenimiento y para así que tenga un mejor servicio y durabilidad por mas tiempo.

Lo que se pretende con esta investigación es disminuir las fisuras o agrietamientos y mejoramiento en la capa de pavimento rígido tomando en cuenta la calidad, costo, seguridad y durabilidad:

- (Calidad) evitar los defectos del pavimento, reducir las fallas, mejorar su resistencia para que dicho pavimento llegue a la vida útil del diseño.
- (Costos) reducir moderadamente los costos de mantenimiento, reducir costo en el hormigón y demás.
- (Seguridad) mantener las vías bien seguras para todo tipo de transito.
- (Durabilidad) que sea una vía que dure el tiempo requerido de su vida útil.

El presente trabajo pretende mostrar mediante una aplicación práctica, las mejoras en los pavimentos de hormigón con aditivos ya que estos reducen memorablemente las fisuras, ya que para esto se las deja en condiciones no buenas para el hormigón y así podamos comprobar dichos resultados a temperaturas ambiente y así ver la ayuda del aditivo para frenar las fisuras en las capas de pavimentos rígidos.

Los resultados evidencian que una protección adecuada contra la pérdida de agua en todas las superficies de las losas de pavimento, incluida la inferior, es clave para controlar la fisuración temprana. Los resultados muestran también que el uso de cementos con propiedades adecuadamente ajustadas puede contribuir a minimizar el impacto de la fisuración temprana en hormigones deficientemente protegidos.

Los aditivos a base de polycarboxilatos proveen al hormigón de un excelente comportamiento en estado fresco combinado con sobresalientes resultados en estado endurecido:

Alta reducción de agua.

- Elevada trabajabilidad extendida.
- Mejor comportamiento reológico del hormigón fresco. Posibilidad de combinar efectos.

Elevadas resistencias tempranas.

- Elevadas resistencias finales.
- Muy baja permeabilidad.

Bajísimas relaciones agua/cemento.

- Alta razón performance/costo.

Las ventajas técnicas de los aditivos a base de polycarboxilatos son extraordinarias para cualquier hormigón, pero paralelamente estamos frente a un aditivo de los denominados “sensibles”, es decir muy afectado por los cambios externos como: características del cemento, finura y cantidad de arena, temperatura del hormigón, cantidad de agua, variaciones en la dosificación, secuencia de mezclado etc. Requiere entonces por parte del tecnólogo de mayor atención en todo lo referente al “control de calidad” respecto a un hormigón tradicional.

1.4.- OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es investigar la influencia de los aditivos para determinar el efecto en la disminución de la fisuración de pavimentos rígidos con el propósito de obtener resultados que puedan servir para mejorar las condiciones de los pavimentos y a partir de ello establecer su correcta aplicabilidad en nuestro medio.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades y características de los pavimentos rígidos.
- Analizar los procedimientos que se emplean para realizar la incorporación de Aditivos en pavimentos rígidos.
- Evaluar la importancia del uso de los aditivos para evitar la presencia de fisuras en el pavimento rígido.
- Investigar las particularidades del efecto de cada aditivo en las propiedades y características del hormigón de pavimento.
- Proporcionar con esta investigación un aporte significativo para su aplicación en carreteras y considerar su utilización con el propósito de disminuir el fisuramiento de los pavimentos rígidos.
- Realizar los ensayos necesarios de laboratorio con materiales de la región donde se evaluara la incidencia de los aditivos en la disminución de la fisuración del pavimento rígido.
- Establecer resultados y análisis de la adición de aditivos en pavimentos rígidos para la disminución de fisuración.
- Establecer conclusiones y recomendaciones respecto al tema.

1.6.- ALCANCE

El alcance general del proyecto de grado que se propone tiene como objetivo, evaluar una clase de aditivo para que este ayude a la disminución de fisuración de pavimentos rígidos, basándose en la identificación, caracterización y clasificación de los mismos abocándose a las normas establecidas con el fin de obtener una metodología para una buena adición del aditivo a emplear y lograr resultados representativos para su aplicación en los pavimentos rígidos.

Se planteara la inquietud que motiva el inicio de esta investigación, proponiendo el objetivo y su alcance, así como el diseño metodológico y el cronograma de actividades.

Dentro de los alcances que se quieren lograr, está el conocer la mayoría de los problemas que son generados por la mala calidad de los pavimentos por la fisuración y que se manifiestan en la actualidad con regular frecuencia, y que de igual manera que fue en tiempos pasados.

Se definirá los conceptos que se usaran en el transcurso del proyecto para así fortalecer las bases de conocimiento, facilitando la investigación ya planteada. El marco conceptual, estará solamente basado en aquellos que tienen relación con el objetivo de estudio y de alguna manera producen variables importantes para esta investigación.

De manera similar se tratara de mostrar los conceptos con imágenes que nos reflejen y ayuden el entendimiento de la parte teórica del proyecto, de la misma manera se introducirán las tablas de contenido respectivas y que sean necesarias.

Se realizaran trabajos de laboratorio con sus respectivos ensayos en granulometría, peso específico, peso unitario finura de cemento y otros a emplear, para así poder llegar a una dosificación del Hormigón.

De igual manera se realizaran trabajos de laboratorio con sus respectivos aditivos a emplear, para así llegar a una evaluación que ayudara a la conclusión de esta investigación.

Después de dichos laboratorios se procederá al vaciado de moldes con hormigón que se estos se vaciaran con su respectivo aditivo y sin aditivo para la comprobación experimental.

Dado el vaciado de los moldes seguidamente nos abocamos en el curado de los moldes de hormigón ya que esto es indispensable para después hacer dichas evaluaciones de resistencias tanto con en el hormigón con aditivo, como el hormigón sin aditivo.

Esta investigación debe estar enfocada a la comprobación neta experimental, comenzando desde la dosificación de hormigón, hasta los ensayos necesarios que proporcionen los resultados buscados.

Todos los estudios serán realizados de manera única, siempre siguiendo los parámetros de los reglamentos y resultados requeridos por algunas especificaciones técnicas usadas para la construcción de carreteras.

Por ultimo se describe las conclusiones a las que se a llegado a lo largo del desarrollo del proyecto, tanto en la parte teórica como en la práctica, donde se analizaran los resultados y se vera si se logro obtener los objetivos planteados tanto el general como los específico y veremos si establecimos los procedimientos para la utilización de aditivos en la disminución de fisuración en pavimentos rígidos, veremos si disminuimos y eliminamos las causas de la fisuración y así predecir su funcionamiento del pavimento.

1.7.- METODOLOGÍA

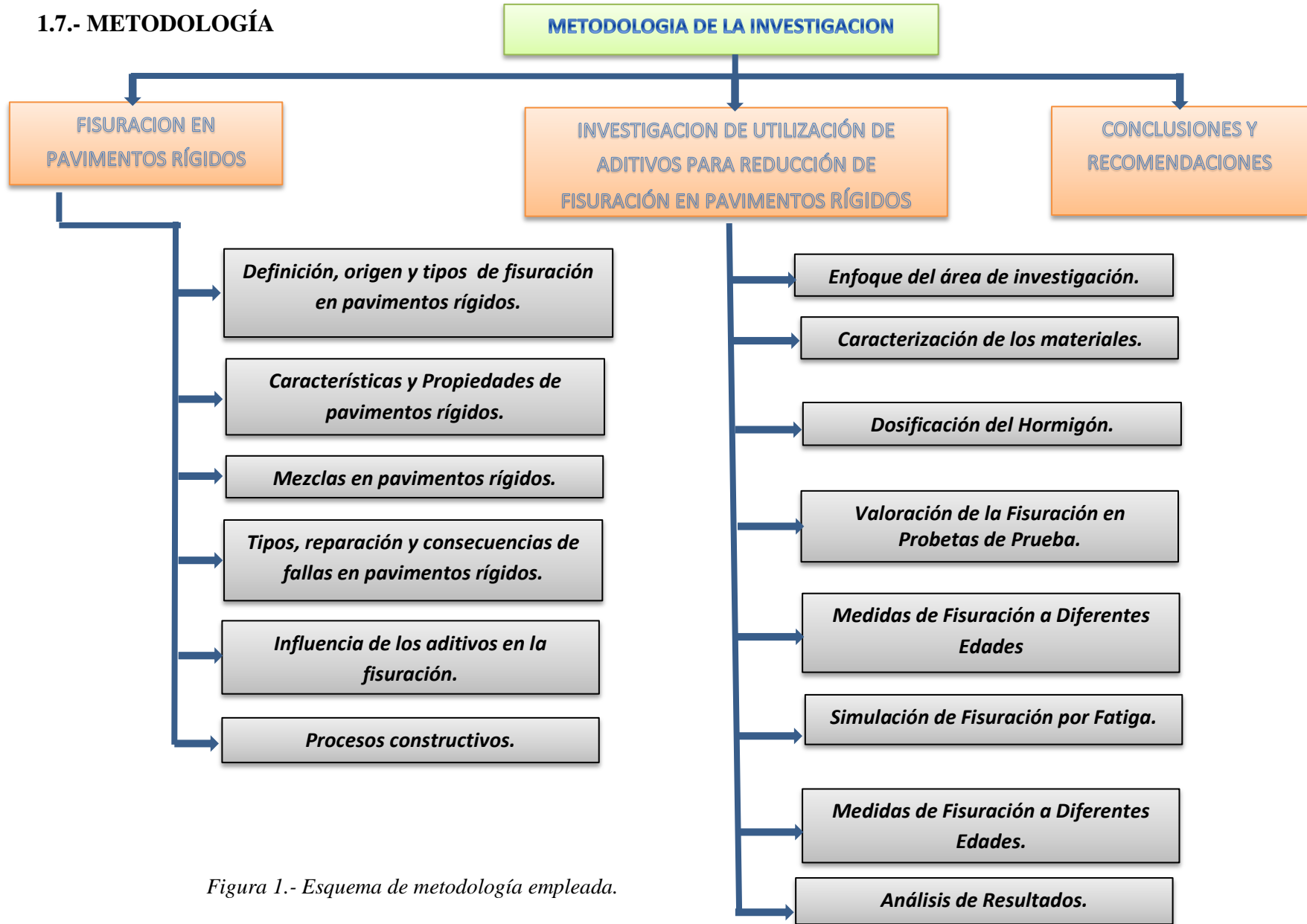


Figura 1.- Esquema de metodología empleada.

CAPÍTULO II

FISURACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.1. INTRODUCCIÓN

Desde los senderos hechos a fuerza de paso, hasta las grandes carreteras de concreto, el hombre ha modificado su entorno de acuerdo con las necesidades de su tiempo. Actualmente, en la era de las comunicaciones, la necesidad de construir caminos más fuertes y más seguros intensifica su mirada en el concreto, material de grandes posibilidades para el desarrollo de los caminos en el mundo contemporáneo.

Este tipo de caminos, junto con otros realizados con piedras, grava y arena, fueron diseñados para los bajos volúmenes y velocidades de los primeros vehículos, hasta que la industria automotriz, al ir creciendo a pasos agigantados, fue demandando mejores carreteras y caminos urbanos.¹

2.1.1. Historia de los Pavimentos Rígidos

Surgen en los Estados Unidos de Norteamérica como una necesidad en las carreteras para el paso de los vehículos los cuales tenían que hacer largas jornadas de camino de un lugar a otra dada las pésimas condiciones de las carreteras que generalmente eran para el uso de carretas tiradas de caballos. Es entonces cuando se aplica el concreto en las carreteras el cual tiene un gran auge a partir de 1905 en donde se utilizaba en la mayoría de las carreteras y caminos rurales de los Estados Unidos.

La cronología de la expansión de caminos de concreto en el siglo XX, es la siguiente:

- **1920 - 1939:** Uso de pavimentos de concreto hidráulico, en el Sistema de carreteras de los Estados Unidos, difundiéndose en Europa.
- **1940 - 1950:** Inicios de la aviación comercial; se construyen aeropuertos que utilizan pistas de concreto.

¹ Fuente: *Deterioro de pavimentos rígidos "Metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones"* Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann.

- **1960 - 1970:** Uso intensivo de pavimentos de concreto en el sistema de carreteras y aeropuertos de Estados Unidos.
- **1990...:** Era de la sobre carpeta de concreto hidráulico o whitetopping.

Hasta el año de 1920 no se contaba con una investigación seria de dichos pavimentos, por lo que el Departamento de Caminos Públicos y la Junta de investigación de Carreteras iniciaron una investigación sobre los mecanismos necesarios para la construcción de pavimentos de concreto. H. M. Westergaard en el año de 1926 amplió los análisis relacionados con los esfuerzos desarrollados en las losas de pavimentos rígidos. En su teoría consideraba a los pavimentos rígidos como un líquido denso el cual reaccionaba de una manera proporcional a la deformación de una losa en un punto dado.

Este diseño es en la actualidad la base de los métodos de diseño de espesores de los pavimentos rígidos. En el año de 1950 se desarrollaron cartas de influencia para simplificar los cálculos de los pavimentos rígidos, hechas por Gerald Pickett y G.K.Ray.

Las fórmulas teóricas desarrolladas hasta la actualidad poseen algunas limitaciones, por lo que han surgido caminos de prueba, los cuales se hacen a escala para aplicar las fórmulas empíricas en situaciones más reales de pavimentos rígidos. Uno de los caminos de prueba más representativo es el camino de prueba de la AASHTO.

En el año de 1966 La Portland Cement Association (P.C.A) desarrollo un método de diseño basándose en los estudios teóricos de Westergaard y las cartas de influencia de Pickett y Ray.²

2.1.2. Pavimento Rígido

Se denominan así los pavimentos constituidos por losas de hormigón hidráulico, armadas o no, que reposan generalmente sobre una base adecuadamente preparada y, a veces, sobre el propio terreno de la explanada. A causa de su rigidez distribuyen las

² Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz.

cargas transmitidas por el tráfico sobre un área relativamente amplia de la base o de la explanada.

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial mas elevado que el 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.³



Figura 2. Absorción de Esfuerzos que se Ejercen Sobre los Pavimentos

Los Pavimento rígido tienen una capa de hormigón que asegura la fundación resistente para su mayor rigidez, Los factores que afectan el espesor de un pavimento rígido, son principalmente el nivel de carga que ha de soportar, es decir, el tipo y cantidad de vehículos que pasaron sobre él, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto. Por lo general el pavimento consta de dos capas que son la base que muchas veces puede ser la sub-base y la losa o superficie de rodadura de concreto hidráulico.

³ Fuente: Ingeniería de pavimentos "Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías" Alfonso Montejo Fonseca

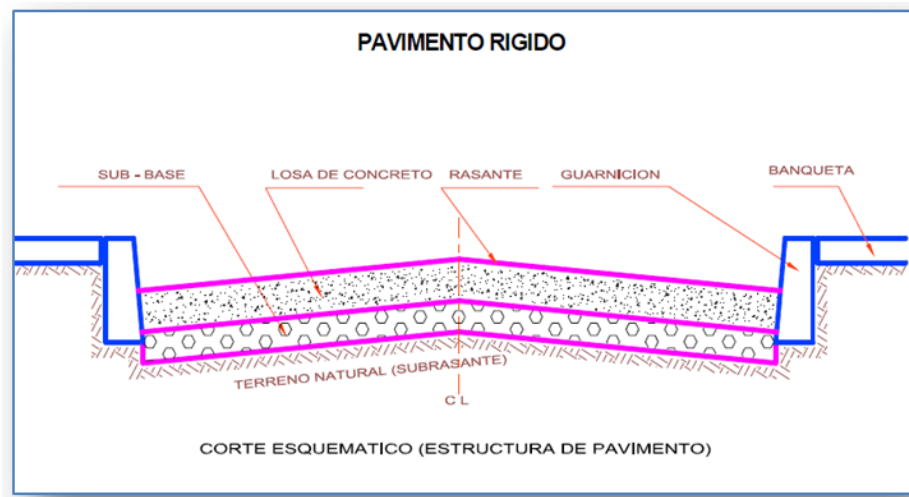


Figura 3. Corte Esquemático con cada una de las Partes de un Pavimento Rígido

Como se ve en la figura 3 el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad tiende a distinguir las cargas sobre una zona relativamente amplia del suelo, por lo cual una gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa.

Las ventajas de un pavimento rígido radican en:

- 1) Velocidad en su construcción.
- 2) Mayor vida útil con alto índice de servicio
- 3) Mantenimiento mínimo
- 4) No se deforma ni deteriora con el tiempo
- 5) Requiere menor estructura de soporte

“Para la elaboración de un pavimento de concreto hidráulico es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento”⁴

⁴ Fuente: Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco

2.1.3. Comparación entre una Estructura de Pavimento Flexible y una Estructura de Pavimento Rígido

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.



Figura 4. Esquema de Comparación de Pavimento Rígido

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

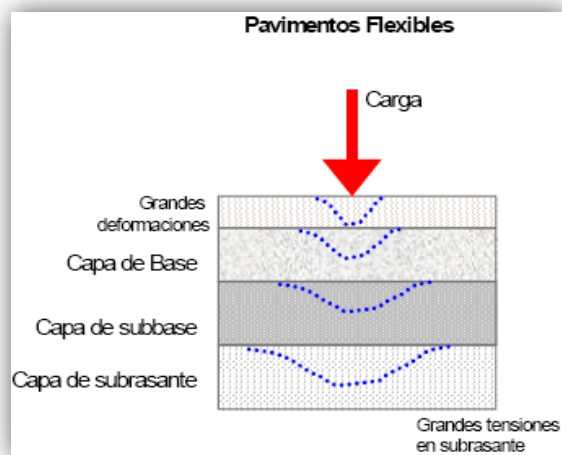


Figura 5. Esquema de Comparación de Pavimento Flexible

2.1.4. Elementos que Integran un Pavimento Rígido

a) Subrasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

b) Sub-base.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub-base adecuada.

Especificaciones técnicas para la sub-base:

Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos sobre afirmados, sub bases granulares ó bases granulares y estabilizadas:

Para la construcción de afirmados y sub bases granulares, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras clasificados y aprobados por el Supervisor o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Los materiales para base granular solo provendrán de canteras autorizadas y será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales y los requisitos granulométricos se presentan en la especificación respectiva.

Para el traslado del material para conformar sub bases y bases al lugar de obra, se deberá humedecer adecuadamente los materiales y cubrirlos con una lona para evitar emisiones de material particulado, a fin de evitar que afecte a los trabajadores y poblaciones aledañas de males alérgicos, respiratorios y oculares.

Los trabajos de sub bases y bases consisten en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado o material granular sobre la subrasante terminada (ó sub base si existiera), de acuerdo con la presente especificación.

El material para sub bases y bases se colocará en capas de 10 cm a menos que la capa sea de menor espesor, procediéndose a la compactación utilizando planchas

vibratorias, rodillos vibratorios ó algún equipo que permita alcanzar la densidad especificada.

Sub-base de afirmado o material granular:

Se denomina sub base a la capa intermedia de la estructura de un pavimento ubicado entre la subrasante y la capa de base, sus funciones son económicas y estructurales con las siguientes características:

- Distribuir las cargas solicitantes, de manera que sobre las subrasantes actúan presiones compatibles con la calidad de ésta.
- Absorber las deformaciones en las subrasantes, debido a cambios volumétricos.
- Servir de dren para evacuar el agua que se infiltra desde arriba o impedir la ascensión capilar hacia la base.

c) Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.⁵

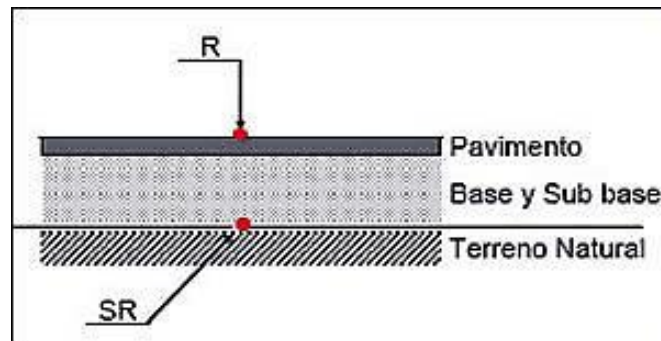


Figura 6. Esquema de un Pavimento Rígido

⁵ Fuente: Deterioro de pavimentos rígidos “Metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones” Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann.

2.1.5. Tipos de Pavimento Rígido

Esta clasificación esta hecha en base a las características que presenta lo losa de concreto hidráulico

- 1) Pavimentos de concreto simple
- 2) Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.
- 3) Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.
- 4) Pavimentos de concreto pre-esforzado.

A continuación se presentan las características de cada tipo de pavimento.

1) Pavimentos de Concreto Simple:

La característica de este tipo de pavimentos es en que su resistencia depende en forma directa y exclusiva de la resistencia del concreto simple.

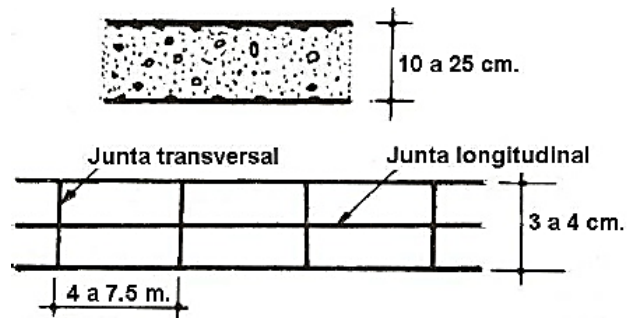


Figura 7. Gráfica de Pavimento Rígido Simple

Pavimentos de Concreto con Refuerzo en las Juntas:

En los pavimentos de concreto las juntas son consideradas las zonas críticas, por lo cual dichas se entrelazan entre sí por medio de un refuerzo.

Cuando la losa esta sometida a la acción de una carga, las varillas que van en dichas juntas cumplen la función de transmitir la carga a las demás losas. La ventaja que ofrece el refuerzo en las juntas es que el espesor de la losa se reduce y la capacidad de carga del pavimento se ve aumentada.

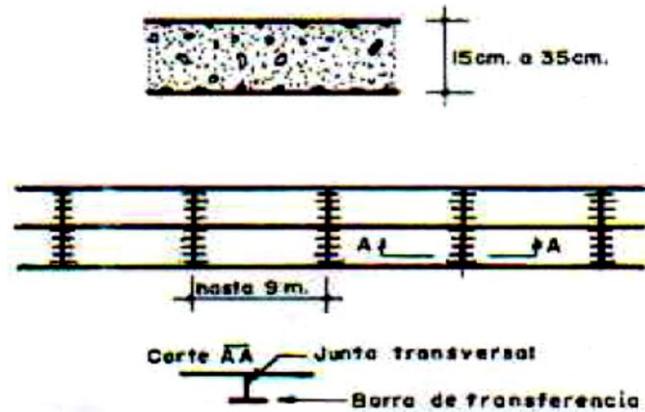


Figura 8. Gráfica de Pavimento Rígido con Refuerzo en las Juntas

2) Pavimentos de Concreto con Refuerzo Continuo:

En este tipo de pavimentos, también se requiere que existan las juntas, pero en este caso el refuerzo no está limitado a estas, sino que dicho refuerzo se coloca en forma longitudinal y transversal quedando una malla continua en el pavimento, con este tipo de armado se puede tener un control sobre las grietas que aparecen en el concreto, así como también tener un aumento en la capacidad de carga del pavimento, reduciéndose el espesor de la losa.

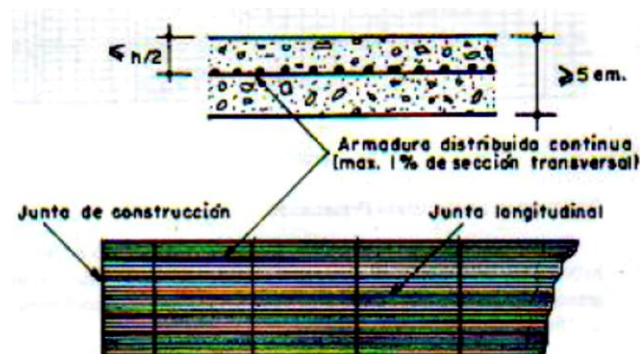


Figura 9. Gráfica de Pavimento Rígido con Refuerzo Continuo

3) Pavimentos de Concreto Pre-esforzado:

La particularidad de este pavimento, está en que a la losa de concreto hidráulico se le puede aumentar su capacidad estructural, mediante la aplicación de un pre-esfuerzo.

Con esto se logra una reducción del espesor de la losa en forma notable y además las juntas van un poco más alejadas.⁶

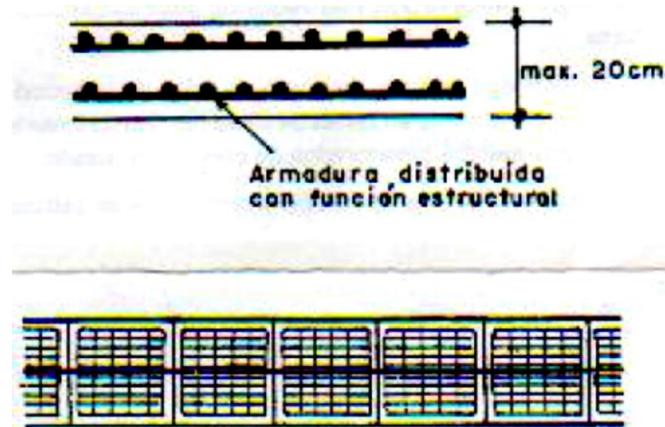


Figura 10. Gráfica de Pavimento Rígido Pre-Esforzado

2.2. PROPIEDADES, CARACTERÍSTICAS Y ESFUERZOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

2.2.1. Propiedades de Pavimento Rígido

El concreto que se empleará en este tipo de pavimentos deberá ser durable y resistente a las cargas y al desgaste.

Es necesario que cada una de estas propiedades se tenga en cuenta cuando se haga el diseño de la mezcla, por fortuna estas propiedades están ligadas directamente entre si esto es si un concreto es fuerte es lógico suponer que sea durable y resistente al desgaste.

Propiedades del Concreto: Son tres las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

- Resistencia a la tensión por flexión ($S'c$) ó Módulo de Ruptura (MR).
- Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c).
- Durabilidad.

⁶ Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz.

Módulo de Ruptura (MR).- Los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, se recomienda que su especificación de resistencia sea trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba esta normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aprox. 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASHTO para el diseño.

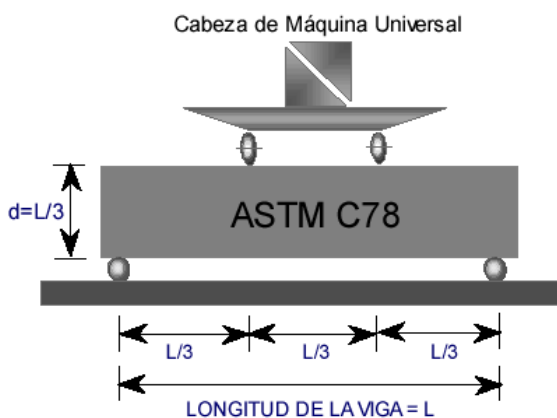


Figura 11. Esquema de Medida del modulo de rotura ASTM C78

Los valores recomendados para el Módulo de Ruptura varían desde los 41 kg/cm² (583 psi) hasta los 50 kg/cm² (711 psi) a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener. En seguida se muestran valores recomendados, sin embargo el diseñador deberá elegir de acuerdo a un buen criterio.

Tipo de Pavimento	Módulo de Ruptura Recomendado	
	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Tabla 1. Recomendaciones para módulos de ruptura

De la resistencia promedio a la flexión del concreto (módulo de ruptura), el ACI especifica que este no debe ser menor de 45 kg. /cm² a los 28 días de edad.

Pero si las características previamente conocidas de los cementos y agregados disponibles, indican que es difícil obtener esta resistencia económicamente, puede especificarse una resistencia promedio a la flexión de 42 kg/cm² siempre y cuando el peralte de la losa se diseñe de acuerdo con esta resistencia.

Según el comité ACI, la resistencia promedio a la compresión del concreto a los 28 días no será menor de 280 kg/cm² esta resistencia se toma como base para el diseño de la pasa junta y los tensores.

Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec).- Esta íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad a partir del Módulo de Ruptura.

Los dos más utilizados son:

- $E_c = 6,750 * MR$
- $E_c = 26,454 * MR ^{0.77}$

Estas formulas aplican con unidades inglesas.⁷

Durabilidad.- En lugares donde el concreto esta sujete a condiciones severas de congelamiento y deshielos, deberá usarse concreto con aire incluido, y el proporciona miento será tal que el agua de mezclado incluyendo el agua libre en los agregados, pero sin considerar el agua absorbida por estos, no debe exceder de 0.53 lts. por kg de cemento.

En ningún caso el agua de mezclado excederá de 0.58 lts. por kg de cemento en una revoltura, el contenido de cemento no será menor de 280 kg- por metro cúbico de concreto.⁸

⁷ Fuente: "Pavimentos Rígidos" Universidad Nacional de Colombia

2.2.2. Características de Pavimento Rígido

Son muchas las características del Pavimento Rígido donde algunas de ellas hacen críticas en determinadas circunstancias. Sin embargo, desde un punto de vista general son dos las propiedades principales de mayor envergadura. La primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco, la cual se conoce como manejabilidad, ductilidad, trabajabilidad, asentamientos, entre otros. La segunda es el grado de endurecimiento o resistencia capaz de adquirir el concreto.

La fluidez suele medirse con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla. La resistencia se determina mediante ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre las probetas normalizadas. Con los resultados a la compresión el conocedor puede hacer estimaciones sobre la resistencia a otros tipos de tensiones, tales como la flexión, corte o tracción.⁹

Las características que se pueden observar de un pavimento de concreto se deben principalmente a la estructura y propiedades de este material, se mencionan a continuación algunas de esas características:

Alta Resistencia.- El pavimento de concreto posee una alta resistencia a la flexión y compresión; estas dependen principalmente del material (cemento) en combinación con los agregados pétreos que la conforman. Aquella, simplemente no puede ser alcanzada por un asfalto debido a las características de sus materiales.

Rigidez.- La rigidez o inflexibilidad, está en función de la resistencia del concreto en forma de losas y del módulo de elasticidad del concreto (E). Esta característica de las losas, es la que da precisamente el nombre al tipo de pavimento, ya que, como se menciona más adelante, es la encargada de resistir la mayoría de los esfuerzos y deformaciones que se producen por efecto del tránsito y transmite niveles de carga sumamente bajos al terreno de apoyo, es decir a la sub - base, la subrasante y las terracerías.

⁸ Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz.

⁹ Fuente: "Incidencia de la Fibra Metálica Dramix- 65/35 – BN en Pavimentos Rígidos de Temprana Edad" Ing. Manuel Díaz

Estabilidad de la superficie de rodamiento.- Resulta fuera de toda duda que la característica más importante de un pavimento rígido, desde el punto de vista del usuario, es la calidad de la superficie de rodamiento, ya que, si se siguen las técnicas de construcción adecuadas y las normas técnicas, que para el caso se sugieren, nos proporcionará una superficie plana, de mayor estabilidad y seguridad en el manejo. Las superficies de un pavimento de concreto son altamente estables y seguras.

Color.- Tal vez, ésta característica sea despreciada por muchos proyectistas de pavimentos a la hora de hacer una elección por uno de asfalto o de concreto, pero se ha demostrado que el color natural que da el cemento Portland al concreto, hace que éste posea una alta reflectancia a la luz; tal vez en algunas horas del día puede ser un poco molesto pero en la noche hace que el pavimento de concreto sea mucho más visible que el asfáltico, y esto representa un enorme ahorro en cuanto a iluminación y al mantenimiento de éste.¹⁰

2.2.3. Esfuerzos de Pavimento Rígido

El pavimento de hormigón como consecuencia de su rigidez y elevado módulo de elasticidad, tiene considerable resistencia a la flexión denominada también de viga y alta capacidad para distribuir las cargas sobre un área de suelo relativamente amplia.

Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Por ello la resistencia a la flexión es el factor más importante en la determinación del espesor necesario de la losa y se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes.

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

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.

¹⁰ Fuente: "Pavimentos de concreto Hidráulico en Carreteras" Ing. Héctor Silvestre Sandoval Valle

- Esfuerzos de compresión y tensión, que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Las tensiones producidas por el tráfico y por el gradiente de temperatura, son de mayor importancia que las restantes.

La acción de estos esfuerzos ya sea aislada o conjunta es la que origina un estado de tensiones en la losa. Para disminuir las producidas por las variaciones de temperatura, humedad y retracción del fraguado, el pavimento se divide en losas, por juntas debidamente dispuestas para que las tensiones producidas sean admisibles en la práctica.

Cuando no se toman en cuenta los esfuerzos de tensión generados en la base de la losa se puede generar el agrietamiento de las losas como resultado de la resistencia por fricción que se genera en la interface losa-capa de apoyo.

Los esfuerzos en pavimentos rígidos se analizan en la losa de concreto y provienen de varios efectos:

a) Por efecto de las cargas

Estos esfuerzos son, en general, de los más importantes que pueden producirse. Como quiera que la resistencia a la compresión sea importante, los esfuerzos de tensión producidos en la flexión de la losa, son los críticos. Para su cálculo se utilizan fórmulas originalmente obtenidas por Westergaard. Estas fórmulas están sujetas a la hipótesis de que la losa está formada por un material elástico homogéneo e isótropo; que los esfuerzos de interacción entre ella y el suelo soporte son verticales y proporcionales a las deflexiones de la propia losa y que ésta es horizontal y de espesor constante.

La segunda hipótesis implica continuidad entre losa y apoyo. Westergaard estudió tres condiciones de carga: en esquina, en el borde y en el centro de la losa.

Para la carga en esquina, la tensión máxima se produce en el plano bisector y el lecho superior de la losa.

La carga en el borde produce la tensión máxima en el lecho inferior y en la dirección paralela al borde de la losa. Cuando la carga obra en el centro, el esfuerzo máximo actúa en el lecho inferior y es, teóricamente el mismo en cualquier dirección.¹¹

- **Localizaciones críticas de carga**

Interior: Ocurre cuando la carga es aplicada en el interior de la superficie de la losa, lejana a los bordes.

Borde: Ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, lejana a las esquinas

Esquina: Ocurre cuando el centro de la carga está en la bisectriz del ángulo de la esquina.

Fórmulas de Westergaard ($\mu=0.15$)

La presencia del término h^2 en el denominador de las 3 fórmulas, sugiere que el espesor de la losa es crítico en la reducción de esfuerzos por carga a niveles aceptables.

Interior	$\sigma_i = \frac{0.3162 P}{h^2} \left[4 \log (l/b) + 1.069 \right]$	esfuerzo de tensión en el fondo de la losa
Borde	$\sigma_b = \frac{0.572 P}{h^2} \left[4 \log (l/b) + 0.359 \right]$	esfuerzo de tensión en el fondo de la losa
Esquina	$\sigma_e = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$	Esfuerzo de tensión en la parte superior de la losa

¹¹ Fuente: "Pavimentos Rígidos" <http://pavimentosrigidos.blogspot.com/2007/06/esfuerzos-en-pavimentos-rigidos.html>

SIGNIFICADO DE LOS TÉRMINOS DE LAS FÓRMULAS	
$\sigma_i, \sigma_b, \sigma_e$	Esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas
P	Carga por rueda
h	Espesor de la losa
a	Radio del área cargada
l	Radio de rigidez relativa
b	Radio de la sección resistente
b	$\sqrt{1.6 (a)^2 + h^2} - 0.675 (h)$

Figura 12. Formulas de Westergaard y sus significados de términos

Suposiciones para las fórmulas de Westergaard:

- La losa actúa como un sólido homogéneo, isotrópico y elástico en equilibrio.
- La losa tiene sección transversal uniforme.
- Todas las fuerzas son normales a la superficie.
- No hay fuerzas friccionales o de corte.
- El eje neutro se encuentra en la mitad de la losa.
- La deformación por corte es despreciable.
- La losa se considera infinita para carga en el interior y semi-infinita para carga en el borde.
- La carga se aplica sobre un área circular.¹²

b) Esfuerzos por temperatura

Estos esfuerzos pueden llegar a significar en la losa incluso más que los debidos a las cargas. Son principalmente de dos tipos: los de alabeo, que se producen cuando un lecho de la losa y el otro están a temperatura diferente, estableciéndose por ende flujo de calor transversalmente a la losa y los provocados por la restricción impuesta por el suelo de apoyo cuando la losa, calentada o enfriada uniformemente, trata de expandirse o contraerse.

¹² Fuente: "Esfuerzos en Pavimentos Rígidos" Ing. Fernando Sánchez Sabogal

Los esfuerzos de alabeo se producen cuando la temperatura ambiente sufre una alteración más o menos brusca, por ejemplo cuando una noche fría sigue a un día cálido.¹³

Alabeo por gradiente térmico:

- Al cambiar la temperatura ambiente durante el día, también cambia la temperatura del pavimento.
- Este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa.
- El gradiente produce un alabeo en la losa.
- El peso propio de la losa y su contacto con la superficie de apoyo restringen el movimiento, generándose esfuerzos.
- Dependiendo de la hora del día, estos esfuerzos se pueden sumar o restar de los efectos producidos por las cargas del tránsito.

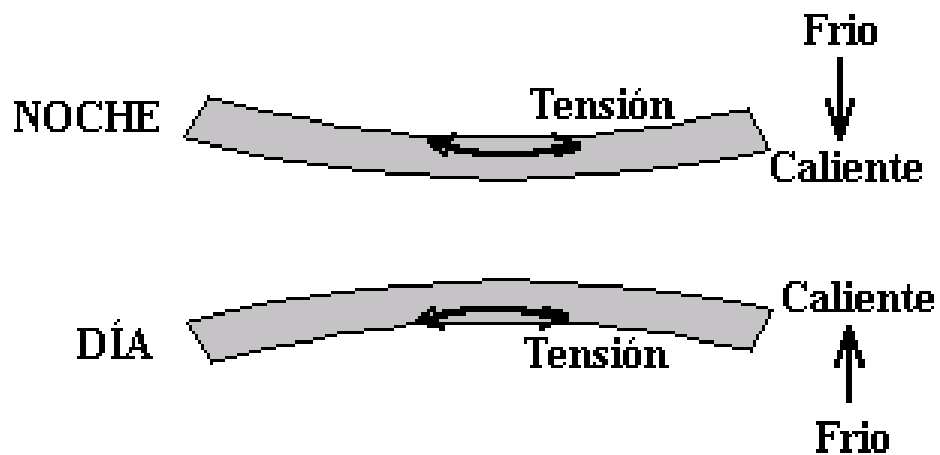


Figura 13. Esquema de Alabeo de Gradiente Térmico

¹³ Fuente: "Pavimentos Rígidos" <http://pavimentosrigidos.blogspot.com/2007/06/esfuerzos-en-pavimentos-rgidos.html>

Fórmulas de bradbury

Borde de la losa	$\sigma_t = \frac{C * E * \alpha * \Delta t}{2}$
Interior de la losa	$\sigma_t = \frac{E * \alpha * \Delta t}{2} \left[\frac{(C1 + \mu C2)}{1 - \mu^2} \right]$
Esquina de la losa	$\sigma_t = \frac{E * \alpha * \Delta t}{3(1 - \mu)} \left[\sqrt{\frac{a}{l}} \right]$

σ_t	Esfuerzo en el sitio considerado
E	Módulo elástico del concreto
α	Coefficiente de dilatación térmica del concreto (0.000005/°F)
Δt	Diferencia de temperatura entre las dos caras de la losa (gradiente)
C	Coefficiente que depende de la longitud de la losa y del radio de rigidez relativa
C_1	Coefficiente en la dirección en la cual se calcula el esfuerzo
C_2	Coefficiente en la dirección perpendicular a C_1
μ	Relación de Poisson del concreto
a	Radio del área cargada en el borde de la losa
l	Radio de rigidez relativa

Figura 14. Formulas de Bradbury y sus significados de términos

- Debido a que C_i es inversamente proporcional al módulo de reacción del soporte (k), los esfuerzos por alabeo se incrementan cuando el soporte es muy rígido, ya que éste no puede asumir el contorno del pavimento.
- Como C_i es directamente proporcional a la longitud de la losa, el aumento de ésta incrementa los esfuerzos por alabeo térmico.¹⁴

Radio de rigidez relativa (Westergaard)

$$l = \sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) k}}$$

h = espesor de la losa
k = módulo de reacción del soporte

¹⁴ Fuente: "Esfuerzos en Pavimentos Rígidos" Ing. Fernando Sánchez Sabogal

c) Esfuerzos producidos por cambios de humedad

Además, existen otros esfuerzos posibles en la losa de concreto, tales como los de fraguado inicial, los causados por cambios de humedad en el concreto o los de infiltración, debidos al acuñaamiento de agregados y materias extrañas en las grietas que puedan formarse en la losa, pero en general estos esfuerzos son de pequeña magnitud y no suelen tomarse en cuenta en los análisis.

Variaciones volumétricas importantes en el suelo soporte pueden inducir en la losa de concreto esfuerzos considerables de valuación muy difícil, por lo que deben evitarse cuidadosamente.

Debe notarse que la condición crítica para el diseño de la losa no se obtendrá calculando todos los esfuerzos mencionados y sumándolos. Esto sería, sin duda una condición excesivamente conservadora. Por ejemplo en un día caluroso tras noche fría habría una combinación de esfuerzos por carga, más esfuerzos por alabeo, pero la losa contraída en la noche, tenderá a expandirse en el día, por lo que la reacción de la restricción en el suelo soporte será de compresión; por lo tanto, ahora:¹⁵

$$\sigma_{\text{crit}} = \sigma_{\text{cargas}} + \sigma_{\text{alabeo}} - \sigma_{\text{restricción}}$$

Alabeo por cambios de humedad:

- El alabeo también se produce por cambios de humedad en la losa.
- Estos esfuerzos suelen ser opuestos a los producidos por cambios cíclicos de temperatura.
- En climas húmedos, la humedad de las losas es relativamente constante.
- En climas secos, la superficie se encuentra más seca que el fondo.¹⁶

¹⁵ Fuente: "Pavimentos Rígidos" <http://pavimentosrigidos.blogspot.com/2007/06/esfuerzos-en-pavimentos-rigidos.html>

¹⁶ Fuente: "Esfuerzos en Pavimentos Rígidos" Ing. Fernando Sánchez Sabogal

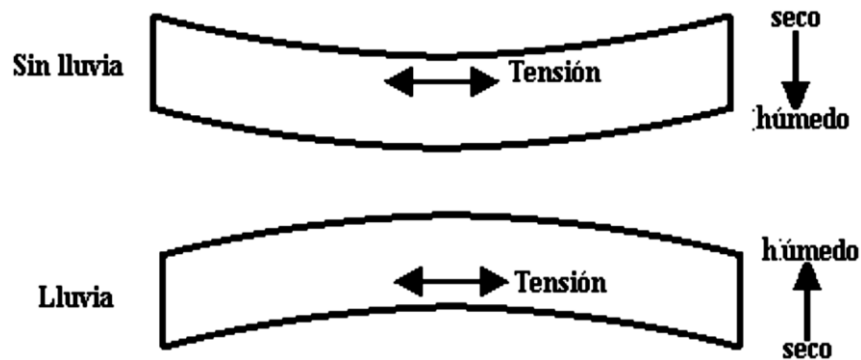


Figura 15. Esquema de Alabeo por Cambios de Humedad

2.3. MEZCLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.3.1. Agregados

Los agregados son fragmentos, granos pétreos o cualquier material duro e inerte formado por fragmentos clasificados en una amplia gama de tamaños, que se mezcla con un material cementante para formar concreto o un material similar y le dotan de características favorables relacionadas con el desarrollo de resistencias mecánicas, trabajabilidad, la adherencia con la pasta de cemento y la disminución de retracción plástica, entre otras.¹⁷

Los agregados, también conocidos como áridos o inertes, son fragmentos o granos, cuya finalidad es abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica. Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanzan a representar el 70% y el 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad de la mezcla.¹⁸

Agregado fino:

Son aquellos que están formados por partículas de 0.02 a 1/4 de pulgada, y de 0.508 a 6.35 mm de diámetro.

¹⁷ Fuente: "Materiales de Construcción" Caleb Hornbostel

¹⁸ Fuente: "Incidencia de la Fibra Metálica Dramix- 65/35 – BN en Pavimentos Rígidos de Temprana Edad" Ing. Manuel Díaz

Agregado Grueso:

Son aquellos que están formados por partículas de $\frac{1}{4}$ de pulgada (6.35 mm) de diámetro y mayores.¹⁹

Grava:

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto, y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

MALLA		% QUE PASA
2"	50.00 mm	100
1 ½"	37.50 mm	95 - 100
¾"	19.00 mm	35 - 70
3/8"	9.50 mm	10 - 30
Número 4	4.75 mm	0 - 5

Tabla 2. Especificaciones – Materiales – Granulometría de la Grava

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla.

Sustancias perjudiciales	%
Partículas deleznable	0.25
Partículas Suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Tabla 3. Especificaciones – Materiales – Sustancia Perjudiciales en Grava

El agregado grueso además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste “Los Ángeles” 40% máximo
- Intemperismo Acelerado 12% máximo

¹⁹ Fuente: “Materiales de Construcción” Caleb Hornbostel

Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el Especificador podrá ordenar se efectúen pruebas de desgaste de los Ángeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la muestra constituida por ambos materiales, en la que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregados ya tratados o en donde vayan a ser utilizados. En ninguno de los casos mencionados se deberán obtener desgastes mayores que cuarenta por ciento (40%).

Arena:

Es producto de la desintegración natural o artificial de rocas y minerales. El tamaño de los gránulos están entre 1/16 pulg. (1.59 mm) hasta ¼ pulg (6.35 mm).

El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de nueve punto cincuenta y un milímetro (9.51mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

MALLA		% QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
Número 4	4.75 mm	95 - 100
Número 8	2.36 mm	80 - 100
Número 16	1.18 mm	50 - 85
Número 30	600 mm	25 - 60
Número 50	300 mm	10 - 30
Número 100	150 mm	2 - 10
Número 200	75 mm	4 máximo

Tabla 4. Especificaciones – Materiales – Granulometría de la Arena

La arena deberá estar dentro de la zona que establece esta tabla excepto en los siguientes casos:

- Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables, en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar

siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.

- El porcentaje de material que pasa la malla #200 esta modificado según los límites de consistencia lo cual se indica en la siguiente tabla:

Límite líquido	Índice Plástico	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0.075 (# 200), en porcentaje
Hasta 25	Hasta 5	18.0
Hasta 25	5 – 10	16.0
Hasta 25	10 – 15	6.0
Hasta 25	15 – 20	4.0
Hasta 25	20 – 25	1.0
25 – 35	Hasta 5	16.0
25 – 35	5 – 10	14.0
25 – 35	10 – 15	11.0
25 – 35	15 – 20	8.0
25 – 35	20 – 25	1.0
35 – 45	Hasta 5	15.0
35 – 45	5 – 10	9.0
35 – 45	10 – 15	6.0
35 – 45	15 – 20	2.0
35 – 45	20 – 25	1.0
45 – 55	Hasta 5	9.0
45 – 55	5 – 10	8.0
45 – 55	10 – 15	5.0
45 – 55	15 – 20	4.0
45 – 55	20 – 25	1.0

Tabla 5. Especificaciones – Materiales – Ajuste Granulométrico de la Arena

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena, no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

Sustancias perjudiciales	% Máximo
Partículas deleznable	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Tabla 6. Especificaciones – Materiales – Sustancia Perjudiciales en la Arena

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado fino, a juicio de la secretaría se llevará a cabo la determinación de la pérdida por intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor de 10%, en el entendido de que esta condición no excluye las mencionadas anteriormente.²⁰

2.3.2. Cemento

El cemento Portland es el producto obtenido de la pulverización de un Clinker que consiste, esencialmente, en silicatos hidráulicos de calcio obtenido por un calentamiento a fusión parcial de una mezcla homogénea de materiales que contienen principalmente: Cal (CaO). Sílice (SiO₂), con una pequeña porción de alúmina (Al₂O₃) y oxígeno férrico (Fe₂O₃).

Este producto tiene la propiedad de endurecer al mezclarse con el agua, formando la llamada pasta cementante, es un material cementicio que es capaz de unir porciones de sustancias no adhesivas por sí mismas en un todo cohesivo.²¹

El cemento es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye solo aproximadamente solo un 10 a un 20% el peso del concreto, siendo el 80 a 90% de materiales restantes el que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del concreto.

De los componentes del concreto, el cemento es el más caro por unidad de peso. Sin embargo, comparado con otros productos manufacturados, el cemento es un material relativamente barato.

El cemento se obtiene a partir de materias primas abundantes en la naturaleza. Su elaboración se realiza en plantas industriales de gran capacidad, en donde debe ser controlado estrictamente, lo que redundará en su calidad y en la confiabilidad que sobre él pueda tener el usuario.²²

²⁰ Fuente: *Deterioro de pavimentos rígidos "Metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones"* Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann.

²¹ Fuente: *"Materiales de Construcción"* Caleb Hornbostel

²² Fuente: *"Incidencia de la Fibra Metálica Dramix- 65/35 – BN en Pavimentos Rígidos de Temprana Edad"* Ing. Manuel Díaz

Especificaciones del Cemento Portland:

A continuación explicaremos brevemente algunas características de cada uno de ellos. En todos los casos se especifica el tipo de cemento de acuerdo a la nomenclatura establecida en las normas.

- **CPN - Cemento Portland Normal.-** Puede decirse que este cemento portland es apto para todo tipo de construcción que no requiere propiedades especiales por cuestiones de resistencia y/o durabilidad.
- **CPF - Cemento Portland con “filler” calcáreo.-** Al igual que el cemento portland normal, este material es utilizado en la construcción cuando el hormigón no presenta requerimientos especiales. La característica más valorada de este material es la buena trabajabilidad que le confiere a los morteros y hormigones cuando se trabajan en estado fresco.
Como contrapartida, al estar fabricado con adiciones no activas, la resistencia final de los hormigones elaborados con este material suele ser menor a la que se obtendría con otros tipos de cemento.
- **CPE - Cemento portland con escoria.-** Es un cemento con contenido de escoria “moderado” ya que presenta mayor contenido que el cemento portland normal y menor que el cemento de escoria de alto horno. Puede utilizarse para cualquier tipo de construcción y es especialmente recomendado cuando se tiene ataque moderado de sulfatos, posibilidad de utilización de agregados reactivos (previo ensayo) o se requieren buenas condiciones de impermeabilidad del hormigón.
- **CPC - Cemento Portland Compuesto.-** Es un cemento que combina los efectos benéficos del “filler” calcáreo de excelente trabajabilidad en estado fresco, con la mayor resistencia final y durabilidad de los cementos con adiciones activas. Esta combinación hace que se obtengan cementos de muy buenas características técnicas a costos razonables para el fabricante y el usuario del cemento.

- **CPP - Cemento Portland Pozzolánico.-** Estos cementos suelen ser más “lentos” en el desarrollo de resistencia que otros debido fundamentalmente que la puzolana necesita la formación del $(OH)_2 Ca$ (hidróxido de calcio) que se forma como subproducto de la hidratación del clinker para combinarse y formar compuestos similares a los del clinker hidratado. Cuando mayor sea el contenido de adición activa de este cemento, es de esperar que su hidratación sea más “lenta” y consecuentemente también lo sea el desarrollo de resistencia. Generalmente los hormigones elaborados con este tipo de cementos obtienen altas resistencias finales y puede apreciarse cuando se ensayan probetas luego de 56 o 90 días de edad. Si bien este cemento es apto para casi cualquier tipo de obra, cuando el material resulta de comprobada eficacia, es especialmente recomendado cuando se requieran propiedades especiales de durabilidad como ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación, inhibición de la reacción álcali – agregado, impermeabilidad, etc.
- **CAH - Cemento de Alto Horno.-** Este cemento, que en la norma pierde la denominación “portland”, posee un alto contenido de una adición activa como lo es la escoria granulada de alto horno. Es muy utilizado en obras de ingeniería donde interesa fundamentalmente el bajo calor de hidratación y una buena resistencia a sulfatos en caso de una exposición a aguas o suelos sulfatados y/o a la reacción álcali – agregado en caso de utilizarse agregados potencialmente reactivos. Es de esperar un desarrollo de resistencia un tanto más “lento” que el cemento normal debido a que la escoria granulada se hidrata a partir del ambiente alcalino que le confiere la hidratación del clinker. No obstante la resistencia final de los hormigones elaborados a partir de este tipo de cemento suele ser mayor a la obtenida con CPN utilizado en dosis similares.
- **ARI - de Alta Resistencia Inicial.-** En general su utilización se limita a aquellos usos donde se necesita habilitar rápidamente la estructura o se utiliza tecnología de encofrado deslizante o se requiere una rápida reutilización de los encofrados. Es de esperar que los hormigones elaborados con este cemento

obtengan resistencias a 7 días similares o mayores a las que se obtendrían utilizando la misma dosificación con cualquier cemento portland de categoría CP40 a los 28 días de edad. Debido a que este cemento desarrolla alto calor de hidratación no se recomienda en elementos estructurales cuya menor dimensión lineal sea mayor a los 40 cm.

- **MRS - Moderadamente Resistente a los Sulfatos.-** Es un cemento al cual se le limita el contenido de AC3 (aluminato tricálcico) a valores menores o iguales al 8 % en masa, lo cual hace a este material apto para utilizarlo cuando existe un ataque moderado de sulfatos o será utilizado en hormigones de estructuras en contacto directo con agua de mar.
- **ARS - Altamente Resistente a los Sulfatos.-** Es el cemento conocido como ARS. La norma IRAM limita el contenido de AC3 (aluminato tricálcico) a un máximo de 4 % en masa y la suma de AC3 + FAC4 (Ferro aluminato tetracálcico) debe ser menor o igual a 22 %, calculados teóricamente de acuerdo a la composición química. Su utilización se limita para estructuras sometidas al ataque fuerte de sulfatos presentes en ciertas aguas y/o suelos de contacto.
- **BCH - de Bajo Calor de Hidratación.-** Generalmente este tipo de cementos se comercializa en combinación con cementos portland con adiciones activas como son la escoria granulada de alto horno y la puzolana. Se utiliza cuando interesa que el hormigón desarrolle poco calor a partir de la hidratación del cemento, como es el caso de las presas de hormigón o bases de grandes dimensiones. La norma especifica valores máximos de desarrollo de calor de hidratación de 270 kJ/kg (65 Cal/g) para 7 días y 310 kJ/kg (75 Cal/g) para 28 días de acuerdo al ensayo especificado en IRAM 1617 o 270 kJ/kg (65 Cal/g) a 5 días utilizando el ensayo especificado en la norma IRAM 1852 de acuerdo al tipo de cemento y/o el método de ensayo disponible.
- **RRAA - Resistente a la Reacción Álcali – Agregado.-** Existen en nuestro país algunas pocas fuentes de agregados que presentan potencialidad de reaccionar desfavorablemente con los álcalis del cemento en estructuras

sometidas a condiciones de humedad en forma más o menos permanente. Si bien es recomendable utilizar agregados que no sean potencialmente reactivos para la elaboración del hormigón, existen casos que esto resulta económicamente inviable y se recurre a cementos con bajos contenidos de álcalis o que posean alguna adición activa que demuestre su capacidad de inhibición o, al menos, “amortiguar” los efectos de la expansión de manera que la reacción no resulte deletérea.

- **B – Blanco.-** Es un cemento que cumple los requerimientos de los cementos CPN o CPF o CPC y tiene como requisitos adicionales la limitación de los contenidos de óxido férrico y magnesio que actúan sobre el color del material. También, se incorporó un requisito de blancura que resulta de fundamental importancia para el usuario de este tipo de cemento. Es un material que en nuestro país no está muy difundido debido a su alto costo y su utilización se restringe a hormigones ornamentales o “a la vista” y cierto tipo de mosaicos o baldosas. No hay que confundir con otros cementos blancos utilizados en la fabricación de ciertas pastinas o algunas baldosas que utilizan cementos con altos contenidos de adiciones activas y no activas que no cumplen los requisitos de resistencia establecidos por IRAM para el cemento portland blanco.²³

2.3.3. Aditivo

Aditivos son los productos químicos que se añaden en pequeña proporción a la mezcla de concreto durante su mezclado, para modificar algunas de las propiedades de la mezcla en estado fresco o endurecido.

Las características de los aditivos más utilizados se orientan a modificar las velocidades del tiempo de fraguado, acelerándolo o retardándolo, y a buscar mayor plasticidad en la mezcla. El mecanismo mediante el cual se logra mayor plasticidad es a través de procesos físico - químicos que permiten la reducción de parte del agua de

²³ Fuente: *Cemento Portland “Características y recomendaciones”* Ing. Edgardo A. Becker

mezclado, lo que en muchos casos acelera la ganancia de resistencia luego de producirse el fraguado inicial.

La reducción de agua se produce porque el aditivo crea fuerzas intermoleculares que facilitan tanto la reacción sobre las partículas de cemento, como su menor apelmazamiento y mayor fluidez. En igualdad de condiciones, esta nueva mezcla requiere menor cantidad de agua para obtener el mismo asentamiento. Por eso mismo conduce a menores relaciones agua/cemento, y con ello, a mayores resistencias mecánicas, mayor compacidad y menor porosidad.²⁴

2.3.3.1. Tipos de Aditivos

Tipo “A” Reductores de Agua.- Son aquellos aditivos que reducen al menos un 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.

Tipo “B” Retardadores de Fraguado.- Son aquellos aditivos que retardan el fraguado del concreto.

Tipo “C” Aceleradores de Fraguado.- Son aquellos aditivos que aceleran el fraguado del concreto y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto.

Tipo “D” Reductores de Agua y Retardadores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 5% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia que retardan el fraguado e incrementan su resistencia.

Tipo “E” Reductores de Agua y Aceleradores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 5% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.

Tipo “F” Reductores de Agua de Alto Rango.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 15% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un

²⁴ Fuente: “Materiales de Construcción” Caleb Hornbostel

concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.

Tipo “G” Reductores de Agua de Alto Rango y Retardadores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 15% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, retardando el fraguado e incrementando su resistencia.

Tipo “H” Reductores de Agua de Alto Rango y Aceleradores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 15% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.²⁵

2.4. FALLAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS

2.4.1. Fallas

La palabra “FALLA” no se define perfectamente, ya que se puede utilizar para colapsos, desastres o en deterioros simples.

Se consideran como fallas de regularidad aquellas que corresponden a defectos de forma, originados generalmente por diversas causas durante la construcción y a las que afectan la textura, en nuestro caso con extensión apreciable.

La supervisión juega un papel importante en el comportamiento de los pavimentos rígidos, es responsable de que los errores estén dentro de las tolerancias especificadas y que las posibles fallas de concepción y de ejecución reducidas a un mínimo. Debe entenderse por supervisión, no solo aquella que se realiza hasta el momento en que se entrega la obra, sino también aquella que continuara durante toda la vida útil del pavimento, haciendo evaluaciones periódicas de su comportamiento y estableciendo las bases del mantenimiento, para que este actúe oportunamente y conserve el pavimento en buenas condiciones de funcionamiento con el menor costo posible.²⁶

²⁵ Fuente: “Incidencia de la Fibra Metálica Dramix- 65/35 – BN en Pavimentos Rígidos de Temprana Edad” Ing. Manuel Díaz

²⁶ Fuente: “Capítulo XII - Fallas en Pavimentos”

2.4.1.1 Tipos de Fallas

La determinación de las causas que producen las fallas en pavimentos rígidos, pueden ser tan simples que solo baste un reconocimiento superficial de la falla, o tan compleja que se requiera un examen profundo de la falla, auxiliado por ensayos de laboratorio. Se presenta una lista de fallas típicas de los pavimentos de concreto, acompañadas de sus posibles causas.²⁷

a) Levantamiento de losas.- Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal.

Posibles causas: Son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de concreto, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta. Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados por la rotura de estas losas.



Fotografía 1. Levantamiento de Losas

b) Dislocamiento.- Es una falla provocada por el tránsito en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a una losa vecina; también puede manifestarse en correspondencia con fisuras.

²⁷ Fuente: "Capítulo XII - Fallas en Pavimentos"

Posibles causas: Es el resultado en parte del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa (en sentido de la circulación del tránsito) como también por depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la fundación. Son manifestaciones del fenómeno de bombeo, cambios de volumen que sufren los suelos bajo la losa de concreto y de una deficiente transferencia de carga entre juntas.



Fotografía 2. Dislocamiento

c) Hundimiento.- Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo; puede estar acompañado de un fisuramiento significativo, debido al asentamiento del pavimento.

Posibles causas: Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se producen asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en terraplenes cuando existen condiciones muy desfavorables para la fundación, o bien en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura.



Fotografía 3. Hundimiento

d) Pulimiento de la superficie.- Superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimiento de los agregados que la componen.

Posibles causas.- Esta deficiencia es causada principalmente por el tránsito, el mismo que produce el desgaste superficial de los agregados de naturaleza degradable, particularmente cuando el concreto es de calidad pobre y favorece la exposición de los mismos. Cuando el agregado en la superficie favorece la exposición de los mismos.



Fotografía 4. Pulimiento de las Superficies

e) Descascaramiento.- Progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena cemento del concreto, provocando una superficie de rodamiento rugoso y eventualmente pequeñas cavidades.

Posibles causas.- Son causadas por el efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.).



Fotografía 5. Descascaramiento

f) Bache.- Descomposición o desintegración la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.

Posibles causas.- Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.²⁸

²⁸ Fuente: Deterioro de pavimentos rígidos "Metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones" Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann.



Fotografía 6. Bache

2.4.2. Fisuración

La fisuración de los pavimentos rígidos es atribuible a numerosas causas. Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración.

Las fisuras sólo se podrán reparar correctamente si se conocen sus causas y si los procedimientos de reparación seleccionados son adecuados para dichas causas; caso contrario, las reparaciones pueden durar poco. Los procedimientos de reparación exitosos a largo plazo son aquellos que atacan no sólo las propias fisuras sino también las causas de la fisuración.

La fisuración juega un papel importante en la respuesta del hormigón a las cargas, tanto en tracción como en compresión.²⁹

2.4.2.1. Causas de Fisuras en Pavimento Rígido

El hormigón es un material versátil, que debe su popularidad a los múltiples usos que se le pueden dar, porque es fácil de lograr con una calidad mínima y sobretodo

²⁹ Fuente: "Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Pavimentos de Hormigón" Grant T. Halvorsen

porque es durable. Hoy en día su creciente industrialización permite obtenerlo con rapidez y óptima calidad, adecuándolo con aditivos a las aplicaciones más diversas.

En pavimentos, nuestro país lo viene utilizando desde los albores de la tecnología. Se tienen aplicaciones masivas en calles y pueblos de todo el territorio, con alta proporción en las carreteras principales. Su funcionamiento ha sido sin duda muy satisfactorio, proporcionando por largos años un rodaje cómodo y seguro, no obstante los espectaculares aumentos de tránsito que han experimentado dichas vías. La mayoría de los pavimentos de hormigón simple con juntas de la nueva generación, se anticipa a partir de su estado actual que probablemente sobrepasaran el período de diseño de 20 años; requiriendo como es natural alguna preocupación para reparar daños localizados y sellar de vez en cuando sus juntas.

En relación con las prácticas constructivas, es del caso señalar que al hormigón de pavimento no se le ha tratado siempre como es debido. La tecnología, muy avanzada en aplicaciones de edificación, no ha ido a la par en el caso de la construcción de pavimentos, pues se ha procedido a generalizar prácticas que no se ajustan a las particularidades del ambiente en campo abierto, como son las temperaturas altas y las condiciones extremas de evaporación, que tan importante consecuencia tiene sobre el producto terminado y después en funcionamiento.

2.4.2.2. Efectos de las Temperaturas

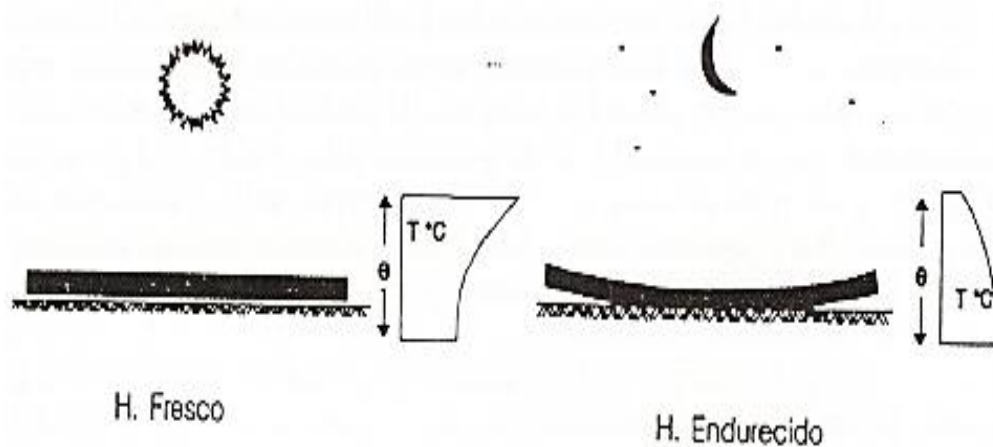
El pavimento es una estructura de gran superficie expuesta en relación a su volumen, y en tal sentido pasa gran parte del tiempo solicitado por gradientes térmicos y por gradientes de humedad en el espesor de las losas, además de las sollicitaciones propias del tránsito. Tales gradientes deforman las losas del pavimento produciéndole alabeos que modifican continuamente las condiciones de apoyo y de contorno. Con propiedad puede decirse que el pavimento de hormigón es una estructura viva que se mueve al compás de la naturaleza.

A pocas horas después de mezclado el cemento con el agua, comienzan reacciones químicas entre los diversos componentes, este proceso exotérmico eleva la

temperatura de la masa del hormigón muy por encima de su valor inicial, mientras más alta la temperatura ambiental, debido a radiación solar, más alta será la temperatura del hormigón y de la superficie de la base. Consecuentemente, la temperatura de la masa en proceso de endurecimiento puede sobrepasar el límite de los 32°C generalmente considerado admisible.

Altas temperaturas en el hormigón fresco, aceleran la hidratación y reducen la resistencia mecánica, una rápida evaporación puede exceder la capacidad de retención de agua de los compuestos químicos formadores de membrana, perdiéndose parte del elemento vital para una buena estructura interna del hormigón, produciendo retracción plástica y fisuramiento, que en condiciones extremas reduce en varios milímetros el espesor útil del pavimento y favorece la propagación futura de grietas por fatiga debido al tránsito.

Se trata entonces de un defecto grave que puede ser evitado y para el cual no existen soluciones prácticas de reparación. El endurecimiento del hormigón en condiciones de fuerte radiación solar, con gradiente térmico positivo, producen durante el enfriamiento una deformación de alabeo cóncavo permanente en la losa, tal como se muestra en la figura siguiente:



*Figura 16. Deformación de Alabeo Cóncavo en Hormigón Recién Endurecido
Luego de Hormigonarse con Alta Radiación Solar*

El hormigón de pavimento, endurecido en ambiente de alta temperatura, al enfriarse se contrae más que un pavimento hormigonado a temperaturas bajas.

La consecuencia de este hecho es que las juntas transversales de contracción «nacen» con una abertura innecesariamente grande, disminuyendo la trabazón mecánica entre las caras irregulares de la grieta inducida y perjudicando la eficiencia de las juntas en su función de transferir las cargas del tránsito de una losa a otra. Para cerrar las juntas y alcanzar un estado de bloqueo de los bordes transversales se necesita que el pavimento se dilate por elevación de su temperatura media, que sólo ocurre en días muy calurosos de verano.

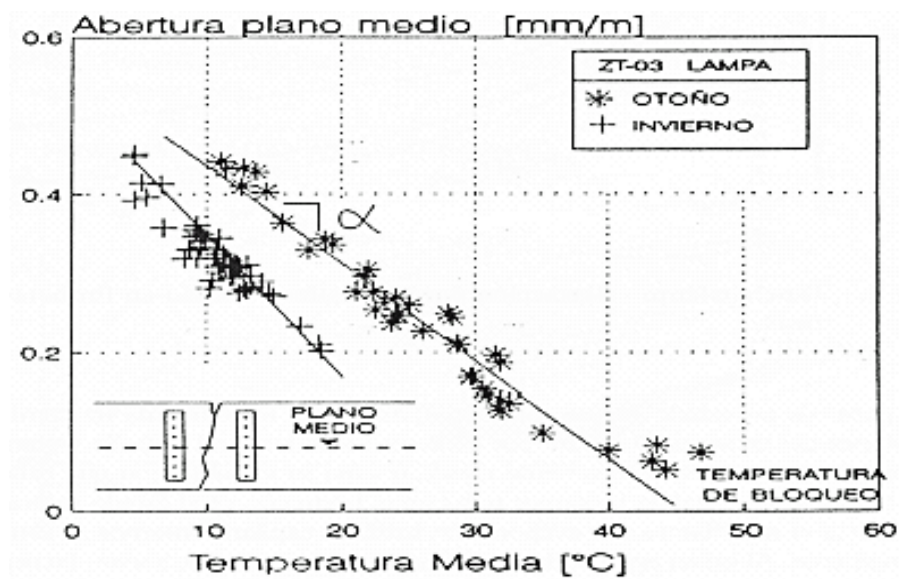


Figura 17. Desplazamientos Térmicos Longitudinales Medidos en Juntas Transversales

Cuando un pavimento es hormigonado en condiciones de baja temperatura, las juntas inducidas se abren después de varios días o semanas, o tan pronto la temperatura ambiental desciende un poco más. En ese caso el pavimento tiene una temperatura de «bloqueo» baja, que a través de los ciclos térmicos le permitirá soportar el tránsito con buena transferencia de carga en las juntas transversales. Este efecto que la gente siempre piensa en suplir con dispositivos especiales, como barras de traspaso de carga u otros, se obtiene gratis evitando el hormigonado con alta temperatura.

2.4.2.3. Efectos de los Cambios de Humedad

Cuando un hormigón endurecido se deja secar experimenta una contracción de volumen que luego se revierte al permitirle absorber agua. Si bien este comportamiento es conocido desde hace tiempo los efectos no se habían asociado claramente a sus consecuencias sobre los pavimentos. Mediciones de laboratorio hechas en probetas prismáticas, cuyos resultados se ilustran en la figura 1.4, indican que al pasar de un estado seco a saturado el hormigón experimenta un cambio en sus dimensiones del orden de 0,3 mm por cada metro de longitud. Se ve también que la absorción de agua es relativamente rápida y lenta su expulsión; lo que refleja que el estado mecánico normal de tensiones nulas en el hormigón es el estado saturado, y que al producirse el secamiento por evaporación lenta los capilares internos se van cerrando paulatinamente.

Al existir agua libre los capilares en tensión la succionan, incorporándola tan rápidamente como la viscosidad del agua lo permite. En el pavimento este efecto ha podido ser identificado a través del comportamiento de las aberturas de juntas, como se muestra en la Figura 18.

Allí se ven dos líneas paralelas separadas por una variación de aberturas de aproximadamente 0,1 mm. por metro, medidos a nivel del plano medio de una losa de pavimento, que indica que a igual temperatura media en Verano - Otoño las juntas están más abiertas que en Invierno.

Visto el comportamiento de laboratorio, esta diferencia no cabe sino interpretarla como asociada a diferentes grados de humedad, lo que en último término puede ser representado como una diferencia térmica equivalente pero de signo contrario.

Así, en el pavimento un secamiento representativo del paso del invierno al otoño equivale a aumentar la temperatura de bloqueo en unos 10° C. Por ello, un pavimento hormigonado en tiempo frío compensa mejor los efectos adversos del secamiento por tener su sistema de juntas más cerradas desde su nacimiento.

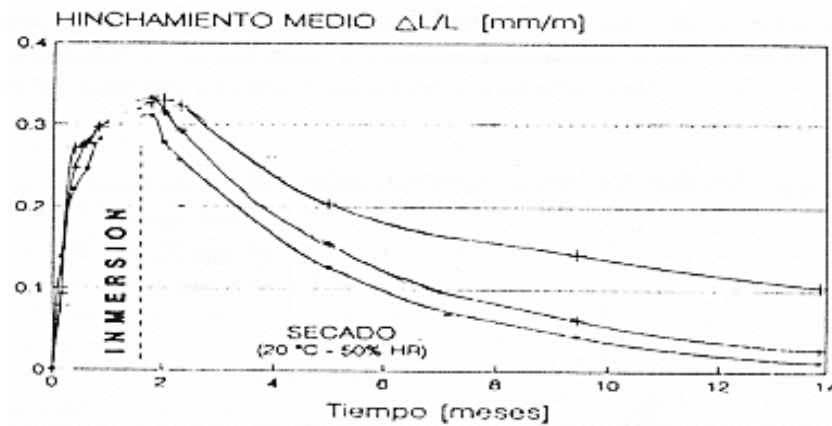


Figura 18. Hinchamiento – Retracción por Inmersión Secado en Probetas Prismáticas

Durante cada estación lluviosa la estructura completa del pavimento puede suponerse que alcanza un grado de saturación relativamente uniforme y elevada. Tan pronto cesan las lluvias el secamiento del pavimento progresa lentamente desde la superficie hacia abajo. Entretanto en la base y consecuentemente en la cara inferior de las losas, el grado de saturación permanece elevado, produciéndose en el pavimento un cierto gradiente de humedad.

El efecto de este gradiente de humedad es una deformación de alabeo cóncavo, de ciclo anual, por el mayor acortamiento de las fibras superiores de las losas del pavimento. Este mismo comportamiento pudo también ser reproducido en laboratorio, imponiendo un gradiente a las probetas prismáticas, por la vía de sentadas sobre una base con agua.

En resumen, de todo lo visto hasta aquí se desprende que por falta de mejores cuidados en la construcción, muy fáciles de implementar, los pavimentos de hormigón suelen ser entregados al tránsito con algunos importantes hándicaps que afectan su capacidad estructural una vez puestos en servicio.

2.4.2.4. El Estado Plástico del Concreto

Un concreto es una mezcla compuesta por pasta y agregados, cuando esta recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. La pasta

está formada por agua, cemento y aire atrapado o incluido, y los agregados que forman el concreto son generalmente arena y grava. En términos generales, los requisitos que debe poseer un concreto en estado plástico son los siguientes:

- **Consistencia:** que permita compactar el concreto adecuadamente
- **Cohesión:** para ser colocado y compactado sin que presente segregación.

Durante el colado del concreto, muchas veces se presentan grietas cuando éste se encuentra en estado plástico, las cuales pueden ser evitadas conociendo las causas. La causa básica del agrietamiento es la restricción. Si todas las partes del concreto estuvieran libres para moverse cuando el concreto se expande o se contrae, no habría agrietamientos ocasionados por cambio de volumen, dado que estos agrietamientos son producidos por el desarrollo de deformaciones diferenciales que inducen esfuerzos por tensión. Generalmente estas fisuras son de dos tipos: Fisuras por Asentamiento Plástico y Fisuras por Contracción Plástica.

Aparte de ser antiestético, el agrietamiento producido en la estructura permite la entrada y difusión de la humedad y del oxígeno, capaces de corroer el acero de refuerzo y, a su vez, promover la degradación estructural y disminuir así la vida útil.

Un elemento importante en la contracción en el concreto es el contenido de agua, cuanto mayor sea el contenido de agua de un concreto, tenderá a contraerse más. Por lo tanto se deberán realizar la dosificación de la mezcla con la menor cantidad de agua posible por metro cúbico de concreto.

El tamaño del agregado es un factor determinante en la cantidad de agua que se utilizará. Entre mayor es la cantidad de los agregados finos en la mezcla, aumentara la demanda del agua, esto significa evitar la mezcla con demasiada arena y preferir la mezcla con mayor cantidad de grava, siempre y cuando se obtenga una mezcla que no presente problemas en la colocación, consolidación y acabado del mismo. Otros factores que intervienen en la cantidad de agua a utilizar son el revenimiento, la relación agua-cemento, la forma del agregado, el contenido de aire y las condiciones ambientales.

2.4.2.5. Tipos de Fisuras

2.4.2.5.1. Fisuras por Asentamiento Plástico

Las fisuras por asentamiento plástico o disminución de volumen del concreto se desarrollan por la tendencia del concreto a seguir consolidándose y las restricciones que ofrecen el acero de refuerzo y/o las formaletas, o por asentamientos desiguales debidos a profundidades diferentes del concreto, el cual es colado monolíticamente.

Después de la colocación, vibrado y acabado, el concreto tiene la tendencia a seguir consolidándose. Durante este periodo, el concreto en estado plástico puede restringirse localmente por el acero de refuerzo, un concreto colocado anteriormente, o los encofrados. Estas restricciones locales pueden resultar en vacíos bajo las barras de acero de refuerzo y/o en fisuras adjuntas a los elementos que restringen el movimiento.

Cuando se asocia con el acero de refuerzo, las fisuras por asentamiento aumentan con el incremento del tamaño de las barras, incremento del revenimiento, y disminución del recubrimiento. Al realizar cambios a estos factores es posible reducir o evitar las fisuras por asentamiento plástico. Las fisuras por asentamiento plástico aparecen ubicadas sobre el acero de refuerzo o contiguo a los elementos que restringen el movimiento.

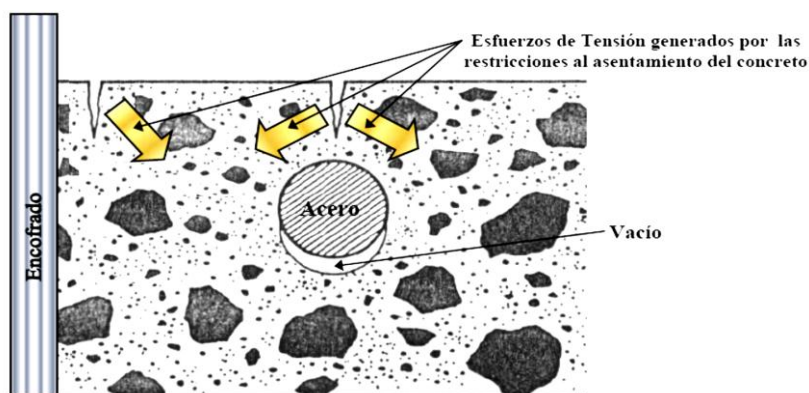


Figura 19. Esquema Gráfico de Fisuras por Asentamiento Plástico

La figura muestra un esquema de las grietas, vacíos y esfuerzos que se generan en el Asentamiento Plástico. Las fisuras aparecen generalmente sobre las barras de acero de refuerzo y contiguo al encofrado.



Fotografía 7. Fisuras por Asentamiento Plástico

En el concreto la mayor parte de las primeras contracciones se deben a los cambios de temperatura. Como es normal, después de que el calor de hidratación alcanza su valor máximo tiende a reducirse por una menor actividad de hidratación, así como por las temperaturas más bajas en la primera noche de colocada la mezcla. Otro factor importante que se debe tomar en cuenta en las contracciones que experimenta la mezcla es la pérdida de volumen por la disminución contenido de agua del concreto.

Al consolidarse y endurecerse la mezcla, se pierde agua debido al sangrado y a la posterior evaporación del volumen total de este líquido. Este fenómeno es más importante en los pavimentos, ya que en ocasiones se adiciona agua en exceso para lograr la trabajabilidad de la mezcla y facilitar las labores de acabado de la superficie.

Cuando no se toman en cuenta los esfuerzos de tensión generados en la base de la losa se puede generar el agrietamiento de las losas como resultado de la resistencia por fricción que se genera en la interface losa-capa de apoyo, pudiendo ser ésta una base o sub-base. Se debe asegurar que el concreto no se adhiera a los encofrados, por

lo que éstos deberán poseer textura lisa, estar limpios y cubiertos con una película que evite la adherencia entre ellos (por ejemplo aceite o grasa).³⁰

2.4.2.5.2. Fisuras por Contracción Plástica

Las fisuras por contracción plástica son grietas que aparecen en ocasiones, en la superficie del concreto fresco, poco después de haber sido colocado y cercano al tiempo en que se realiza el acabado. Estas fisuras se desarrollan por la pérdida de agua por evaporación de la superficie del concreto y generalmente se asocian con los colados en climas cálidos; sin embargo, pueden ocurrir en cualquier ocasión en que las condiciones ambientales produzcan una evaporación rápida del agua en la superficie del concreto.

Las fisuras por contracción plástica ocurren cuando el agua se evapora de la superficie con mayor rapidez que con la que puede aparecer en la superficie durante el proceso de sangrado.

Lo anterior origina una rápida contracción por secado y el desarrollo de esfuerzos de tensión en la capa superficial, que está restringida por el concreto interior no contraído.

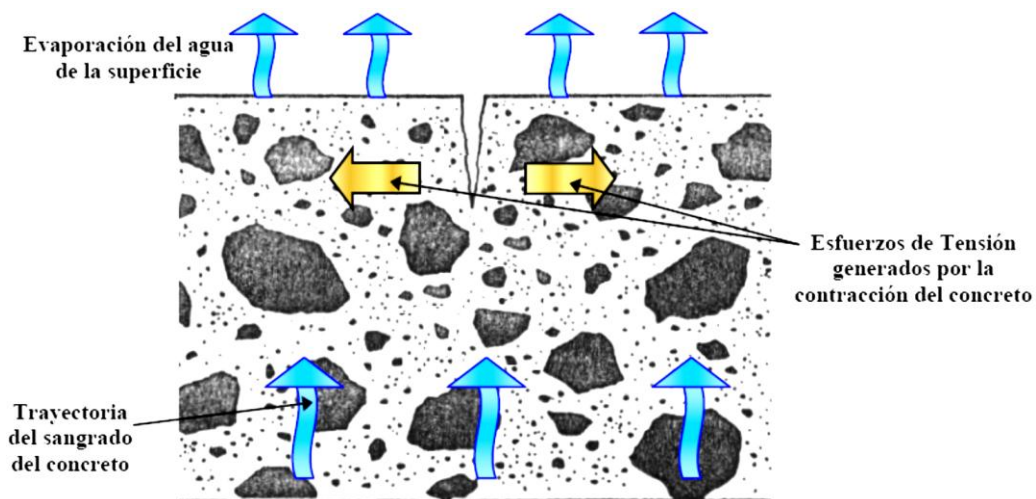


Figura 20. Fisuras por Contracción Plástica

³⁰ Fuente: Manual de Procesos Constructivos para Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico "Utilizando Concreto Hidráulico" Ing. Carlos Mauricio Bonilla Solís.

En la figura es posible observar un esquema de la evaporación del agua de la superficie, trayectoria del sangrado del concreto y esfuerzos de tensión generados por la contracción del concreto cuando presenta contracción plástica.

Las grietas aparecen generalmente cuando la evaporación es mayor que el sangrado. Las fisuras por contracción plástica se originan debido a la diferencia del cambio de volumen en el concreto plástico. Un control adecuado requiere de una reducción en el cambio de volumen relativo entre la masa superficial y otras porciones del concreto.

Temperatura elevada del aire, humedad relativa baja, vientos fuertes y temperatura elevada del concreto, solas o de manera colectiva, incrementan la evaporación del agua en la superficie y aumentan la posibilidad de agrietamiento por contracción plástica.

No hay manera de predecir con certeza cuándo van a ocurrir grietas por contracción plástica. Sin embargo, la literatura técnica indica que es posible que se presenten agrietamientos si la tasa de evaporación excede $0.5 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$.

La longitud de las grietas varía de unos cuantos centímetros hasta aproximadamente un metro; éstas grietas pueden ser paralelas entre sí y normalmente se encuentran espaciadas siguiendo un patrón irregular desde 2 centímetros hasta 60 centímetros de distancia.

La formación de las fisuras por contracción plástica empieza en la superficie, generalmente son grietas poco profundas (2 a 8 cm) pero pueden alcanzar todo el espesor del elemento, principalmente en losas.



Fotografía 8. Fisuras por Contracción Plástico

La figura muestra una losa de hormigón en pavimento, donde las grietas aparecen en el concreto, generalmente porque la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de apareamiento del sangrado del concreto.³¹

2.4.2.5.3. Otros Tipos de Fisuras

a) Fisura Transversal o Diagonal.- Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos.

Son causadas.- Por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud/ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas.

La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud/ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.

³¹ Fuente: *Manual de Procesos Constructivos para Pavimentos de Baja Intensidad de Trafico "Utilizando Concreto Hidraulico"* Ing. Carlos Mauricio Bonilla Solíz.



Fotografía 9. Fisuras por Transversales y Diagonales

b) Fisura Longitudinal.- Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.

Son causadas.- Por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales.

Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho/longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.



Fotografía 10. Fisuras Longitudinales

c) Fisura de Esquina.- Es una fisura que intersecta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa.

Son causadas.- por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.



Fotografía 11. Fisuras de Esquina

d) Fisuras de Losas subdivididas.- Fracturamiento de la losa de concreto conformando una malla amplia, combinando fisuras longitudinales, transversales y/o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos.

Posibles causas: Son originadas por la fatiga del concreto, provocadas por la repetición de elevadas cargas de tránsito y/o deficiente soporte de la fundación, que se traducen en una capacidad de soporte deficiente de la losa.



Fotografía 12. Fisuras de Losas Subdivididas

e) Fisuras en Bloque.- Fracturamiento que subdividen generalmente una porción de la losa en planos o bloque pequeños de área inferior a 1 metro cuadrado.

Son causadas.- Por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y el continuo deflexionar de los planos aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el despostillamiento de sus bordes.

De no tomarse medidas correctivas el deterioro progresa formando a corto plazo un bache. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.



Fotografía 13. Fisuras en Bloque

f) Fisuras Inducidas.- Se incluyen bajo esta denominación un conjunto de fisuras de forma errática cuyo desarrollo en el pavimento es indicado por factores relativos a una inadecuada distribución de juntas o inapropiada inserción de estructuras u otros elementos dentro de las losas.

Posibles causas: Cuando el arreglo de juntas en un carril no es respetado en el carril contiguo, es muy probable que induzcan o reflejen en éste, fisuras que den continuidad a las juntas existentes. Esta situación se presenta también con frecuencia cuando se ejecutan parchados y el diseño de sus bordes o juntas, sus dimensionamientos o inclusive distancias mínimas o juntas existentes, no son respetados; eventualmente este fisuramiento puede continuar subdividiendo los planos resultantes identificándose este caso particularmente como "Fisuras en Bloques".



Fotografía 14. Fisuras Inducidas

g) Fisuras capilares.- Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto. Por fisuras capilares se refiere a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a intersectarse en ángulos de 120°.

Posibles causas: Las fisuras capilares generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y

agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la retracción.

Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascaramiento de la superficie, posibilitando un desconchado que progresa tanto en profundidad como en área. También pueden observarse manifestaciones de descascaramiento en pavimentos de concreto armado, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie.



Fotografía 15. Fisuras en Capilares

h) Fisuras por mal funcionamiento de juntas.- Fisuras sinuosas aproximadamente paralelas a la junta, en algunos casos transversalmente y en forma de arcos erráticos, localizados muy próximas a las mismas.

Posibles causas: La falta de verticalidad y la inadecuada inserción de los elementos empleados para inducir el corte de la junta, cortes poco profundos, excesiva perturbación durante la ejecución de las juntas son algunas causas frecuentes que provocan una fisura paralela muy próxima a las mismas (doble junta).

Típicamente, la colocación de barras pasadores mal alineados, el empleo de barras de insuficiente diámetro y/o longitud, o bien la corrosión de éstas, impiden el

movimiento normal de las juntas, provocando fisuras próximas a la junta transversal, a una distancia de 0.20 a 0.40 metros.³²



Fotografía 16. Fisuras por Mal Funcionamiento de Juntas

2.4.3. Consecuencias de fallas en pavimentos rígidos

Las consecuencias o problemas que traen las fallas en pavimentos rígidos afectan de manera que genera malestar en la sociedad, principalmente las fallas mostradas anteriormente.

A continuación detallaremos cuales son los efectos que cada una de estas fallas tiene en el funcionamiento del sistema vial.

➤ Baja Velocidad Operativa

Este es el principal problema puesto que trae consigo una cadena de dependencias que se muestran en las fallas mostradas anteriormente.

La baja velocidad de las unidades perjudica no solo a la empresa de transporte sino también al usuario, así como al medio ambiente.

³² Fuente: Deterioro de pavimentos rígidos “Metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones” Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann.

A la empresa de transporte le afecta en todo lo referente al tiempo de llegada de los vehículos a sus paraderos que por muchos motivos no llegan a la hora destinada y sus medias vueltas se reducen al máximo.

También le afecta por cuanto cuando uno acelera y desacelera constantemente para bajar y/o subir la velocidad el consumo de combustible aumenta y los costos operativos aumentan enormemente.

También se perjudica el chofer que le pagan según el dinero recaudado por media vuelta.

El usuario se perjudica por la comodidad y su horario de trabajo, puesto que podrían perder el empleo sino llegan a su hora de ingreso.

Lo que se refiere al medio ambiente esta relacionado con el quemado de aceite de las unidades deterioradas que contaminan el ambiente y pueden causar enfermedades.

También lo que se refiere a la empresa, el deterioro de sus unidades crece desmesuradamente y su servicio se vuelve menos atractivo.

➤ **Consumo de Llantas**

El consumo de llantas sube muchísimo cuando se tienen deterioradas las pistas, están disminuyen en un 60% su vida útil, la cual es necesaria sea larga para tener menos gastos en corto tiempo.

➤ **Estética de las Ciudades**

Como todos sabemos la estética de la infraestructura de una ciudad es muy importante para su desarrollo, puesto que esta atrae mucho el turismo y la inversión extranjera.

Que turista va querer ir a conocer una ciudad donde el 80% de infraestructura vial esta deteriorada; a su vez un inversionista extranjero tampoco le convendría invertir

en dicha ciudad donde las pistas deterioradas pueden afectar de sobremanera en su inversión.³³

2.5. INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS EN LA FISURACION

La reparación o sustitución de pavimentos deteriorados compatible con el mantenimiento del flujo de tránsito ha sido un desafío para los responsables de aeropuertos, rutas y vías urbanas en servicio. Los métodos usuales para la ejecución de estos trabajos ya no son aceptables en función del gran volumen de tránsito de estas obras y sus consecuencias socio económicas negativas, provocadas por paralizaciones parciales durante períodos de tiempo prolongados para su ejecución. Para vencer este desafío es imprescindible el empleo de hormigones de alto desempeño que ofrezcan una alta resistencia a edad temprana. Generalmente se utilizan relaciones agua/cemento bajas, lo que conduce necesariamente a la utilización de aditivos súper plastificantes.

Una de las etapas más importantes en el diseño de hormigones de alto desempeño está determinada por la elección de la mejor combinación de cemento y aditivo que permita una gran reducción de agua sin afectar la trabajabilidad y el comportamiento reológico, posibilitando realizar las tareas de compactación y terminación sin provocar efectos colaterales negativos como demoras en el fraguado, segregación, etc.³⁴

El uso de aditivos en hormigones de pavimentos rígidos, permite el mejoramiento en las propiedades ya sea en su estado fresco o endurecido. Puede decirse que el uso de estos aditivos responde a alguno de los siguientes requerimientos:

- 1) Aumento de la resistencia y disminución de la porosidad reduciendo el contenido de agua y manteniendo el contenido de cemento, con menor relación agua/cemento (a/c) respecto de la mezcla sin aditivo.

³³ Fuente: “ Propuesta de Gestión de Pavimentos” Universidad de Piura

³⁴ Fuente: “Estudio del Comportamiento de Aditivos” Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata.

- 2) Aumento de la fluidez de la mezcla y de su trabajabilidad, manteniendo el contenido de agua y de cemento, con la misma relación a/c.
- 3) Disminución del costo relativo de la mezcla, disminuyendo el contenido de agua y de cemento, con la misma relación a/c.
- 4) El caso particular del uso de hormigones en pavimentos de rápida habilitación al tránsito implica la necesidad de la fabricación de un hormigón con altas resistencias tempranas. Una resistencia de 20 Mpa a la edad de 24 hrs. es aceptable en la mayoría de los pliegos para la liberación de la vía al tránsito. Entre los requerimientos anteriormente citados para el uso de los aditivos, el que nos compete en este caso es el del aumento de la resistencia, considerando que el hormigón de alto desempeño se obtiene utilizando un cemento cuya hidratación no es acelerada, sino normal.

Los aditivos súper plastificantes pueden clasificarse según la forma en que actúan, pudiendo presentar una acción electroquímica o una acción estérica. Los primeros manifiestan un comportamiento menos trascendente que los segundos, que producen un mayor espesor de la capa dispersante entre las partículas de cemento.

La dosis de aditivo se expresa como la relación en peso del aditivo (su residuo sólido sometido a secado normalizado con respecto al peso del cemento (sp/c). Esta determinación es importante porque el comportamiento del sistema depende de la dosis usada. Muchas veces ni siquiera se mantiene superada una dosis mínima, sino que presenta un punto de saturación por debajo o por encima del cual el comportamiento es deficiente. Como punto de saturación se entiende la relación sp/c mínima con la cual se consigue la máxima fluidez del sistema. Para dosis superiores al punto de saturación puede suceder que la fluidez se mantenga o incluso disminuya. Por esto se considera al punto de saturación como la dosis óptima a utilizar, buscando la máxima efectividad del aditivo con el cemento usado y la menor cantidad de aditivo a utilizar en la mezcla.

Para la determinación de la dosis óptima, y de la compatibilidad cemento-aditivo, se ha aceptado mayormente el uso del Cono de Marsh, ensayo que determina rápidamente y con suficiente fidelidad la viscosidad de una pasta o mortero.

Otro factor importante a tener en cuenta es la distribución del esqueleto granulométrico del hormigón (agregados pétreos), pudiéndose lograr una mayor resistencia para curvas granulométricas con mínimo contenido de vacíos. Este factor puede optimizarse independientemente de la pasta, pero afectará la composición y volumen de la misma.

Los aditivos son sustancias que se pueden agregar al concreto con el fin de modificar algunas de sus propiedades, o para inducirle algunas características adicionales: trabajabilidad, reducción del agua de mezclado, incorporación de aire, modificación de los tiempos de fraguado, proporcionar diferentes grados de impermeabilidad.

No obstante que en prácticamente en todos los concretos es posible utilizar aditivos, existen tres criterios básicos que deberán tomarse en cuenta:

- La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo buscado sin alterar su proporcionamiento básico.
- Su empleo estará justificado desde el punto de vista económico.
- Se investigará que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo³⁵

2.6. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

A continuación se tratarán en forma breve los procesos de construcción de la Sub-Base y la Losa de Concreto.

³⁵ Fuente: "Estudio del Comportamiento de Aditivos" Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata.

Trabajos preliminares.

En los trabajos previos a la formación de la capa subrasante de cualquier obra vial, se realiza la limpieza, despalme, trazo y nivelación; en nuestro proyecto particular se nos facilita bastante llevar a cabo los conceptos de limpieza, despalme, trazo y nivelación; Con motoconformadora se retira la basura y material orgánico en toda la longitud y ancho de la avenida, después la brigada de topografía fija, los bancos de nivel y hace el trazo horizontal mediante la colocación de trompos o estacas de madera que determina el eje del proyecto.

Para la construcción de la capa subrasante se fijan niveles en el tramo a construir en cada jornada de trabajo que normalmente es de 100 m. de longitud por 12.00 m. de ancho de cada cuerpo del bulevar; generando un área aproximada de 1,200 m².

Posteriormente se hace el cajón en las terracerías con motoconformadora cortando, rellenando o compensando según sea el caso, hasta llegar al nivel de desplante de la subrasante como se ilustra en la siguiente figura:

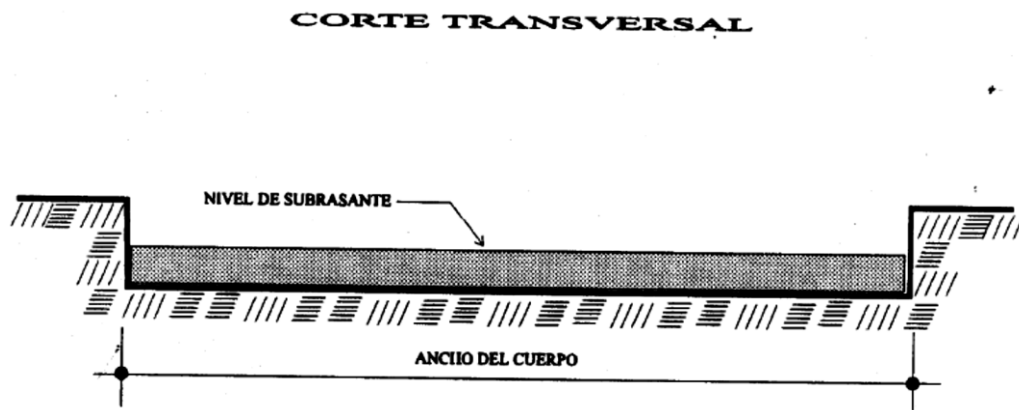


Figura 21. Esquema del Corte Transversal de la Subrasante

Seguidamente la motoconformadora acamellona el material correspondiente al espesor de la capa subrasante, extendiéndolo para después aplicarle la humedad mediante riegos de agua con pipa y de ésta manera obtener una humedad cercana a la

óptima, con un $\pm 1\%$ por indicaciones dadas por el laboratorio de campo. Teniendo siempre presente que cuando se compactan materiales susceptibles a la expansión, se deberá incrementar la humedad de 1 a 2% de la humedad óptima.

Cuando se ha concluido ésta operación la motoconformadora homogeniza y extiende el material; una vez terminado, se procede a dar la compactación mediante el rodillo pata de cabra hasta alcanzar la compactación de proyecto, siendo ésta del 95% de su peso volumétrico seco máximo, con apoyo en las indicaciones del personal de laboratorio de campo.



Fotografía 17. Compactación de la Subrasante con Rodillo Pata de cabra

Cuando se ha concluido con la capa subrasante, en seguida se construye la capa de sub-base, la cuál se forma con una mezcla de dos de materiales: el primero es material grava-arena y el segundo es producto del terreno natural en proporción de 60-40% respectivamente. El material de banco se deposita sobre la subrasante terminada, se acamellona y descapota para recibir el porcentaje del terreno natural, posteriormente la motoconformadora lo homogeniza, se aplica la humedad con valores cercanos a la óptima con $\pm 1\%$, se procede al tendido y compactado con

rodillo liso hasta alcanzar el grado de compactación especificado del 100% de su peso volumétrico seco máximo.³⁶

SUB-BASE:

Tipo granular: Es muy importante que se le de a la sub-base, una excelente conformación y acabado, porque de esto dependerá el funcionamiento de la losa de concreto y sobre todo la economía en su construcción.

La sub-base debe llevar una pendiente (bombeo) según la especificada en el proyecto de que se trate, la cual mantendrá la losa para conservar un espesor constante.

Las irregularidades que tenga la sub-base no deben ser mayores a 1 cm., la compactación se logra empleando el agua óptima y medios mecánicos para obtener cuando menos el 95% de compactación.

Tratada con cemento: La sub-base tratada con cemento, está formada por un suelo estabilizado con cemento Portland, comúnmente llamado: "suelo cemento".

Definición Suelo cemento es la mezcla íntima de cantidades determinadas, de suelo debidamente pulverizado, cemento Portland y agua.

Esta mezcla se somete a una compactación vigorosa, para que con la edad se produzca un material sólido resistente y durable. Actualmente este tipo de sub-base tiene más aplicación, debido a las características que presenta, de donde a continuación se hablará del procedimiento de construcción de esta sub-base

La construcción de las sub-bases tratadas con cemento sigue el siguiente orden:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| a) Pulverización del suelo. | b) Dosificación y mezclado del cemento. |
| c) Dosificación y mezclado del agua. | d) Tendido y conformación de la mezcla. |
| e) Compactación. | f) Acabados superficiales. |
| g) Curado. | |

³⁶ Fuente: Capítulo 5 "Procedimientos Constructivos"

El primer pase es necesario para que se pueda incorporar al cemento en forma íntima. En cuanto a la segunda, depende si el mezclado se realiza en el lugar o en planta; en caso de que sea el primer caso, el suelo se tiende y se conforma en estado suelto para recibir al cemento que se dosifica superficialmente, y después por medio de alguna máquina especial, se incorpora.

Tratándose del segundo caso, el procedimiento se lleva desde el primer paso es decir, una vez que se haga la pulverización del suelo, este se lleva directamente al paso número tres.

Una vez hecha la mezcla, esta se transporta hasta el lugar de la obra, en donde se tiende y se le da la geometría superficial que aproximadamente tendrá la sub-base.

La compactación se hace con el equipo adecuado hasta lograr una compactación del 95%. En este punto no debe haber retrasos, ya que podría llegar el momento de que el material no se pudiera compactar según las especificaciones.

En cuanto al acabado superficial, este es el mismo que se sigue para las sub-bases de tipo granular.³⁷



Fotografía 18. Acabado y Compactado de la Capa Subrasante

³⁷ Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruíz

Losa de Concreto.

Una vez que se han concluido las etapas de construcción de la sub-base, se procede al colado de las losas de concreto, las cuales deben cumplir con ciertas propiedades mínimas de resistencia en base a una adecuada selección de materiales que componen la dosificación de la mezcla.

El principal cuidado que debe tenerse al ejecutar la colocación es evitar la segregación de la mezcla, la magnitud de éste efecto depende del método de manejo y colado del concreto, teniéndose que si una mezcla cae libremente de una altura mayor de 1 m pasa por canalones con pendiente y cambio de dirección fuertes o experimenta un continuo traspaleo, se tendrá un importante efecto de segregación en la mezcla. Para que se efectúe una correcta colocación del concreto, la descarga a la superficie deberá ser lo más directa y cercana posible. La operación del extendido está estrechamente ligada a las operaciones de colocación, compactación y enrasado. Se lleva a cabo con máquina extendedora o bien manualmente, cuando se utiliza el último de los métodos, la cuadrilla de coladores deberá llevar a cabo el acomodo del material en la menor cantidad de movimiento y tiempo posible, éste proceso deberá tener una continuidad tal que evite la formación de juntas frías del colado, buscando en todo momento que la consistencia del concreto sea lo más uniforme posible.

La superficie de las losas se debe verificar cuando el concreto llega a la etapa de fraguado inicial, mediante el empleo de una regla de 3 m que se coloca sobre el pavimento, corrigiendo de inmediato las depresiones o protuberancias que de permanecer pasarían a ser zonas de impacto con la consecuente reducción en la vida útil de la estructura. En los casos en que se rellenen depresiones, se debe cuidar que el concreto añadido se integre al colado.

Dentro del proceso constructivo para el colado de las losas de concreto hidráulico, se tiene lo siguiente:

Primeramente se suministra el concreto para proceder con su colocación, una vez que la supervisión lo haya autorizado, verificando que se den las condiciones adecuadas como cimbra correctamente instalada, que el equipo de trabajo tanto mecánico como humano esté en óptimas condiciones de funcionamiento; los camiones revoladora depositan el concreto sobre la superficie de la sub-base, inmediatamente la masa de concreto es extendida quedando confinada lateralmente por las guarniciones y la cimbra, cuando el colado haya avanzado un tramo determinado, se inicia el compactado mediante el vibrado con la regla vibratoria, conformando simultáneamente el plano de la superficie del pavimento, dicha regla funciona a base de aire comprimido. El avance de la regla se recomienda por experiencia de tal forma que produzca una película lechosa incipiente en la superficie que garantice darle un acabado adecuado.

Concluida la operación de la regla vibratoria, se procede con la operación del acabado de la losa, tomando como apoyo las guarniciones y cimbras laterales, el personal especializado provisto de flotas con mango largo le dan el acabado a la superficie desde los extremos que al enrasar se provoca intencionalmente la flotación de una cierta cantidad de mortero de la propia mezcla, para contar con suficiente material para el acabado final de la losa.



Fotografía 19. Operación de la Regla Niveladora

Cuando se le ha dado el acabado con flotas, se requiere una serie de operaciones adicionales para conseguir los niveles de funcionalidad para los que se diseñó el pavimento, Posteriormente otra cuadrilla de operarios provistos de paletas con mangos largos llamados aviones, utilizan un puente o pasarela rodante sobre la que actúan para no pisar el concreto fresco dándole el plano superficial, ésta operación le da a la superficie fresca del concreto un retoque final para quitar posibles imperfecciones localizadas en el pavimento.

La operación siguiente consiste en dar una textura superficial más adecuada al pavimento con objeto de que se permita una mejor adherencia a los vehículos a dicha superficie. Esta textura puede ser longitudinal o transversal, la textura fue longitudinal por el argumento de que éste tipo de textura produce menos ruido al paso de las llantas de los vehículos, da una mejor calidad a la rodadura. El procedimiento de texturizado final se ejecuta sobre el mismo puente descrito anteriormente y mediante cepillos con cerdas de plástico y mangos largos, se realiza la operación para darle a la superficie del concreto fresco la textura deseada, conforme se muestra en la siguiente fotografía:



Fotografía 20. Operación de la Texturizado Final Mediante Cepillos

Curado del concreto:

Previo a la construcción de las juntas, se realiza la operación del curado, la cuál tiene la finalidad de evitar la pérdida del agua de mezclado por evaporación superficial, que además de provocar fisuras por contracción, da lugar a una disminución de la resistencia del concreto, en especial en la parte superior del mismo. Para llevar a cabo ésta operación, se pulveriza la superficie del pavimento con un producto de gran poder de cubrimiento, se extiende una membrana impermeable o bien se mantiene húmeda la superficie por otros medios.

El primer procedimiento es el más adecuado siempre que se realice con los medios adecuados y utilizando un líquido de curado debidamente contrastado, éste consiste en pulverizar un producto de curado sobre la superficie del concreto después de haberle dado la textura y antes que comience a desecarse.³⁸

Es difícil darle al concreto un "curado óptimo " en el campo para que este desarrolle todas sus características con una mayor eficiencia; pero aun así se obtienen buenos resultados con procedimientos como:

1. Por medio de Membranas.

Cuando se termina de darle los acabados necesarios al concreto se le aplica una membrana o pintura en la superficie del concreto para impermeabilizarla y evitar pérdidas por evaporación o desecamiento, y darle un curado conveniente a la masa de concreto. De preferencia la pintura debe ser de color claro con el fin de reflejar los rayos del sol y evitar empyamientos.

2. Por Aspersión.

Se coloca sobre la superficie de concreto lela, arena o hierba; después a intervalos regulares se le da una aspersión de agua durante los primeros siete días.

³⁸ Fuente: Capítulo 5 "Procedimientos Constructivos"

Para obras muy grandes este procedimiento no es muy recomendable, ya que sería necesario contar con mucho material para cubrir la superficie; en obras pequeñas es magnífico este procedimiento. De estos dos métodos es el primero el que más se aplica, porque además de que su aplicación es fácil, no necesita de muchos cuidados después de su colocación³⁹

La dotación de estos productos, es a base de resinas, debe ser tal que no permita la evaporación del agua, las dosificaciones normales son del orden de 200 a 300 gr/m². Es importante para poder controlar visualmente la distribución del mismo y asegurarse de la uniformidad de la aplicación, que el líquido sea coloreado, por lo que normalmente lleva un pigmento blanco, llamado dióxido de titanio, que además de ampliar el tiempo de corte de las juntas en épocas calurosas (de 2 a 3 horas más), permite comprobar si la superficie está curada. La aplicación del producto se realiza por medio de aspersores, que permitan curar toda la superficie extendida, caras verticales, así como los cortes efectuados durante la construcción de las juntas.⁴⁰



Fotografía 21. Operación del Curado del Pavimento Rígido

³⁹ Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruíz

⁴⁰ Fuente: Capítulo 5 "Procedimientos Constructivos"

Juntas:

La última etapa en el proceso constructivo del pavimento de concreto es la construcción de juntas, éste aspecto debe tomarse con sumo cuidado y no escatimar en gasto de equipo y personal calificado, para obtener los resultados deseados y un comportamiento adecuado del pavimento al paso de los vehículos. Si no se toma en cuenta o se le da poca importancia a éste detalle, entonces el comportamiento del pavimento será inadecuado reflejándose en fallas estructurales y un alza en los costos de mantenimiento así como las quejas de los usuarios.

Con el desarrollo de las técnicas para construcción de juntas se pretende proporcionar:

- Comodidad al paso de los vehículos
- Durabilidad del refuerzo y de los materiales de sello, para hacerlos compatibles con la losa de concreto.
- Control de agrietamientos o fisuras.
- Estética a la superficie del pavimento.

La construcción de las juntas se lleva a cabo mediante equipo especializado, consistente en una cortadora mecánica portátil, llamada "soft-cut", provista con disco de diamante. Estas juntas son necesarias para que las fisuras, que naturalmente se producen en el concreto, tanto por contracción del concreto, por el efecto de fricción entre la losa y la sub-base, así como por el efecto combinado de las cargas del tráfico y los gradientes térmicos, aparezcan rectilíneas en la superficie del pavimento de concreto dándole una apariencia de estética y no fisuras irregulares, como ocurriría si se dejase al pavimento usurar espontáneamente, para ilustrar lo antes descrito se muestra la siguiente figura:

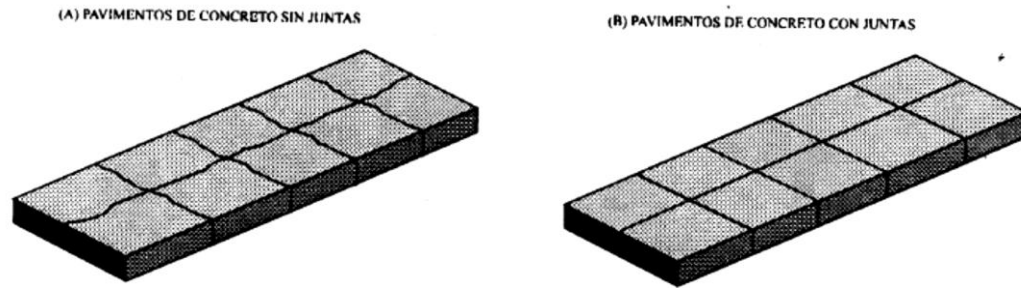


Figura 22. Procedimiento de Construcción de juntas

El procedimiento para llevar a cabo la etapa constructiva de las juntas, primeramente se efectúa el trazo sobre la superficie del pavimento, una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente para que el personal y equipo puedan transitar libremente sin provocar daño a la superficie del pavimento y evitar mediante esta operación la aparición de grietas por contracción del concreto durante el fraguado.

El diseño de tableros para las juntas es el que se muestra en la siguiente figura:

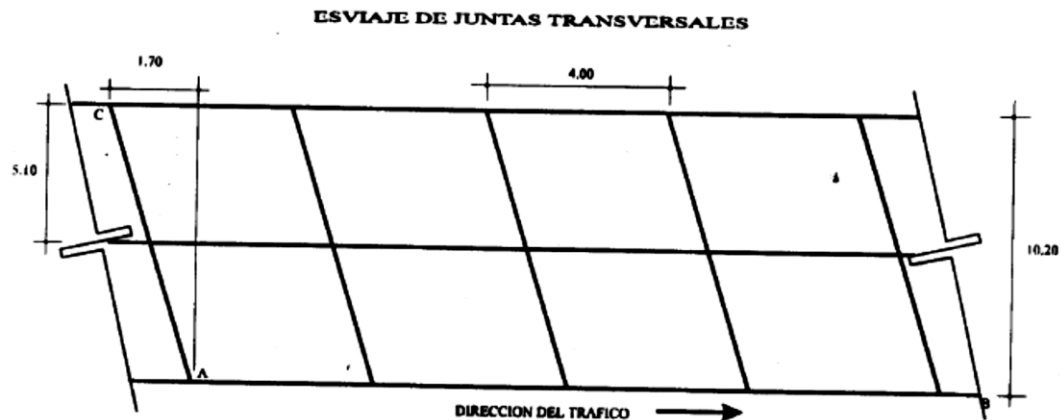


Figura 23. Esquema de Esviaje de Juntas Transversales

Como puede observarse en la figura anterior, las juntas transversales se diseñan de manera que formen un ángulo obtuso con respecto a la orilla exterior del pavimento (línea AB), a esta inclinación de juntas se le llama esviaje, y por especificación éste debe ser de $1/6$ del ancho de calzada de la vialidad y se construye con la siguiente finalidad:

- Los vehículos al circular pisan la junta antes con la rueda izquierda que con la derecha.
- Las cargas-ejes de los vehículos sobre una junta transversal son alternas, por lo consiguiente se reducen los esfuerzos y deflexiones en las losas de concreto, así como también se reduce potencialmente el fenómeno de bombeo; Lo antes descrito se ilustra en la siguiente figura:

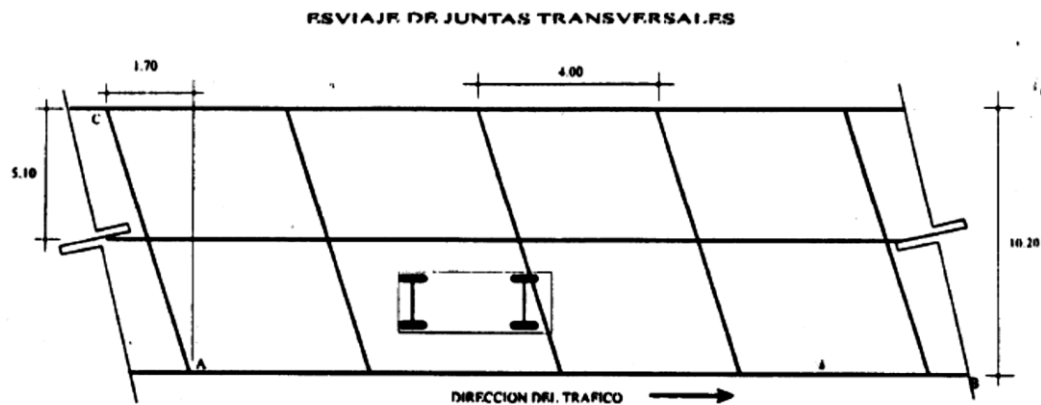


Figura 24. Esquema de Cargas de Vehículos Sobre una Junta Transversal

Una vez terminado el trazo del tablero de las juntas, se procede con la operación del serrotado de las juntas transversales y longitudinales. Por medio de éste se provocan las fisuras en la secuencia deseada, compatible con las características del concreto y de preferencia deben coincidir con las juntas de las guarniciones. Primeramente se realiza un corte inicial mediante el “soft-cut” cuyo disco produce una abertura de $\frac{1}{4}$ " aproximadamente, en tanto que la profundidad especificada es de 1", posteriormente se procede al serrotado definitivo mediante un disco de $\frac{3}{8}$ " de espesor, para finalmente concluir con el sellado correspondiente.⁴¹

Una vez limpia y seca la junta, se procederá a colocar una tirilla de respaldo que efectivamente impida permear al sellador al fondo de la ranura de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de poliuretano expandido. Posteriormente se procede a verter el sellador auto nivelante, cuidando que el nivel del sellador quede de 3 a 6 mm, abajo del nivel del perfil de la losa.

⁴¹ Fuente: Capítulo 5 “Procedimientos Constructivos”



Fotografía 22. Operación Sello de Juntas

Mantenimiento:

Aunque las experiencias demuestran que el mantenimiento de los pavimentos de concreto es inferior al de los pavimentos flexibles, muchas veces se sobrestima dicho mantenimiento, por lo cual el comportamiento es inferior al esperado porque no tiene la debida conservación.

La supervisión juega un papel muy Importante, ya que un pavimento puede tener un diseño excelente, pero si la construcción no se lleva a cabo en forma adecuada, pues es natural que el pavimento no responda a las necesidades para las cuales fue proyectado.

La supervisión deberá ser continua, esto es para que el pavimento este en buenas condiciones de funcionamiento durante su vida útil y con el menor costo posible.⁴²

⁴² Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz.

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN DE UTILIZACIÓN DE ADITIVOS PARA REDUCCIÓN DE FISURACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Los progresos científico - tecnológicos asociados con las construcciones del pavimento rígido muestran un avance significativo en los últimos años, con el desarrollo de nuevas tipologías de pavimentación. El desarrollo de nuevos aditivos, fibras de refuerzo y el creciente uso de adiciones que acompañan estos nuevos desarrollos permiten obtener nuevas alternativas, capaces de satisfacer los requisitos más ambiciosos.

Sin embargo, aún existen dificultades para mejorar las prácticas constructivas en condiciones reales de obra. Las condiciones de costo y desempeño de las estructuras de concreto pueden afectar negativamente a la calidad del producto final, con resultados que pueden conducir a un deterioro prematuro.

Las condiciones exteriores y la composición de hormigones influyen de manera directa en las características del concreto para cualquier etapa del mismo. Ello constituye una preocupación tanto para los fabricantes como para los usuarios de dichos hormigones por las evidentes consecuencias técnicas y económicas que se generan.

Es en este entendido es que buscamos indagar en el área vial, analizando uno de sus campos que son los pavimentos, adentrándonos en lo que es el tema de la influencia de los aditivos en la fisuración de las losas de pavimento rígido, se busca resolver inquietudes a través de pruebas de laboratorio que sostengan la idea que se desarrolla con esta investigación.

El uso de aditivos reductores de agua de alto rango en hormigones, conocidos comúnmente como superfluidificante, permite el mejoramiento en las propiedades ya

sea en su estado fresco o endurecido. Puede decirse que el uso de estos aditivos responde a alguno de los siguientes requerimientos:

- 1) Aumento de la resistencia y disminución de la porosidad reduciendo el contenido de agua y manteniendo el contenido de cemento, con menor relación agua/cemento (a/c) respecto de la mezcla sin aditivo.
- 2) aumento de la fluidez de la mezcla y de su trabajabilidad, manteniendo el contenido de agua y de cemento, con la misma relación a/c.
- 3) disminución del costo relativo de la mezcla, disminuyendo el contenido de agua y de cemento, con la misma relación a/c.

El caso particular del uso de hormigones en pavimentos implica la necesidad de la fabricación de un hormigón con altas resistencias tempranas. Una resistencia de 20 Mpa a la edad de 24 hrs. es aceptable en la mayoría de los pliegos para la liberación de la vía al tránsito. Entre los requerimientos anteriormente citados para el uso de los aditivos, el que nos compete en este caso es el del aumento de la resistencia y minimizar la posibilidad de fisuración considerando que el hormigón de pavimento se obtiene utilizando un cemento cuya hidratación no es acelerada, sino normal.

Los aditivos súper plastificantes pueden clasificarse según la forma en que actúan, pudiendo presentar una acción electroquímica o una acción estérica.

Los primeros manifiestan un comportamiento menos trascendente que los segundos, que producen un mayor espesor de la capa dispersante entre las partículas de cemento. Los aditivos de acción electroquímica pueden estar basados en compuestos melamínicos, naftalénicos o ser híbridos entre estos dos. Los de acción estérica son copolímeros de cadenas largas. En este trabajo se utilizaron un aditivo del tipo melamínico - naftalénico y dos aditivos poliméricos.

La dosis de aditivo se expresa como la relación en peso del aditivo (su residuo sólido sometido a secado normalizado en estufa) con respecto al peso del cemento (sp/c). Esta determinación es importante porque el comportamiento del sistema depende de la dosis usada. Muchas veces ni siquiera se mantiene superada una dosis mínima, sino

que presenta un punto de saturación por debajo o por encima del cual el comportamiento es deficiente. Como punto de saturación se entiende la relación sp/c mínima con la cual se consigue la máxima fluidez del sistema. Para dosis superiores al punto de saturación puede suceder que la fluidez se mantenga o incluso disminuya. Por esto se considera al punto de saturación como la dosis óptima a utilizar, buscando la máxima efectividad del aditivo con el cemento usado y la menor cantidad de aditivo a utilizar en la mezcla.

Aun cuando los fabricantes poseen cartillas con dosis recomendadas, estas no producen el mismo efecto en distintos tipos de cemento. Además existe la posibilidad de que la acción del aditivo no sea efectiva con ciertos ligantes particulares, determinándose una incompatibilidad entre el cemento y el aditivo.

Para la determinación de la dosis óptima, y de la compatibilidad cemento aditivo, se ha aceptado mayormente el uso del Cono de Marsh, ensayo que determina rápidamente y con suficiente fidelidad la viscosidad de una pasta o mortero.

Otro factor importante a tener en cuenta es la distribución del esqueleto granulométrico del hormigón (agregados pétreos), pudiéndose lograr una mayor resistencia para curvas granulométricas con mínimo contenido de vacíos. Este factor puede optimizarse independientemente de la pasta, pero afectará la composición y volumen de la misma, y a su vez deberá ser corregida al momento de realizar un pastón de prueba. Para unas determinadas trabajabilidad y resistencia de diseño, la distribución de agregados más cerrada permitirá utilizar un menor volumen de pasta en comparación con otra distribución granulométrica más abierta. Esto debe tenerse en cuenta con el objeto de reducir los contenidos unitarios de cemento y cantidad de aditivo.

Por otro lado, la operación está limitada por la trabajabilidad, que se ve perjudicada debido a la mayor trabazón que presenta un hormigón al disminuir el volumen de la pasta.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES



AGUA



CEMENTO



GRAVA



ARENA

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA

Se entiende por “árido fino”, el árido o fracción del mismo que pasa por el tamiz de 5 mm de malla. La arena será limpia, de buena calidad y sin materiales extraños como pizarras, arcilla, barros, hojas, yesos u otras materias deletéreas. El módulo de fineza debe estar comprendido entre 2.50 y 3.00

La arena deberá cumplir con el siguiente cuadro de granulometría:

Tamiz	% que pasa	% que pasa
Nº	Mínimo	Máximo
100	3	7
50	5	26
30	30	62
16	55	85
8	75	95
4	95	100

Tabla 7. Tamaño de los la agregados según norma CBH 87

En cuanto a la granulometría y demás pruebas de laboratorio que se realizó para la arena, se realizaron de modo consecutivo y siguiendo las guías técnicas ya establecidas según las normas vigentes en este caso se trabajó con la ASTM

3.2.1.1. Granulometría de la Arena

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

3.2.1.1.1. Desarrollo de la Práctica

En primer lugar la muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.



Fotografía 23. Cuarteo de Arena para Granulometría

Se usa los tamices para disponer la parte fina de material son: 3/8", N° 4", N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 50, N° 100, N° 200.

Mi muestra fue de 965 gr. que tamizamos de forma mecánica y manual por el periodo de 15 min, para luego depositar la muestra de material retenido en las mallas de cada tamiz y la base en bandejas para poder pesar y anotar los resultados para realizar los cálculos de la práctica.



Fotografía 24. Base de los Tamices



Fotografía 25. Tamizado del Material

3.2.1.1.2. Resultados Obtenidos

Procedencia: Tomatitas.

Muestra: Arena – Muestra Única.

Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:

Peso Total (gr.)						965	
Tamices	tamaño	Peso Retenido.	Retenido. Acumulado	% Retenido	% que pasa del total	Especificación	
	(mm)					ASTM C-33	
3/8"	9.52	0	0	0	100	100	100
Nº4	4.75	0	0	0	100	95	100
Nº8	2.38	40.4	40.4	4.19	95.81	80	100
Nº16	1.19	266.1	306.5	31.76	68.24	50	80
Nº30	0.59	237.4	543.9	56.36	43.64	25	100
Nº50	0.297	208.7	752.6	77.99	22.01	10	30
Nº100	0.149	136.8	889.4	92.17	7.83	2	10
Nº200	0.075	62.5	951.9	98.64	1.36	0	5
BASE	-	12.3	1098,60	99,98	0,0	-	-
SUMA		964.2					
PÉRDIDAS		0.80					
MF		2.62					
TAMAÑO MÁX.		4					

Tabla 8. Granulometría del Agregado Fino - Arena

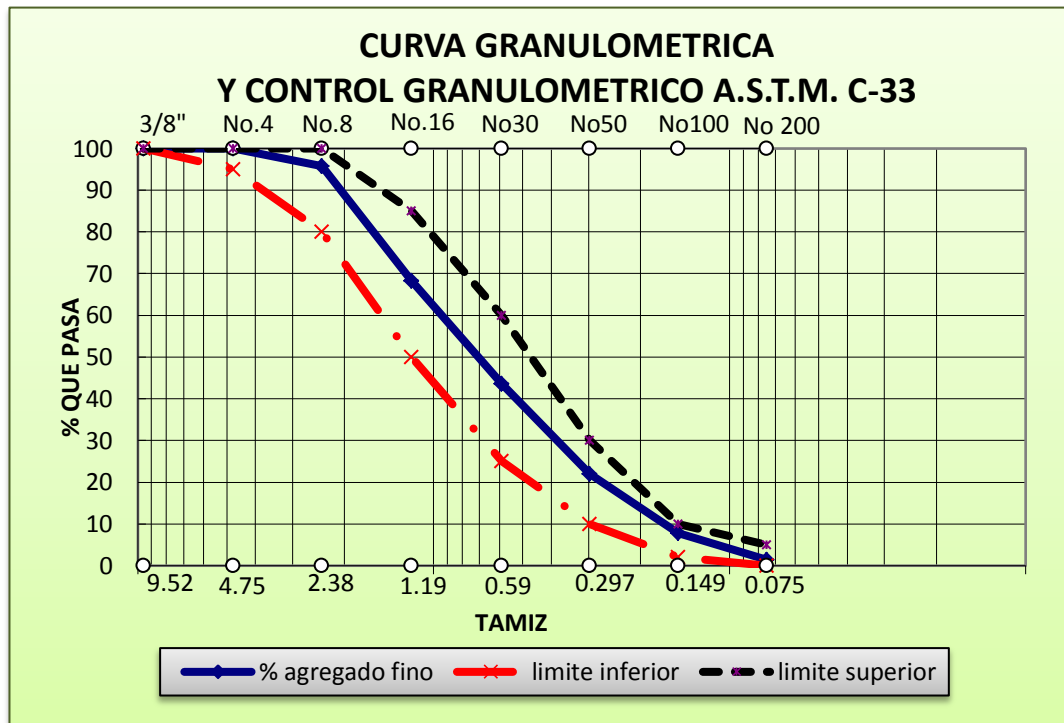


Tabla 9. Curva Granulométrica del Agregado Fino - Arena

HUMEDAD		ABSORCION	
DATO	gr	DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	1000	Peso Muestra Húmeda (SSS)	500
Peso Muestra seca	981.2	Peso Muestra seca	487.9
Peso Agua	18.8	Peso Agua	12.1
% de Humedad	1,9	% de Absorción	2.42

Tabla 10. Porcentajes de Humedad y Absorción

3.2.1.2. Peso Específico de la Arena

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por el periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

Se trabajara con una muestra de 500 gr, que puede ser obtenida por cuarteo luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

3.2.1.2.1. Desarrollo de la Práctica

Sacamos muestra en un recipiente y se seca de manera uniforme.



Fotografía 26. Secado de la Arena

Para inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca el molde cónico, y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía humedad en la superficie, conservara la forma cónica y si por el contrario la humedad ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se retire el cono.

Se coloca 500gr. de muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y pesamos el matraz lleno. Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno a una temperatura constante de (105 °C) y se pesara.



Fotografía 27. Molde Cónico con Arena



Fotografía 28. Matraz con Arena Sumergida en Agua

3.2.1.2.2. Resultados Obtenidos

Procedencia: Tomatitas.

Muestra: Arena – Muestra Única.

MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA A + MATRÁZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRANEL (gr/cm ³)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	P. E. APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
1	500	198.8	1004.1	305.30	486.80	500.00	2.50	2.57	2.68	2.64
1	500	198.8	1007.8	309.00	487.70	500.00	2.55	2.62	2.73	2.46
1	500	198.8	1010.8	312.00	489.20	500.00	2.60	2.66	2.76	2.16
PROMEDIO							2.55	2.62	2.72	2.42

Tabla 11. Pesos Específicos de la Arena

3.2.1.3. Peso Unitario de la Arena

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

Los moldes con los que se trabajara, deben estar calibrados con exactitud, el volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura 16,7 °C.

3.2.1.3.1. Desarrollo de la Práctica

Tomamos una cantidad apropiada de agregado fino (arena) la cual fue obtenida mediante cuarteo, tomamos un molde cilíndrico y lo pesamos en la balanza.



Fotografía 29. Molde Cilíndrico de 3Litros de Volumen

Realizamos el ensayo de agregado fino sin compactar, introduciendo la arena dentro del molde cuidadosamente excediendo la parte superior del molde y con la barra de hierro se desecha el exceso de agregado dejando la arena al ras de la superficie del molde. Llevamos el molde con la muestra a la balanza y lo pesamos tratando de ser lo más preciso posible.

Luego pasamos al proceso de compactado para eliminar los vacíos, donde llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego enrasamos la superficie de la arena y llevamos la muestra con el molde después de realizado el compactado a una balanza para pesar cuánto vale cuando esta compactado. Este procedimiento lo realizamos 3 veces para obtener un valor promedio.



Fotografía 30. Molde Cilíndrico con Muestra de Arena Suelta



Fotografía 31. Molde Cilíndrico con Muestra de Arena Compactado

3.2.1.3.2. Resultados Obtenidos

Procedencia: Tomatitas.

Muestra: Arena – Muestra Única.

Peso Unitario Suelto:

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1	2680	3000	7621.9	4941.9	1.647
2	2680	3000	7665.4	4985.4	1.662
3	2680	3000	7616.3	4936.3	1.645
PROMEDIO					1.652

Tabla 12. Peso Unitario Suelto de la Arena

Peso Unitario Compacto:

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA APISIONADA (gr)	PESO MUESTRA APISIONADA (gr)	PESO UNITARIO APISIONADO (gr/cm ³)
1	2680	3000	7780.8	5100.8	1.700
2	2680	3000	7947.2	5267.2	1.756
3	2680	3000	7935.8	5255.8	1.752
PROMEDIO					1.736

Tabla 13. Peso Unitario Compactado de la Arena

3.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVA

El agregado grueso o grava, estará formado por canto rodado o canto rodado triturado; deberá ser muy limpia. Sin la presencia de limo recubriendo su superficie y/o que contenga material pétreo descompuesto. Las partículas individuales de grava serán sólidas y resistentes de un peso específico igual o mayor a 2.600 Kg/M³, evitando el uso de formas laminares.

El tamaño de la grava deberá tener una buena graduación desde el tamaño máximo especificado, hasta el tamiz N° 4 donde deberá quedar retenido el 100%.

Tamiz N°	% que pasa Mínimo	% que pasa Máximo
2½"	100	100
2"	95	100
1½"	-	-
1"	35	100
¾"	-	-
½"	10	30
3/8"	-	-
N° 4	3	5

Tabla 14. Especificaciones del Agregado Grueso Según CBH 87

3.2.2.1. Granulometría de la Grava

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

3.2.2.1.1. Desarrollo de la Práctica

La muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.



Fotografía 32. Cuarteador de Grava

Se usa los tamices para disponer la parte fina de material son: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4. Nuestra muestra fue de 15000 gr. que tamizamos de forma mecánica y manual por el periodo de 15 min, para luego depositar la muestra de material retenido en las mallas de cada tamiz y la base en bandejas para poder pesar y anotar los resultados para realizar los cálculos de la práctica.



Fotografía 33. Tamizado de la Mecánico



Fotografía 34. Retenido de los Tamices

3.2.2.1.2. Resultados Obtenidos

Procedencia: Tomatitas.

Muestra: Grava – Muestra Única.

Peso Total (gr.)						15000	
Tamices	Tamaño	Peso Retenido.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g	
			(gr)	(%)		Especificaciones. ASTM	
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2"	50,8	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-
1 1/2"	38,1	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
1"	25,4	697.90	697.90	4.65	95.35	-	-
3/4"	19,05	3883.4	4581.30	30.54	69.46	35	70
1/2"	12,7	5951.6	10532.90	70.22	29.78	-	-
3/8"	9,52	2613.9	13146.80	87.65	12.35	10	30
Nº4	4,75	1824.5	14971.30	99.81	0.19	0	5
BASE	0	27.4	14998.70	99.99	0.01	-	-
SUMA =		14998.70					
PÉRDIDAS =		1.30					
MF =		7.18					
TAMAÑO MAX =		1,00					

Tabla 15. Granulometría del Agregado Grueso

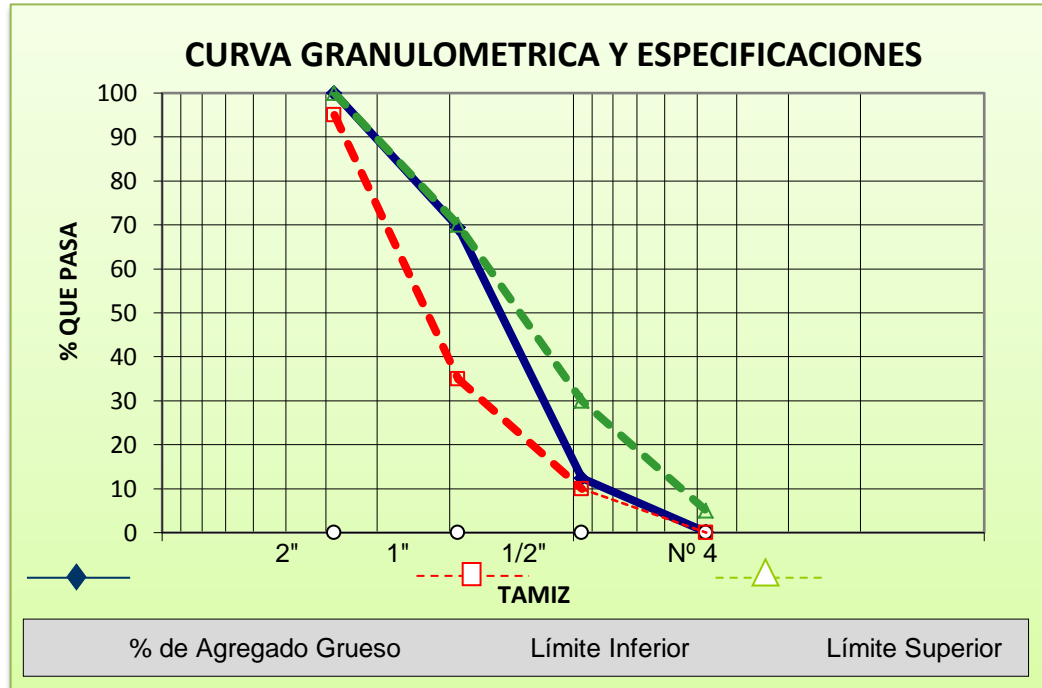


Tabla 16. Curva Granulométría del Agregado Grueso - Grava

HUMEDAD	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	5000
Peso Muestra seca	4896.2
Peso Agua	18.8
% de Humedad	2.1

ABSORCION	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda (SSS)	5000
Peso Muestra seca	4933.03
Peso Agua	67.50
% de Absorción	1.35

Tabla 17. Porcentajes de Humedad y Absorción

3.2.2.2. Peso Específico de la Grava

Es la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

3.2.2.2.1. Desarrollo de la Práctica

Se lava el material con el fin de remover el polvo o cualquier impureza luego se sumerge en agua la muestra por un periodo de 24 horas.



Fotografía 35. Muestra de Grava Sumergida

Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie, luego se obtiene el peso de la muestra con sus partículas saturada y nuevamente volvemos a sumergir la muestra después de ser pesada y determinar el peso de la muestra así sumergida, se seca la muestra en el horno a temperatura constante (105°) luego se dela enfriar y se pesa.



Fotografía 36. Secado de la Grava



Fotografía 37. Sumergido de la Muestra en Agua

3.2.2.2.2. Resultados Obtenidos

Procedencia: Tomatitas.

Muestra: Grava – Muestra Única.

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	PESO ESPECÍFICO	%
Nº	SECADA "A"	SATURADA CON	SATURADA DENTRO	A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE ABSORCIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm ³)	SUP. SECA	(gr/cm ³)	
		(gr)	(gr)		(gr/cm ³)		
1	4936.90	5000.00	2900.00	2.35	2.38	2.42	1.28
2	4929.70	5000.00	2958.00	2.41	2.45	2.50	1.43
3	4932.50	5000.00	2924.00	2.38	2.41	2.46	1.37
PROMEDIO				2.38	2.41	2.46	1.35

Tabla 18. Pesos Específicos de la Grava

3.2.2.3. Peso Unitario de la Grava

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente. Los moldes con los que se trabajara, deben estar calibrados con exactitud, el volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura 16,7 °C.

3.2.2.3.1. Desarrollo de la Práctica

Tomamos una cantidad apropiada de agregado grueso (grava) la cual fue obtenida mediante cuarteo, luego tomamos un molde cilíndrico y lo pesamos en la balanza.



Fotografía 38. Molde Cilíndrico de 10 Lts. de volumen

Realizamos el ensayo de agregado grueso sin compactar, introduciendo la arena dentro del molde cuidadosamente excediendo la parte superior del molde y con la barra de hierro se desecha el exceso de agregado dejando la arena al ras de la superficie del molde. Llevamos el molde con la muestra a la balanza y lo pesamos tratando de ser lo más preciso posible.

Luego pasamos al proceso de compactado para eliminar los vacíos, donde llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego enrasamos la superficie de la arena y llevamos la muestra con el molde después de realizado el compactado a una balanza para pesar cuánto vale cuando esta compactado. Este procedimiento lo realizamos 3 veces para obtener un valor promedio.



*Fotografía 39. Molde Cilíndrico con
Muestra de Grava Suelta*



*Fotografía 40. Molde Cilíndrico con
Muestra de Grava Compactada*

3.2.2.3.2. Resultados Obtenidos

Procedencia: Tomatitas.

Muestra: Grava – Muestra Única.

Peso Unitario Suelto:

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	5657.3	10000	20170	14512.7	1.451
2	5657.3	10000	20030	14,373	1.437
3	5657.3	10000	20010	14352.7	1.435
PROMEDIO					1.441

Tabla 19. Peso Unitario Suelto de la Grava

Peso Unitario Compactado:

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA APISIONADA (gr)	PESO MUESTRA APISIONADA (gr)	PESO UNITARIO APISIONADO (gr/cm3)
1	5657.3	10000	20740	15082.7	1.508
2	5657.3	10000	20470	14812.7	1.481
3	5657.3	10000	20865	15207.7	1.521
PROMEDIO					1.503

Tabla 20. Peso Unitario Compactad de la Grava

3.2.3. CARACTERIZACION DEL AGUA

El agua a utilizar en la preparación del hormigón y en todo otro trabajo relacionado con la ejecución del pavimento por norma deberá ser razonablemente limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio, calcio, sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estar asimismo exenta de arcilla, lodo y algas, esto para que este libre de sustancias perjudiciales para el hormigón, deberá ser preferentemente potable.

Normalmente el agua apta para la construcción debe cumplir una serie de parámetros así en la normativa está limitado el pH, el contenido en sulfatos, en ion cloro y los hidratos de carbono.

El agua a utilizar en obra para las mezclas se sugiere un pH entre 5.5 y 8.0 y que el contenido de sulfatos no sea superior a 1 g/lit.

3.2.4. CARACTERIZACION DEL CEMENTO

Cemento: Siempre y cuando no se indique lo contrario, se empleará cemento Portland disponible en el país (Clase I - ASTM).

Las muestras de hormigón preparadas con este cemento, serán convenientemente especificadas, fraguadas y almacenadas para su posterior ensayo. Con el objeto de conseguir información de la resistencia. Los ensayos del hormigón estarán en función a la clase de hormigón que se debe preparar y a la resistencia y características que se requiere, de igual manera para los agregados, agua y aditivos.

3.2.4.1. Peso Específico del Cemento

Este dato fue obtenido normas y parámetros obtenidos de:

- **Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas de Bolivia:**

El cemento se presenta en forma de polvo, su densidad ó peso específico es aproximadamente 3 g/cm³.

- **Por Normas ASTM 188-55 y AASTHO T-133:**

El peso específico relativo del cemento, oscila entre los rangos 2.95 y 3.15 g/cm³. Cuando el tipo de obra no justifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.15.

3.3.4.1.1. Resultados Obtenidos

Peso Especifico del Cemento	
PEC (gr/cm ³) =	3.15

Tabla 21. Peso Especifico del Cemento

3.3.4.2. Finura del Cemento

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. Según la norma ASTM, no exige que se clasifiquen los resultados, sino que se les da un valor informativo de aceptación o rechazo.

La relación que se utiliza para determinar el porcentaje de finura es la siguiente:

- SI el %F es menor al 5%, significa que este es un cemento Portland de endurecimiento rápido
- Si el %F es menor que el 10% es que es un cemento Portland para uso ordinario.

3.3.4.2.2. Resultados Obtenidos

DATOS DE LA FINURA DEL CEMENTO				
PARAMETRO	UNIDADES	OBSERVACIONES		
Pesos de la hoja (W_H)	g	3.1		
Peso de la muestra (W_M)	g	50	50	50
Peso retenido en Tamiz N°40 + Peso de la Hoja ($W_{N°40+H}$)	g	3.27	3.24	3.25
Peso retenido en Tamiz N°200 + Peso de la Hoja ($W_{N°200+H}$)	g	9.23	9.60	10.30
Peso retenido en la Base + Peso de la hoja (W_{B+H})	g	46.35	46.20	44.86

Tabla 22. Datos para la Finura del Cemento

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO					
PARAMETRO	UNID.	OBSERVACIONES			Promedio de la finura del Cemento
Peso retenido en Tamiz N°40 + Peso de la Hoja (WN°40)	g	0.17	0.14	0.15	13.53 %
Peso retenido en Tamiz N°200 + Peso de la Hoja (WN°200)	g	6.13	6.5	7.2	
Peso retenido en la Base + Peso de la hoja (Wb)	g	43.25	43.1	41.76	
Finura del Cemento (F)	%	12.6	13.28	14.7	

Tabla 23. Finura del Cemento

3.2.5. ADITIVOS

3.2.5.1. Elección de los Aditivos

Considerando el propósito para el cual se utiliza un aditivo debe existir algún criterio técnico en el que se base su elección, en el caso concreto de nuestra investigación el criterio de elección fue la siguiente.

“El aditivo para evitar fisuración debe ser un inclusor de aire que permita mayor densificación y mejor efecto de los vacíos y tener la capacidad de ser plastificante”, estas características las tienen los aditivos elegidos para la investigación de Sikamnet N-100 y Sika AER.

3.2.5.2. Aditivos Empleados para la Práctica

Para la realización de esta tesis se empleara dos tipos diferentes de aditivos como ser SIKAMENT® – N100 aditivo superplastificante reductor de agua de alto poder y SIKA – AER aditivo inclusor de aire – plastificante para concreto.

3.2.5.2.1. SIKAMENT® – N100

Aditivo superplastificante reductor de agua de alto poder.

Descripción:

- Aditivo líquido compuesto por resinas sintéticas.
- Superplastificante, reductor de agua de alto poder y economizador de cemento. No contiene cloruros.
- No es toxico ni inflamable.

Usos:

- **Como reductor de agua de alto poder:** Adicionándolo disuelto en la ultima porción del agua de amasado permite reducir, de acuerdo con la dosis usada, hasta un 30% del agua de la mezcla, consiguiéndose la misma manejabilidad inicial y obteniéndose un incremento considerable de las resistencias a todas las edades.

Ventajas:

Los beneficios del **Sikament[®] –N 100** en el concreto fresco como en endurecido.

Como reductor de agua:

- Aumenta la resistencia inicial del concreto.
- Incrementa la resistencia final del concreto en un 40% aproximadamente a los 28 días
- Reduce considerablemente la permeabilidad del concreto aumentando su durabilidad.
- Densifica el concreto y mejora su adherencia al acero de refuerzo.
- Reduce en alto grado la exudación y la retracción plástica.
- Gran economía en los diseños por la reducción del cemento alcanzable.

Dosificación:**Como reductor de agua de alto poder:**

De 1,0 al 2,0% del peso del cemento.

La dosis óptima debe determinarse mediante ensayos preliminares.

Modo de Empleo:**Como reductor de agua de alto poder:**

Adicionar la dosis escogida de **Sikament® – N 100** en la última porción de agua de amasado de la mezcla. Reducir agua y trabajar justo con la manejabilidad requerida. Al reducir agua a la mezcla pierde manejabilidad muy rápido. Colóquela y víbrela inmediatamente.



Fotografía 41. Aditivo SIKAMENT – N100

3.2.5.2.2. ADITIVO SIKA - AER

Aditivo inclusor de aire-plastificante para concreto.

Descripción:

Aditivo líquido inclusor de aire y plastificante para concreto. Incorpora una cantidad controlada de aire en el concreto a fin de mejorar sus propiedades. Cumple con la norma **ASTM C 260**.

Usos:

- Reducir la permeabilidad.
- Aumentar la durabilidad y resistencia a ambientes agresivos. (agua de mar, aguas o suelos sulfatados, etc.).

- Impedir la exudación del concreto y la correspondiente formación de capilares.
- Evitar la segregación del concreto durante el transporte.
- Mejorar la bombeabilidad de concretos con deficiencia de finos en la arena.
- Aumentar la manejabilidad de mezclas con agregados de trituración.

Ventajas:

- Controla la exudación de la mezcla.
- Hace el concreto más durable y resistente al medio ambiente agresivo.
- Es un excelente auxiliar en el bombeo de concreto.
- Mejora notablemente la apariencia y consistencia de mezclas ásperas.
- No afecta el tiempo de fraguado.

Modo de Empleo:

Agregue **Sika - Aer** en el último 10% del agua de mezcla durante la preparación del concreto.

Dosificación:

De 0,2 a 0,4 ml por kilo de cemento. El contenido de aire debe verificarse por medio de una olla para medir contenido de aire y la dosificación debe ajustarse según el resultado.



Fotografía 42. Aditivo SIKA - AER

3.2.6. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

El hormigón se preparará de acuerdo a las normas del Código Boliviano del Hormigón y cemento Portland o Puzzolánico, empleando agregados graduados.

La composición de la mezcla de hormigón será de manera que demuestre una buena consistencia plástica, de acuerdo a las exigencias del Código Boliviano del Hormigón Armado CBH-87.

Después del fraguado y endurecimiento, cumpla las exigencias de resistencia, durabilidad e impermeabilidad en las construcciones de hormigón. El contenido de agua de la mezcla de hormigón se determinará antes del inicio de los trabajos.

Resistencia mecánica de hormigón: La resistencia del hormigón para pavimentos rígidos, se mide por su resistencia a la flexión sobre la base de una propiedad llamada módulo de rotura, que se determina por medio de los ensayos de resistencia al flexo tracción del hormigón.

3.2.6.1. Dosificación Teórica

Dosificación ACI-211.1

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones de partida y la dosificación.

En esta investigación se tomo la dosificación ACI 211, dado que esta basada en la investigación experimental, se empieza por valores dados en tablas, al dosificar se da un porcentaje más por pérdidas, sus tablas son fáciles de manejar y entender, su procedimiento es rápido, confiable, en el tema de aditivos tiene los valores para adoptar, en conclusiones es buena, completa y en el tema de esta investigación se obtuvo buenos resultados llegando a sus resistencias adoptadas.

Determinación de la razón Agua/Cemento

Las Tablas 1 definen la razón agua/cemento en función de la resistencia media y especificada para el hormigón, respectivamente, en probetas cilíndricas.

Tabla # 1 Relación entre la razón Agua /cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211,1-Rev.85)			
Resistencia promedio a compresión a 28 días		Razón agua/cemento (en masa)	
Mpa	Kg/cm2	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
45	450	0,38	-
42	420	0,41	-
40	400	0,43	-
35	350	0,48	0,4
30	300	0,55	0,46
28	280	0,57	0,48
25	250	0,62	0,53
21	210	0,68	0,59
20	200	0,7	0,61
15	150	0,8	0,71
14	140	0,82	0,74

Tabla 24. Determinación de la Razón Agua / Cemento

Se escogió la resistencia a la compresión de 25 Mpa o 250 Kg/cm², debido a que este valor está entre los rangos establecidos por norma y que están dados por la ABC para pavimentos rígidos, estos rangos están entre 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² que son para pavimentos rígidos, ya que a mayor rango a estos son para de arte de mayor envergadura como puentes, etc. y menores a estos para estructuras de viviendas, en esta investigación se tomó un dato entre estos rangos establecidos para pavimentos rígidos.

Determinación de la fluidez

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia la Tabla 2. Esta Tabla define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales. Debe señalarse que esta definición es relativamente imprecisa, pues, por una parte, el rango señalado es bastante amplio y, por otra, la gama de elementos estructurales considerados es restringida y delimitada en forma poco precisa.

Tabla # 2 Asentamientos de cono recomendado para diferentes tipos de construcción (ACI 211,1-Rev.85)	
Tipo de construcción	Rango de asentamiento de cono (cm)
Fundaciones armadas y bases	2 – 8
Fundaciones y muros de sub-estructura simple	2 – 8
Vigas y muros armados	2 – 10
Columnas de edificios	2 – 10
Pavimentos y losas	2 – 8
Hormigón masivo	2 – 8

Tabla 25. Determinación del Tipo de Asentamiento

Determinación de la dosis de agua

Se emplea la Tabla # 3, que establece la cantidad de agua expresada en l/m³ de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo nominal determinados anteriormente.

Se debe distinguir el caso del empleo de aire incorporado, ya que éste permite una reducción de la dosis de agua por su efecto plastificador. Esta misma parte de la tabla puede emplearse en el caso de haber previsto el uso de un aditivo plastificador.

Tabla # 3 Requerimientos aproximados para dosis de agua (l/m³) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidades y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211,1-Rev.85)								
Trabajabilidad (cm)	Tamaño máximo nominal del árido (mm)							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad de aire atrapado aproximado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Cantidad de aire total promedio recomendada (%)								
Exposición suave	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición extrema	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Tabla 26. Determinación Aproximada para Dosis de Agua y Contenido de Aire

Determinación de la dosis de cemento

La dosis de cemento se determina en base al cociente entre la dosis de agua determinada y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Determinación de la dosis de grava

Se determina a partir de la Tabla # 4, en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo nominal.

Tabla # 4 Volumen aparente de árido grueso seco por metro cubico de hormigón (ACI 211,1-Rev.85)				
Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Volumen aparente seco compactado de árido grueso para distintos Módulos de finura de la arena.			
	2,4	2,6	2,8	3
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
40	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Tabla 27. Determinación de la Dosis de Grava

Determinación de la dosis de arena

Método Volumétrico:

Se determina partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena, A_f , está dada por:

$$A_f \left[\text{kg} / \text{m}^3 \right] = \gamma_f \left[1000 - \left(W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_g} + 10a \right) \right]$$

Que:

γ_f = densidad real sss o peso específico del árido fino (arena).

γ = peso específico del cemento

Ag = dosis de árido grueso o grava

a = dosis de aire (%)

γ_g = densidad real sss o peso específico del árido grueso (grava).

C = dosis de cemento (kg/m³)

W = dosis de agua (kg/m³)

3.2.6.2. Ajuste de la Dosificación

DOSIFICACION METODO ACI.	
Resistencia a compresión a los 28 días del hormigón (kg/cm ²)	250
DATOS DE LABORATORIO	
Peso específico del cemento Cemento Portland El Puente (gr/cm ³)=	3.14 3
Peso específico aparente	
Arena (gr/cm ³) =	2.72
Grava (gr/cm ³) =	2.46
TM (mm) =	38.1
TMN (mm) =	25.4
Peso Unitario compactado	
Arena (gr/cm ³) =	1.736
Grava (gr/cm ³) =	1.503
Porcentaje de Absorción	
% Absorción de Arena =	2.42
% Absorción de Grava =	1.35
Peso Unitario suelto	
Arena (gr/cm ³) =	1.652
Grava (gr/cm ³) =	1.441
Contenido de Humedad de los agregados	
% Humedad de Arena =	1.9
% Humedad de Grava =	2.1
Modulo de Finura	
Arena =	2.59
Grava =	7.18

Tabla 28. Dosificación Método ACI.

CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN

Asentamiento (cm) =	8	Tabla # 2
Tamaño máximo nominal (mm) =	25.4	
Contenido de aire (%) =	1.5	Tabla # 3
Agua de mezclado (lt/m ³) =	195	Tabla # 3

Resistencia de diseño

Debido a que se tiene un control en los materiales se puede asumir una desviación estándar de (30)

Se adopta la mayor resistencia.

$f''c \leq$	$f''cr = f''c + 1,34 * Ss$	290.2	kg/cm ²
350	$f''cr = f''c + 2,33 Ss - 35$	284.9	kg/cm ²
kg/cm ²			

La norma ACI recomienda también lo siguiente

No se tomara en cuenta por esto no es económico y es cuando no se tiene el control adecuado en los materiales.

$$f''c < 210 \text{ kg/cm}^2 \qquad f''cr = f''c + 70 = \qquad 320$$

$$\text{Razón agua/cemento} \qquad 0.62 \qquad (\text{Tabla \# 1})$$

Contenido de cemento

$$\text{Cemento (kg/m}^3\text{)} = \qquad 314.5$$

Volumen de agregado grueso por volumen Unitario de hormigón

Volumen de agregado grueso =	0.69	De Tabla # 4
Peso de agregado grueso (kg/m ³) =	1037.07	

Volumen de materiales si considerar agregado fino (m³)

Material	Peso seco	P. Específico	Volumen
Agua (kg/m ³) =	195	1000	0.195
Cemento (kg/m ³) =	314.5	3143	0.100
Grava (kg/m ³) =	1037.07	2460	0.422
Aire (%) =	1.5	-	0.015
		V. total	0.73

Determinación del Volumen de agregado fino

Vol. agregado fino (m ³) =	0.268
Peso agregado fino (kg/m ³) =	729.9

Tabla 29. Cálculo de la Dosificación Método ACI.

DISEÑO EN ESTADO SECO				
Material	Peso seco	Relación de mezcla		
Agua (kg/m ³) =	195			
Cemento (kg/m ³) =	314.5	Cemento 1	Arena 2.3	Grava 3.3
Grava (kg/m ³) =	1037.07			
Arena (kg/m ³) =	729.9			
Aire (%) =	1.5			

Tabla 30. Diseño en Estado Seco

CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Para agregado fino (kg/m ³) =	743.8
Para agregado grueso (kg/m ³) =	1058.8
Agua en el agregado fino (lt/m ³) =	3.8
Agua en el agregado grueso (lt/m ³) =	-7.8

Tabla 31. Corrección por Humedad

DISEÑO EN ESTADO HUMEDO	
Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m ³) =	191.0
Cemento (kg/m ³) =	314.5
Grava (kg/m ³) =	1058.8
Arena (kg/m ³) =	743.8
Aire (%) =	1.5

Tabla 32. Diseño en Estado Húmedo

PARA 9 PROBETAS

DISEÑO DE LA DOSIFICACION EN ESTADO HUMEDO

Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m ³) =	10.9
Cemento (kg/m ³) =	18.0
Grava (kg/m ³) =	60.6
Arena (kg/m ³) =	42.6

Tabla 33. Diseño de la Dosificación en Estado Húmedo

3.2.6.3. Influencia del Aditivo en la Dosificación

La influencia que le da el aditivo en la dosificación es solamente en el cálculo que se da en este método de dosificación ACI ya que cambia el valor de la relación agua/cemento de la Tabla #1 y del agua del mezclado con el contenido de aire que esta en la Tablas #3 de las tablas ACI, este varía debido a que estamos incorporando un inductor de aire, cambiamos el valor dependiendo a nuestros datos que estamos dosificando.

Solamente en este caso del aditivo Sika – Aer que es un incorporador de aire se da cambio de valor ya que con el aditivo Sikament – N100 se dosifica de igual manera que el normal solamente agregándolo a la mezcla.

Tabla # 1 Relación entre la razón Agua /cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211,1-Rev.85)			
Resistencia promedio a compresión a 28 días		Razón agua/cemento (en masa)	
Mpa	Kg/cm2	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
45	450	0,38	-
42	420	0,41	-
40	400	0,43	-
35	350	0,48	0,4
30	300	0,55	0,46
28	280	0,57	0,48
25	250	0,62	0,53
21	210	0,68	0,59
20	200	0,7	0,61
15	150	0,8	0,71
14	140	0,82	0,74

Tabla 34. Determinación de la Razón Agua / Cemento con Incorporador de Aire

Tabla # 3 Requerimientos aproximados para dosis de agua (l/m³) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidades y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211,1-Rev.85)								
Trabajabilidad (cm)	Tamaño máximo nominal del árido (mm)							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad de aire atrapado aproximado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Cantidad de aire total promedio recomendada (%)								
Exposición suave	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición extrema	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Tabla 35. Determinación Aproximada para Dosis de Agua y Contenido de Aire

CALCULO DE LA DOSIFICACION

Asentamiento (cm) =	8	Tabla # 2
Tamaño máximo nominal (mm) =	25.4	
Contenido de aire (%) =	4.5	Tabla # 3
Agua de mesclado (lt/m ³) =	175	Tabla # 3

Resistencia de diseño

Debido a que se tiene un control en los materiales se puede asumir una desviación estándar de (30)

Se adopta la mayor resistencia.

$f''c \leq 350$	$f''cr = f''c + 1,34 * Ss$	290.2	kg/cm ²
kg/cm ²	$f''cr = f''c + 2,33 Ss - 35$	284.9	kg/cm ²

La norma ACI recomienda también lo siguiente

No se tomara en cuenta por esto no es económico y es cuando no se tiene el control adecuado en los materiales.

$f'c < 210 \text{ kg/cm}^2$ $f'cr = f'c + 70 =$ 320

razón agua/cemento **0.53** (Tabla # 1)

Contenido de cemento

Cemento (kg/m³) = **330.2**

Volumen de agregado grueso por volumen Unitario de hormigón

Volumen de agregado grueso = **0.69** De Tabla # 4

Peso de agregado grueso (kg/m³) = 1037.07

Volumen de materiales si considerar agregado fino (m³)

Material	Peso seco	P. Especifico	Volumen
Agua (kg/m ³) =	175	1000	0.175
Cemento (kg/m ³) =	330.2	3143	0.105
Grava (kg/m ³) =	1037.07	2460	0.422
Aire (%) =	4.5	-	0.045
		V. total	0.75

Determinación del Volumen de agregado fino

Vol. agregado fino (m³) = 0.253

Peso agregado fino (kg/m³)= 689.2

Tabla 36. Cálculo de la Dosificación Método ACI con Incorporación de Aditivo

DISEÑO EN ESTADO SECO		Relación de mezcla		
Material	Peso seco			
Agua (kg/m ³) =	175			
Cemento (kg/m ³) =	330.2	Cemento	Arena	Grava
Grava (kg/m ³) =	1037.07	1	2.1	3.1
Arena (kg/m ³) =	689.2			
Aire (%) =	4.5			

Tabla 37. Diseño en Estado Seco con Aditivo

CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Para agregado fino (kg/m ³) =	702.3
Para agregado grueso (kg/m ³) =	1058.8
Agua en el agregado fino (lt/m ³) =	3.6
Agua en el agregado fino (lt/m ³) =	-7.8

Tabla 38. Corrección por Humedad con Aditivo

DISEÑO EN ESTADO HUMEDO	
Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m ³) =	170.8
Cemento (kg/m ³) =	330.2
Grava (kg/m ³) =	1058.8
Arena (kg/m ³) =	702.3
Aire (%) =	4.5

Tabla 39. Diseño en Estado Húmedo con Aditivo

PARA 9 PROBETAS

DISEÑO EN ESTADO HUMEDO	
Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m ³) =	9.8
Cemento (kg/m ³) =	18.9
Grava (kg/m ³) =	60.6
Arena (kg/m ³) =	40.2

Tabla 40. Diseño de la Dosificación en Estado Húmedo con Aditivo

3.2.7. EVALUACIÓN DE LA FISURACIÓN EN PROBETAS DE PRUEBA

La aparición de las fisuras en las probetas de prueba circulares se dio por:

- **Contracción Plástica.**- Ocurrió a muy temprana edad como consecuencia de los cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado al encontrarse a la intemperie del tiempo.

- **Fatiga.**- Al ser sometidas a una carga constante simulando al peso del tráfico pero en menor proporción.

Forma de Medición

La medición de las fisuras se realizó:

- En centímetros para la longitud de la fisura.
- En milímetros para el ancho de la fisura.
- En cm^2 para el área de fisuración de cada probeta.

3.2.7.1. Probetas sin Aditivo

3.2.7.1.1. Vaciado de Probetas

Se fabricara probetas de hormigón tipo cilíndricas de dimensiones de diámetro 15cm y de alto 30cm, compuestas de los agregados fino, grueso y cemento que normalmente se usa en la construcción de un pavimento rígido.

Cono de Abrams: Se utiliza un molde sin fondo de forma troncocónica, provisto de dos asas para manipularlo, con unas dimensiones interiores específicas, se coloca el molde sobre una superficie plana, rígida e impermeable. Se humedece el interior del molde y la superficie. Se introduce el hormigón y enrasa la superficie. Se desmolda inmediatamente, levantando el cono despacio y en dirección vertical sin sacudidas y medimos el punto más alto de la masa asentada.



Fotografía 43. Cono de Abrams

Entrando en lo que es la práctica en general partiremos por una descripción consecutiva paso a paso:



Fotografía 44. Preparación de los Moldes

Una vez preparado el material, se procede al preparado de la mezcla en base a la dosificación calculada. Cuando se tiene listo el hormigón sin la adición de los aditivos que es preparado del mismo modo que en tecnología del hormigón, se debe hacer el ensayo del cono de Abrams, para verificar que la consistencia este dentro de los rangos establecidos.

Ya realizado el cono de Abrams, y verificado el asiento que este en el rango de 8-10cm. Se procede a llenar los moldes del material, debidamente compactando en tres capas de 25 golpes y a la vez sacando vacíos con el combo de goma golpeándolo y luego enrazándolo manera uniforme



Fotografía 45. Ensayo de Cono de Abrams



Fotografía 46. Vaciado de los moldes sin Aditivo

3.2.7.1.2. Curado de las Probetas

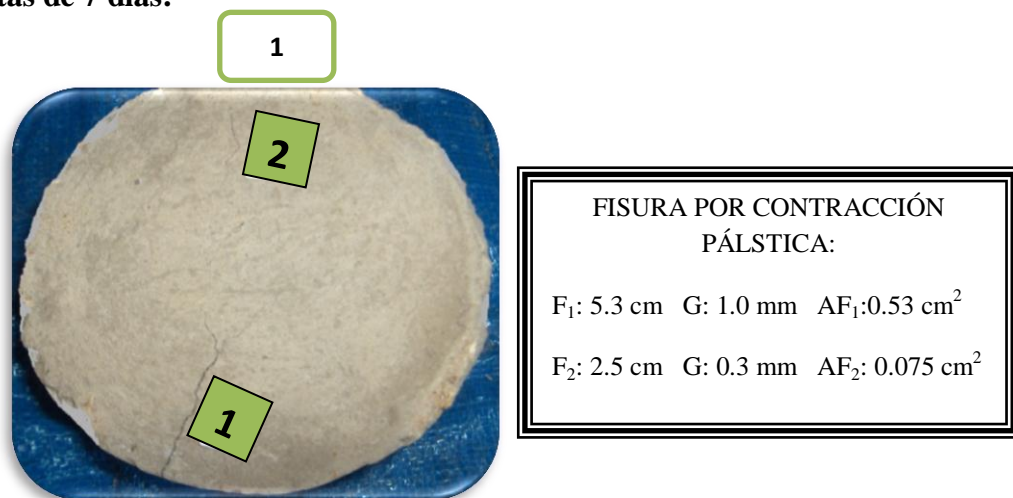
Terminado el proceso de vaciado de los moldes de hormigón, se guardaran los moldes en un ambiente seguro y a una humedad ambiente, donde ahí esperaran, hasta que llegue el momento del desmolde que normalmente varía entre 24 horas y un poco más. Tras transcurrir las 24 horas, hemos de desmoldar las probetas e inmediatamente ponerlas a la intemperie, dejarlos a temperaturas ambiente extremas y poder encontrar así fisuras por el fenómeno de la contracción plástica que son grietas que aparecen al momento de dejarlas a temperatura ambiente, esto porque están sujetas a perder agua por medio de la evaporación.

Se realizo el vaciado de dieciocho probetas, donde nueve probetas se dejaran al curado de siete días sin ningún tipo de membrana de curado, ni curado en agua, solo se lo dejara temperaturas ambiente para que podamos evidenciar algún tipo de figura que pueda tener a esa edad de curado, por el fenómeno de contracción plástica.

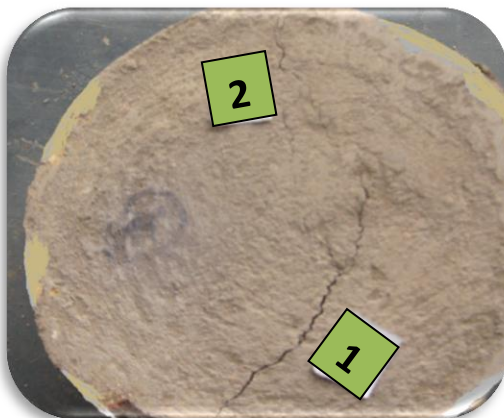
De igual manera las nueve restantes se las dejara al curado pero de veintiocho días, de igual manera sin ningún tipo de membrana de curado, ni curado en agua, solo dejándolas a temperaturas ambiente para evidenciar la magnitud de fisuras que pueda tener a esa edad de curado, por el fenómeno de contracción pastica.

3.2.7.1.3. Medidas de Fisuración

Probetas de 7 días:



2

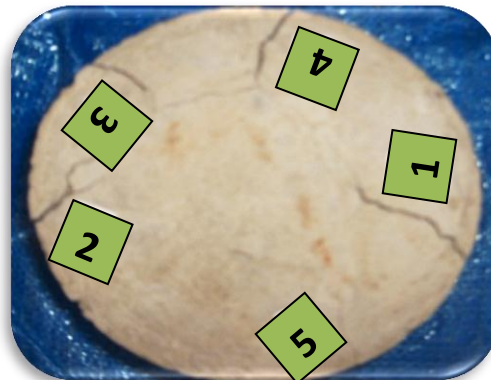


FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 8.5 cm G: 1.2 mm AF_1 : 1.02 cm²

F_2 : 5.5 cm G: 0.3 mm AF_2 : 0.17 cm²

3



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 6.0 cm G: 1.1 mm AF_1 : 0.66 cm²

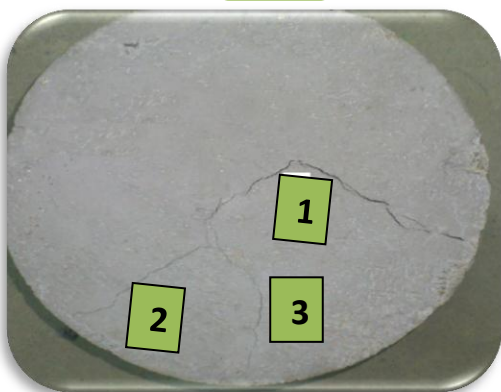
F_2 : 5.0 cm G: 1.2 mm AF_2 : 0.60 cm²

F_3 : 4.0 cm G: 1.0 mm AF_2 : 0.40 cm²

F_4 : 4.0 cm G: 1.2 mm AF_2 : 0.48 cm²

F_5 : 6.0 cm G: 0.3 mm AF_5 : 0.18 cm²

4



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 10.5 cm G: 1.0 mm AF_1 : 1.05 cm²

F_2 : 5.6 cm G: 0.3 mm AF_2 : 0.168 cm²

F_3 : 7.2 cm G: 0.3 mm AF_2 : 0.216 cm²

5



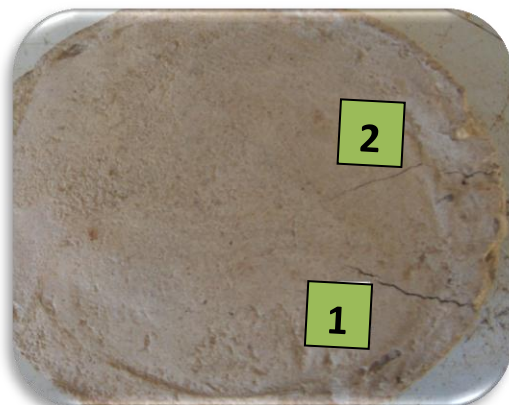
FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 3.5 cm G: 0.8 mm AF_1 : 0.28 cm²

F_2 : 3.0 cm G: 0.8 mm AF_2 : 0.24 cm²

F_3 : 2.5 cm G: 0.5 mm AF_2 : 0.125 cm²

6

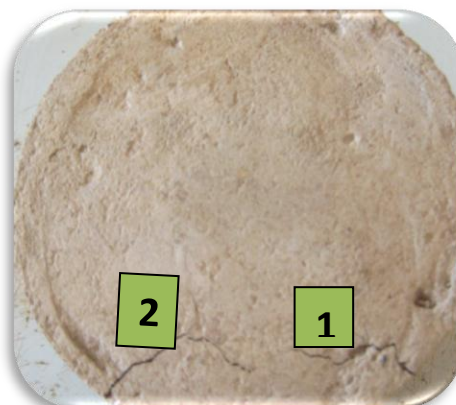


FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 5.0 cm G: 1.0 mm AF_1 : 0.5 cm²

F_2 : 5.5 cm G: 0.5 mm AF_2 : 0.275 cm²

7



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 6.0 cm G: 1.0 mm AF_1 : 0.60 cm²

F_2 : 5.9 cm G: 1.0 mm AF_2 : 0.59 cm²

8



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 2.3 cm G: 0.3 mm AF_1 : 0.69 cm²

F_2 : 3.0 cm G: 0.3 mm AF_2 : 0.09 cm²

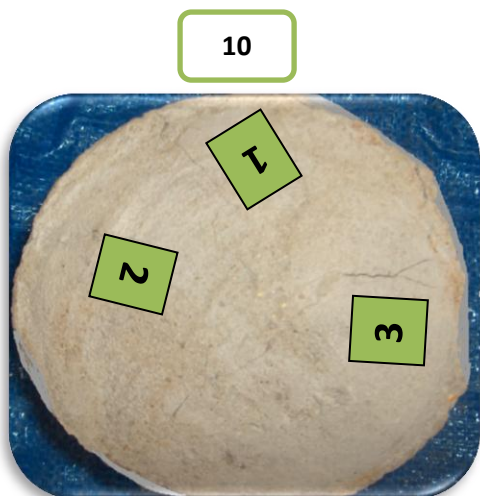
9



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 7.0 cm G: 1.0 mm AF_1 : 0.7 cm²

Probetas de 28 días:



FISURA POR CONTRACCIÓN PÁLSTICA:			
F ₁ : 4.0 cm	G: 0.3 mm	AF ₁ : 0.12 cm ²	
F ₂ : 3.5 cm	G: 0.3 mm	AF ₂ : 0.105 cm ²	
F ₃ : 3.5 cm	G: 0.5 mm	AF ₂ : 0.175 cm ²	



FISURA POR CONTRACCIÓN PÁLSTICA:			
F ₁ : 5.0 cm	G: 1.0 mm	AF ₁ : 0.50 cm ²	
F ₂ : 3.0 cm	G: 0.8 mm	AF ₂ : 0.24 cm ²	
F ₃ : 2.0 cm	G: 0.3 mm	AF ₂ : 0.06 cm ²	

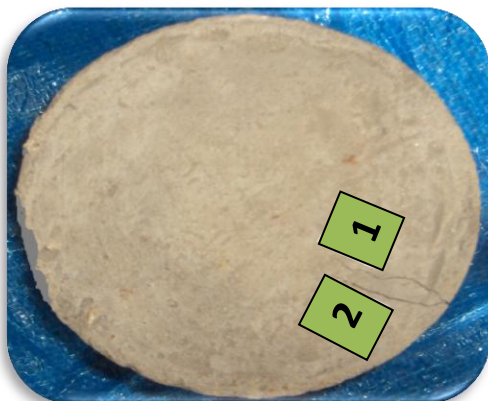


FISURA POR CONTRACCIÓN PÁLSTICA:			
F ₁ : 7.0 cm	G: 0.5 mm	AF ₁ : 0.35 cm ²	
F ₂ : 3.5 cm	G: 0.8 mm	AF ₂ : 0.28 cm ²	
F ₃ : 3.0 cm	G: 0.3 mm	AF ₂ : 0.09 cm ²	



FISURA POR CONTRACCIÓN PÁLSTICA:			
F ₁ : 5.0 cm	G: 0.5 mm	AF ₁ : 0.25 cm ²	
F ₂ : 4.0 cm	G: 1.0 mm	AF ₂ : 0.40 cm ²	

14

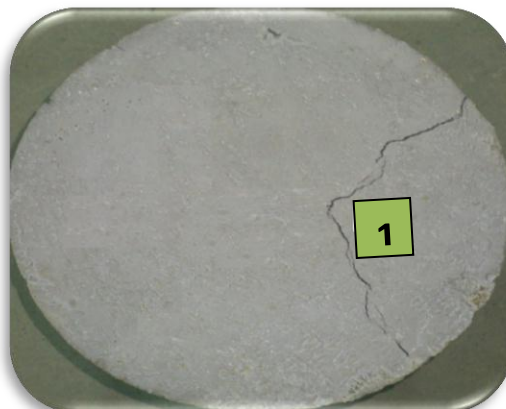


FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 5.0 cm G: 0.5 mm AF_1 : 0.25 cm²

F_2 : 4.5 cm G: 0.8 mm AF_2 : 0.36 cm²

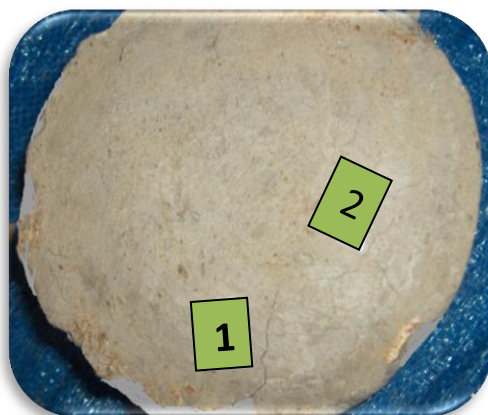
15



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 16.6 cm G: 1.1 mm AF_1 : 1.826 cm²

16



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 4.0 cm G: 0.5 mm AF_1 : 0.20 cm²

F_2 : 3.0 cm G: 0.3 mm AF_2 : 0.09 cm²

17



FISURA POR CONTRACCIÓN
PÁLSTICA:

F_1 : 6.0 cm G: 0.7 mm AF_1 : 0.42 cm²

F_2 : 2.0 cm G: 0.5 mm AF_2 : 0.10 cm²

F_3 : 3.0 cm G: 0.8 mm AF_2 : 0.24 cm²



3.2.7.1.4. Medidas de Fisuración a Diferentes Edades

Probetas de 7 días:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO Mm				
1	1	5.3	1.00	176.71	0.61	0.34	Contracción Plástica
	2	2.5	0.30				
2	1	8.5	1.20	176.71	1.19	0.67	Contracción Plástica
	2	5.5	0.30				
3	1	6.0	1.10	176.71	2.32	1.31	Contracción Plástica
	2	5.0	1.20				
	3	4.0	1.00				
	4	4.0	1.20				
	5	6.0	0.30				

4	1	10.5	1.00	176.71	1.43	0.81	Contracción Plástica
	2	5.6	0.30				
	3	7.2	0.30				
5	1	3.5	0.80	176.71	0.65	0.37	Contracción Plástica
	2	3.0	0.80				
	3	2.5	0.50				
6	1	5.0	1.00	176.71	0.78	0.44	Contracción Plástica
	2	5.5	0.50				
7	1	6.0	1.00	176.71	1.19	0.67	Contracción Plástica
	2	5.9	1.00				
8	1	2.3	0.30	176.71	0.16	0.09	Contracción Plástica
	2	3.0	0.30				
9	1	7.0	1.0	176.71	0.70	0.40	Contracción Plástica

Tabla 41. Evaluación de Fisuración de las Probetas a 7 días

Probetas de 28 días:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
10	1	4.0	0.30	176.71	0.40	0.23	Contracción Plástica
	2	3.5	0.30				
	3	3.5	0.50				
11	1	5.0	1.00	176.71	0.80	0.45	Contracción Plástica
	2	3.0	0.80				
	3	2.0	0.30				
12	1	7.0	0.50	176.71	0.72	0.41	Contracción Plástica
	2	3.5	0.80				
	3	3.0	0.30				
13	1	5	0.50	176.71	0.65	0.37	Contracción Plástica
	2	4.0	1.00				
14	1	5.0	0.50	176.71	0.61	0.35	Contracción Plástica
	2	4.5	0.80				
15	1	16.6	1.10	176.71	1.83	1.03	Contracción Plástica
16	1	4.0	0.50	176.71	0.29	0.16	Contracción Plástica
	2	3.0	0.30				
17	1	6.0	0.70	176.71	0.76	0.43	Contracción Plástica
	2	2.0	0.50				
	3	3.0	0.80				
18	1	12.0	1.00	176.71	1.20	0.68	Contracción Plástica

Tabla 42. Evaluación de Fisuración de las Probetas a 28 días

3.2.7.2. Probetas con Aditivo

3.2.7.2.1. Vaciado de Probetas

Como ya se ha dicho, vamos a fabricar probetas de hormigón, las probetas son cilíndricas de dimensiones de diámetro 15cm y de alto 30cm, compuestas de los agregados fino, grueso y cemento que normalmente se usa en la construcción de un pavimento rígido con aditivo.

Para este vaciado de probetas con aditivo no se realiza el ensayo del “Cono de Abrams” debido a que con la adición de los aditivos la mezcla se hace más fluida e imposibilitando hacer el ensayo.

Entrando en lo que es la práctica en general partiremos por una descripción consecutiva paso a paso:



Fotografía 47. Preparación de los Moldes

Una vez preparado el material, se procede al preparado de la mezcla en base a la dosificación calculada con la adición de los aditivos los cuales son reductores de agua e inclusores de aire, donde cada uno tiene sus especificaciones en que porcentaje se debe agregar a la mezcla ya que cada uno se lo hace por separado. Cuando se tiene listo el hormigón que es preparado del mismo modo que en tecnología del hormigón, donde no se hace el ensayo del “Cono de Abrams” ya explicado anteriormente.

Explicado respecto al cono de Abrams, se procede a llenar los moldes del material con la adición de los aditivos, debidamente compactando en tres capas de 25 golpes y a la vez sacando vacíos con el combo de goma golpeándolo y luego enrazándolo manera uniforme.



Fotografía 48. Muestra de hormigón con aditivo



Fotografía 49. Vaciado de los moldes con Aditivo

3.2.7.2.2. Curado de las Probetas

Terminado el proceso de vaciado de los moldes de hormigón con implementación de aditivo, se guardaran los moldes en un ambiente seguro y a una humedad ambiente, donde ahí esperaran, hasta que llegue el momento del desmolde que normalmente varía entre 24 horas y un poco más.

Tras transcurrir las 24 horas, hemos de desmoldar las probetas con aditivo e inmediatamente ponerlas a la intemperie, dejarlos a temperaturas ambiente extremas y poder encontrar así fisuras por el fenómeno de la contracción plástica que son grietas que aparecen al momento de dejarlas a temperatura ambiente, esto porque están sujetas a perder agua por medio de la evaporación.

Se realizo el vaciado de nueve probetas con la implementación del aditivo reductor de agua Sikament – N100, donde tres probetas se dejaron al curado de siete días, tres probetas se dejaron al curado de catorce días y tres probetas se dejaron al curado de

veintiocho días, todos estos sin ningún tipo de membrana de curado, ni curado en agua, solo se los dejaron a temperaturas ambiente para que podamos evidenciar algún tipo de figura que pueda tener a esa edad de curado, por el fenómeno de contracción plástica con la adición de este aditivo.

De igual manera se realizo el vaciado de nueve probetas con la implementación del aditivo incorporador de aire Sika – AER, donde tres probetas se dejaron al curado de siete días, tres probetas se dejaron al curado de catorce días y tres probetas se dejaron al curado de veintiocho días, todos estos sin ningún tipo de membrana de curado, ni curado en agua, solo se los dejaron a temperaturas ambiente para que podamos evidenciar algún tipo de figura que pueda tener a esa edad de curado, por el fenómeno de contracción plástica con la adición de este aditivo.

3.2.7.2.3. Medidas de Fisuración

Probetas de 7 días con aditivo Sikament N - 100:



Observaciones: No presentaron ningún reflejo de fisuración a los 7 días con la adición del aditivo Sikament N - 100 en la probeta

Probetas de 14 días con aditivo Sikament N - 100:

4



5



6



Observaciones: No presentaron ningún reflejo de fisuración a los 14 días con la adición del aditivo Sikament N - 100 en la probeta

Probetas de 28 días con aditivo Sikament N - 100:

7



8



9



Observaciones: No presentaron ningún reflejo de fisuración a los 28 días con la adición del aditivo Sikament N - 100 en la probeta

Probetas de 7 días con aditivo Sika AER:

1



2



3



Observaciones: No presentaron ningún reflejo de fisuración a los 7 días con la adición del aditivo Sika AER en la probeta

Probetas de 14 días con aditivo Sika AER:

4



5



6



Observaciones: No presentaron ningún reflejo de fisuración a los 14 días con la adición del aditivo Sika AER en la probeta

Probetas de 28 días con aditivo Sika AER:

7



8



9



Observaciones: No presentaron ningún reflejo de fisuración a los 28 días con la adición del aditivo Sika AER en la probeta

3.2.7.3. Formas de Medición de Fisuras

- **Medición de Longitud de la Fisura.-** Se procedió a la medición de la longitud de las fisuras en las probetas de prueba, la medición se realizó, mediante un metro o una regla común, dando las mediciones para nuestra investigación.



Fotografía 50. Medición de Longitud de Fisura

- **Medición del Ancho de la Fisura.-** Se procedió a la medición del ancho de las fisuras en las probetas de prueba, la medición se realizó con el instrumento de “Vernier” dando como resultados correctos a nuestra investigación.

Hoy en día hay muchas formas de medir el ancho de las fisuraciones en pavimento rígido vamos a nombrar algunas de ellas:

- **El Calibrador de Vernier.-** Permiten realizar fáciles lecturas hasta 0.05 o 0.02 mm y de 0.001" ó 1/128" dependiendo del sistema de graduación a utilizar (métrico o inglés).



Fotografía 51. Calibrador de Vernier

- **Regla poliéster.-** Transparente con distintas graduaciones para verificar anchos de fisuras por comparación. Rango medición de fisuras de 0,1 mm a 20 mm. Intervalos: 0,05 mm (de 0,1 a 0,9 mm), 0,1 mm (de 1 a 1,9 mm), 1 mm (de 2 a 20 mm). Tamaño tarjeta de crédito (85 x 55 mm). Logo personalizable para pedidos superiores a 100 unidades, sin coste adicional.



Fotografía 52. Regla Poliéster



Fotografía 53. Mediciones de Ancho de Fisuras con Vernier

3.2.8. SIMULACIÓN DE FISURACIÓN POR FATIGA

3.2.8.1. Probetas sin Aditivo

3.2.8.1.1. Aplicación de Carga

En cuanto a la evaluación de materiales alternativos se procedió a la aplicación de carga de los moldes para poder evidenciar a cuanto carga aparece la primera fisura, esto se lo realizo en los laboratorios de la Universidad Juan Misael Saracho, en estos laboratorios se cuenta con la maquina adecuada para la aplicación de carga de moldes de hormigón sin aditivo a compresión.

La carga impuesta a los moldes sin aditivo fue ubicada al centro de los mismos, aunque la posición de la fisura permanece incontrolada en este ensayo, el hecho de imponer una carga centrada da como resultado un pico marcado para la flexión alrededor de la viga. De esta manera vamos a producir fisuras inducidas por la carga impuesta con la maquina que seguidamente vamos a medir su longitud y grosor de la fisura.

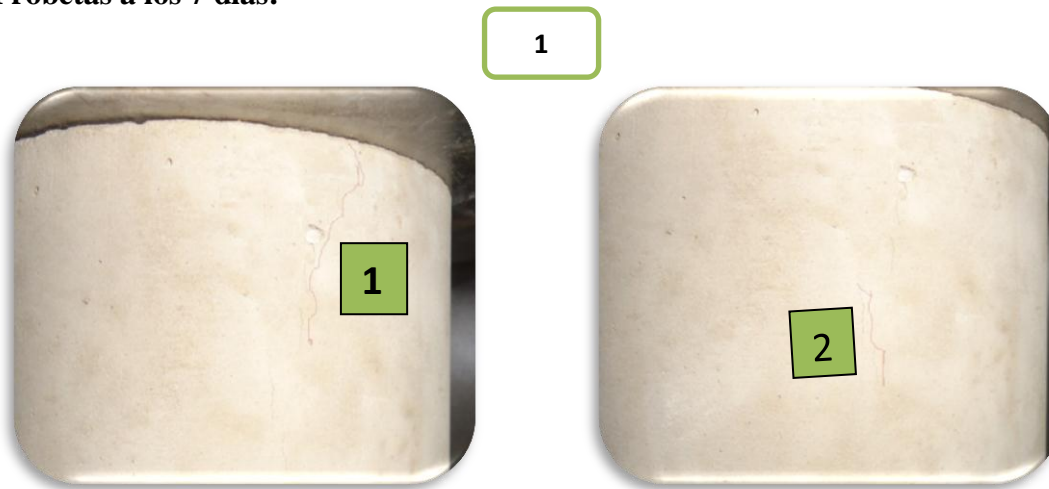
Como se dijo anteriormente se dosificaron dieciocho probetas sin aditivo de las cuales nueve son a 7 días de curado y nueve a 28 días de curado, primeramente se las evidencio por un tiempo pasado el curado para ver las fisuras por contracción plástica y recién poner aplicación de carga.

Las primeras nueve probetas sin aditivo se la dejaron por el lapso de 14 días, estas se llevaron a la maquina de aplicación de carga, seguidamente se colocaron los datos en la maquina de la probeta como ser los días y el peso de esta, y se aplicó la carga de la maquina donde se hizo repeticiones de una carga de 1 tonelada que seria 10 KN para la maquina, parando y volviendo a empezar a cada 10 KN y así ver en estos rangos cuando aparece la primera fisura y anotando la longitud, grosor, área de fisura y evidenciando con anexo fotográfico.

De igual manera las siguientes nueve probetas sin aditivo que se las dejo por el lapso de 28 días, estas se llevaron a la maquina de aplicación de carga, seguidamente se colocaron los datos en la maquina de la probeta como ser los días y el peso de esta, y se aplicó la carga de la maquina donde se hizo repeticiones de una carga de 1 tonelada que seria 10 KN para la maquina, parando y volviendo a empezar a cada 10 KN y así ver en estos rangos cuando aparece la primera fisura y anotando la longitud, grosor, área de fisura y evidenciando con anexo fotográfico.

3.2.8.1.2. Medidas de Fisuración

Probetas a los 7 días:



FISURA POR FATIGA:

F_1 : 4.8 cm G : 0.30 mm AF : 0.144 cm²

F_2 : 2.5 cm G : 0.30 mm AF : 0.075 cm²

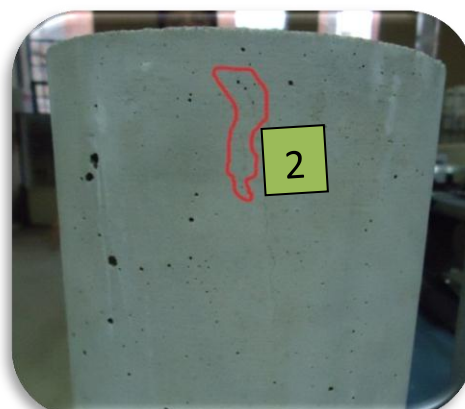
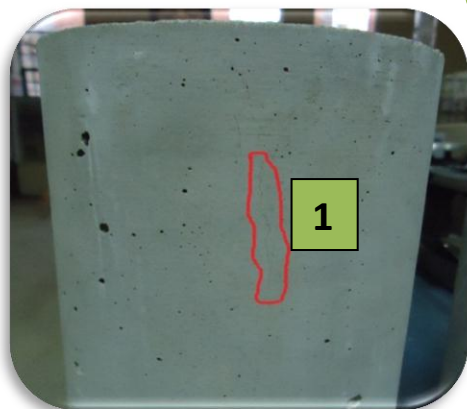


FISURA POR FATIGA:

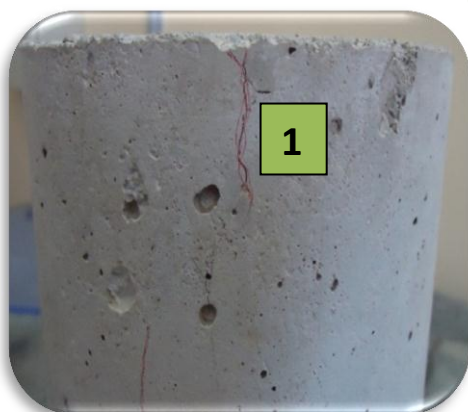
F_1 : 4.0 cm G : 0.30 mm AF : 0.120 cm²

F_2 : 6.0 cm G : 1.00 mm AF : 0.600 cm²

3


FISURA POR FATIGA:
 $F_1: 3.0 \text{ cm} \quad G: 0.70 \text{ mm} \quad AF: 0.210 \text{ cm}^2$
 $F_2: 4.0 \text{ cm} \quad G: 0.30 \text{ mm} \quad AF: 0.120 \text{ cm}^2$
 $F_3: 5.0 \text{ cm} \quad G: 0.30 \text{ mm} \quad AF: 0.150 \text{ cm}^2$

4

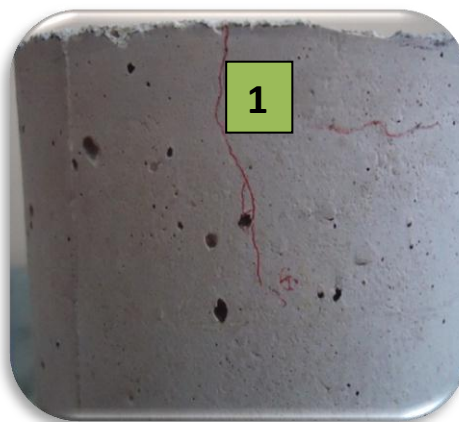

FISURA POR FATIGA:
 $F_1: 2.5 \text{ cm} \quad G: 1.00 \text{ mm} \quad AF: 0.250 \text{ cm}^2$
 $F_2: 6.0 \text{ cm} \quad G: 0.60 \text{ mm} \quad AF: 0.360 \text{ cm}^2$

**FISURA POR FATIGA:**

F_1 : 3.4 cm G : 0.80 mm AF : 0.240 cm²

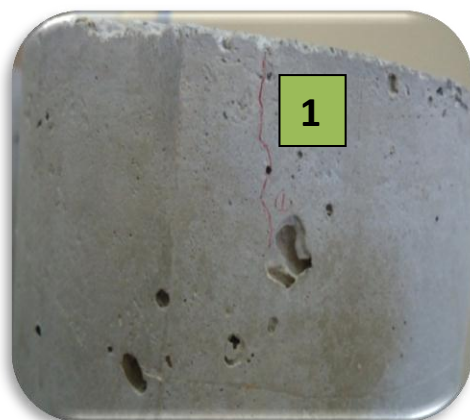
F_2 : 3.8 cm G : 0.30 mm AF : 0.099 cm²

6

**FISURA POR FATIGA:**

F_1 : 6.9 cm G : 0.60 mm AF : 0.222 cm²

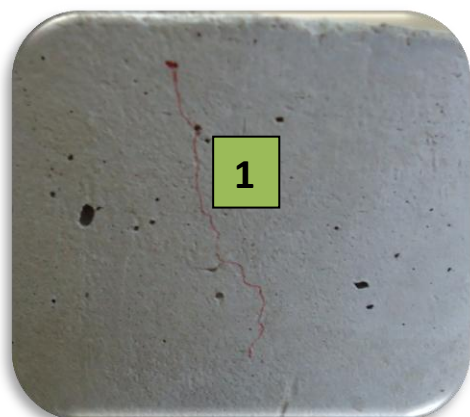
7



FISURA POR FATIGA:

 $F_1: 4.6 \text{ cm} \quad G: 0.30 \text{ mm} \quad AF: 0.078 \text{ cm}^2$

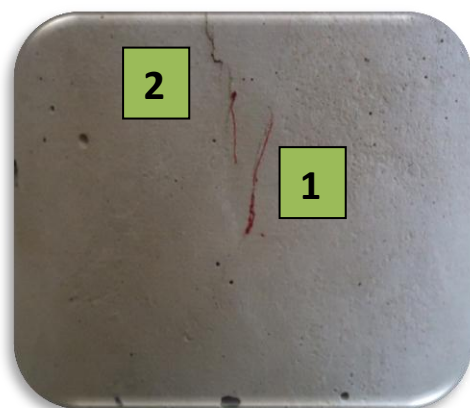
8



FISURA POR FATIGA:

 $F_1: 4.5 \text{ cm} \quad G: 0.30 \text{ mm} \quad AF: 0.135 \text{ cm}^2$

9

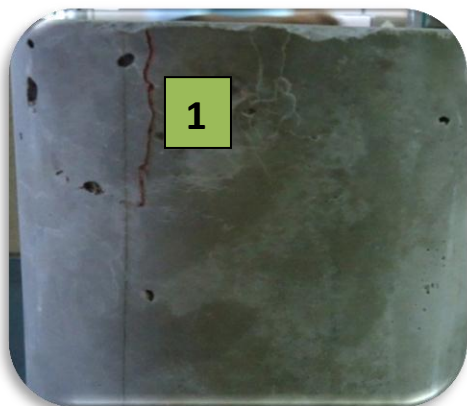


FISURA POR FATIGA:

 $F_1: 2.6 \text{ cm} \quad G: 0.40 \text{ mm} \quad AF: 0.104 \text{ cm}^2$
 $F_2: 3.5 \text{ cm} \quad G: 1.00 \text{ mm} \quad AF: 0.350 \text{ cm}^2$

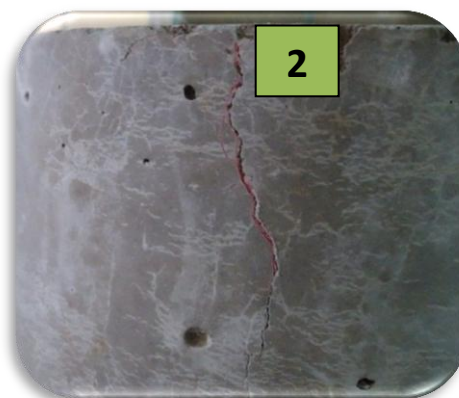
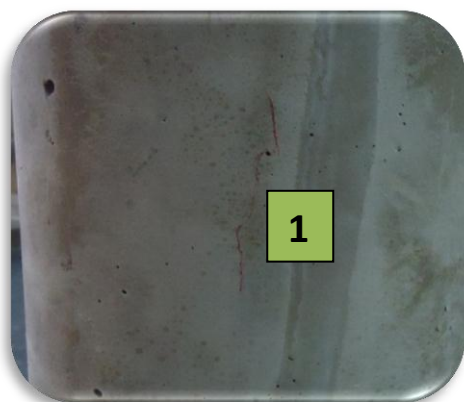
Probetas a los 28 días:

10



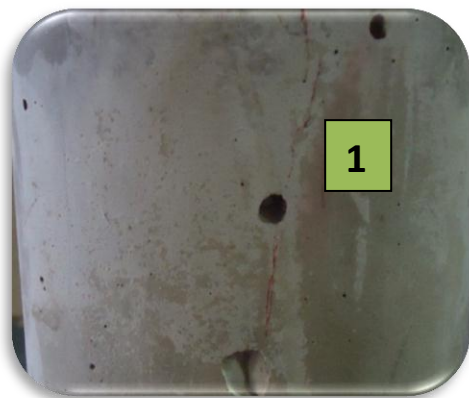
FISURA POR FATIGA:
 F_1 : 7.0 cm G : 1.00 mm AF : 0.500 cm²

11



FISURA POR FATIGA:
 F_1 : 4.0 cm G : 0.30 mm AF : 0.120cm²
 F_2 : 4.5 cm G : 1.20 mm AF : 0.540 cm²

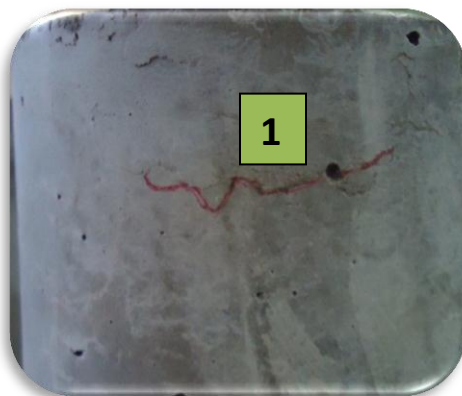
12



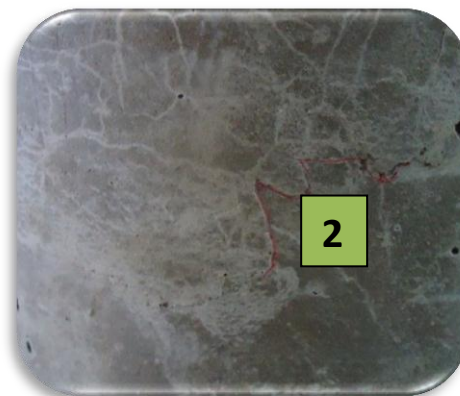
1

FISURA POR FATIGA:
 F_1 : 6.2 cm G: 0.30 mm AF: 0.171 cm²

13



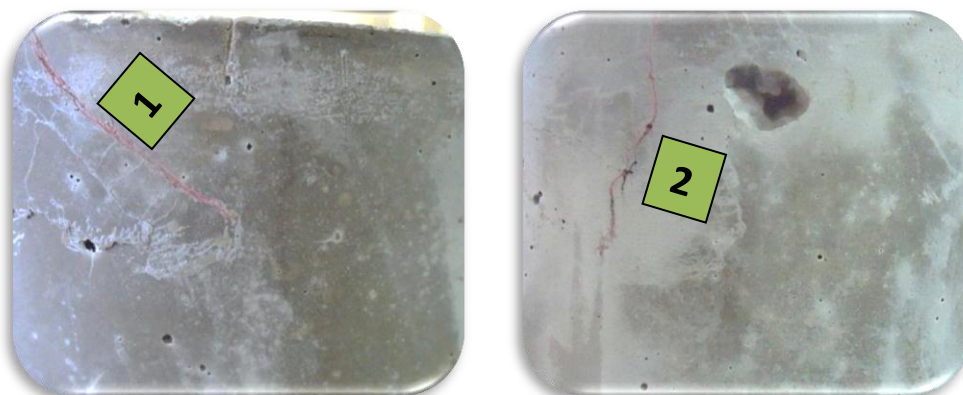
1



2

FISURA POR FATIGA:
 F_1 : 4.5 cm G: 0.60 mm AF: 0.270 cm²
 F_2 : 3.6 cm G: 0.40 mm AF: 0.144 cm²

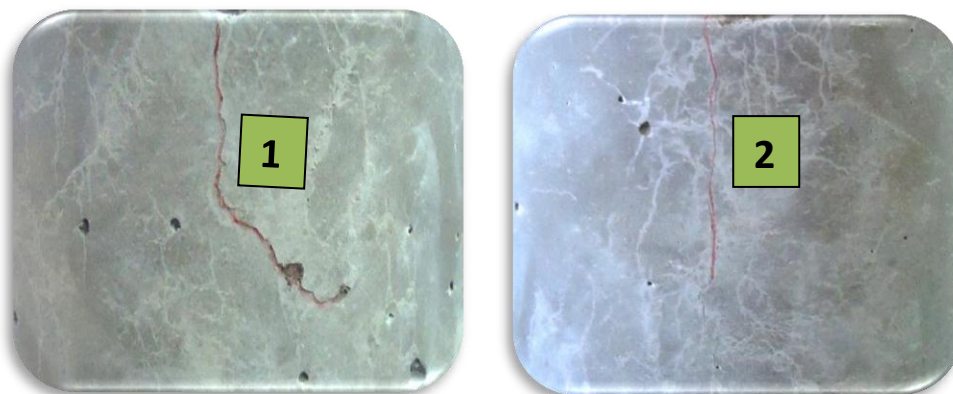
14



FISURA POR FATIGA:

 $F_1: 4.5 \text{ cm}$ $G: 0.80 \text{ mm}$ $AF: 0.360 \text{ cm}^2$
 $F_2: 4.0 \text{ cm}$ $G: 0.50 \text{ mm}$ $AF: 0.200 \text{ cm}^2$

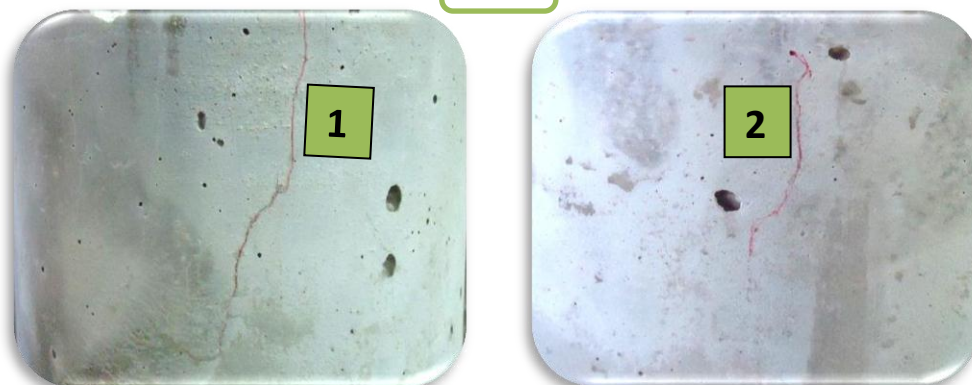
15



FISURA POR FATIGA:

 $F_1: 4.5 \text{ cm}$ $G: 1.00 \text{ mm}$ $AF: 0.450 \text{ cm}^2$
 $F_2: 5.0 \text{ cm}$ $G: 0.30 \text{ mm}$ $AF: 0.150 \text{ cm}^2$

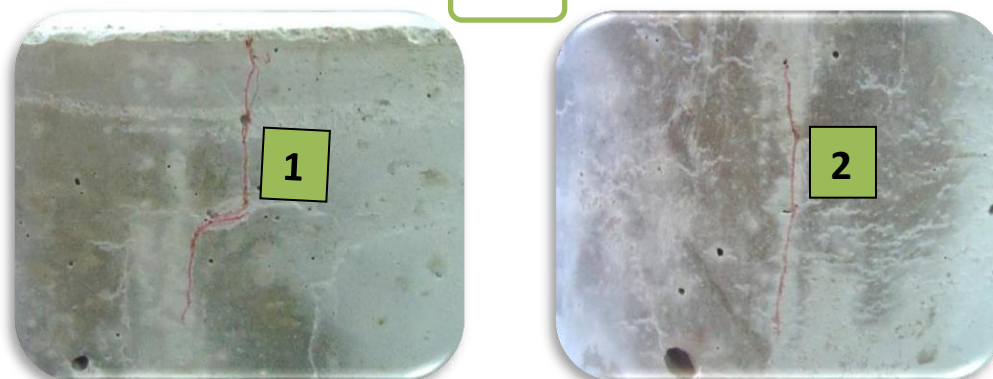
16



FISURA POR FATIGA:

F_1 : 5.4 cm G : 1.00 mm AF : 0.540 cm²
 F_2 : 4.0 cm G : 0.30 mm AF : 0.120 cm²

17



FISURA POR FATIGA:

F_1 : 3.0 cm G : 1.00 mm AF : 0.300 cm²
 F_2 : 3.6 cm G : 0.40 mm AF : 0.144 cm²

18



FISURA POR FATIGA:

F_1 : 6.2 cm G : 0.30 mm AF : 0.171 cm²

3.2.8.1.3. Medidas a Diferentes Edades

Probetas a los 7 días para la aplicación de carga:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
1	1	4.8	0.30	176.71	0.22	0.12	Fatiga
	2	2.5	0.30				
2	1	4.0	0.30	176.71	0.72	0.41	Fatiga
	2	6.0	1.00				
3	1	3.0	0.70	176.71	0.48	0.27	Fatiga
	2	4.0	0.30				
	3	5.0	0.30				
4	1	2.5	1.00	176.71	0.61	0.35	Fatiga
	2	6.0	0.60				
5	1	3.4	0.80	176.71	0.39	0.22	Fatiga
	2	3.8	0.30				
6	1	6.9	0.60	176.71	0.41	0.23	Fatiga
7	1	4.6	0.30	176.71	0.14	0.08	Fatiga
8	1	4.5	0.30	176.71	0.14	0.08	Fatiga
9	1	3.5	1.00	176.71	0.45	0.26	Fatiga
	2	2.6	0.40				

Tabla 43. Evaluación de Fisuración de las Probetas a Fatiga a los 7 días

Probetas a los 28 días para la aplicación de carga:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO Mm				
10	1	7.0	1.00	176.71	0.70	0.40	Fatiga
11	1	4.0	0.30	176.71	0.66	0.37	Fatiga
	2	4.5	1.20				
12	1	6.2	0.30	176.71	0.19	0.11	Fatiga
13	1	4.5	0.60	176.71	0.41	0.23	Fatiga
	2	3.6	0.40				
14	1	4.5	0.80	176.71	0.56	0.32	Fatiga
	2	4.0	0.50				
15	1	4.5	1.00	176.71	0.60	0.34	Fatiga
	2	5.0	0.30				
16	1	5.4	1.00	176.71	0.66	0.37	Fatiga
	2	4.0	0.30				
17	1	3.0	1.00	176.71	0.44	0.25	Fatiga
	2	3.6	0.40				
18	1	6.2	0.30	176.71	0.1	0.11	Fatiga

Tabla 44. Evaluación de Fisuración de las Probetas a Fatiga a los 28 días

Resultados del reflejo de fisuración en probetas con la aplicación de carga.

Probetas a los 7 días a Fatiga:

CARGA	MATERIAL	N° DE PROBETA	REFLEJO DE FISURACION	PORCENTAJE DEL REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	Sin Aditivo	1	NO	0%
		2	NO	
		3	NO	
		4	NO	
		5	NO	
		6	NO	
		7	NO	
		8	NO	
		9	NO	
5 TONELADAS	Sin Aditivo	1	SI	66.67%
		2	SI	
		3	NO	
		4	NO	
		5	SI	
		6	SI	
		7	NO	
		8	SI	
		9	SI	
8 TONELADAS	Sin Aditivo	1	SI	88.89%
		2	SI	
		3	SI	
		4	SI	
		5	SI	
		6	SI	
		7	NO	
		8	SI	
		9	SI	

Tabla 45. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas a los 7 días con la aplicación de Carga

Probetas a los 28 días a Fatiga:

CARGA	MATERIAL	Nº DE PROBETA	REFLEJO DE FISURACION	PORCENTAJE DEL REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	Sin Aditivo	10	NO	0%
		11	NO	
		12	NO	
		13	NO	
		14	NO	
		15	NO	
		16	NO	
		17	NO	
		18	NO	
5 TONELADAS	Sin Aditivo	10	NO	22.22%
		11	NO	
		12	NO	
		13	NO	
		14	SI	
		15	NO	
		16	SI	
		17	NO	
		18	NO	
8 TONELADAS	Sin Aditivo	10	SI	66.67%
		11	SI	
		12	SI	
		13	NO	
		14	SI	
		15	NO	
		16	NO	
		17	SI	
		18	SI	

Tabla 46. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas a los 28 días con la aplicación de Carga

3.2.8.2. Probetas con Aditivo

3.2.8.2.1. Aplicación de Carga

De igual manera se llevo a cabo la evaluación de materiales alternativos se procedió a la aplicación de carga de los moldes para poder evidenciar a que cierta carga aparece la primera fisura, esto se lo realizo en los laboratorios de la Universidad Juan Misael Saracho, en estos laboratorios se cuenta con la maquina adecuada para la aplicación de carga de moldes de hormigón sin aditivo a compresión.

La carga impuesta a los moldes ya con aditivo de la misma manera fue ubicada al centro de los mismos, aunque la posición de la fisura permanece incontrolada en este ensayo, el hecho de imponer una carga centrada da como resultado un pico marcado para la flexión alrededor de la viga. De esta manera vamos a producir fisuras inducidas por la carga impuesta con la maquina que seguidamente vamos a medir su longitud y grosor de la fisura.

En este caso se dosificaron dieciocho probetas con dos tipos diferentes de aditivo nueve probetas con el aditivo Sikament - N100 reductor de agua y nueve probetas con el aditivo Sika – AER, incorporador de aire, de lo cual tres probetas de cada uno son dejadas a 7 días de curado, otras tres probetas son dejadas a 14 días de curado y las ultimas tres son dejadas a 28 días de curado, primeramente se las evidencio por un tiempo pasado el curado para ver las fisuras por contracción plástica y recién poner aplicación de carga.

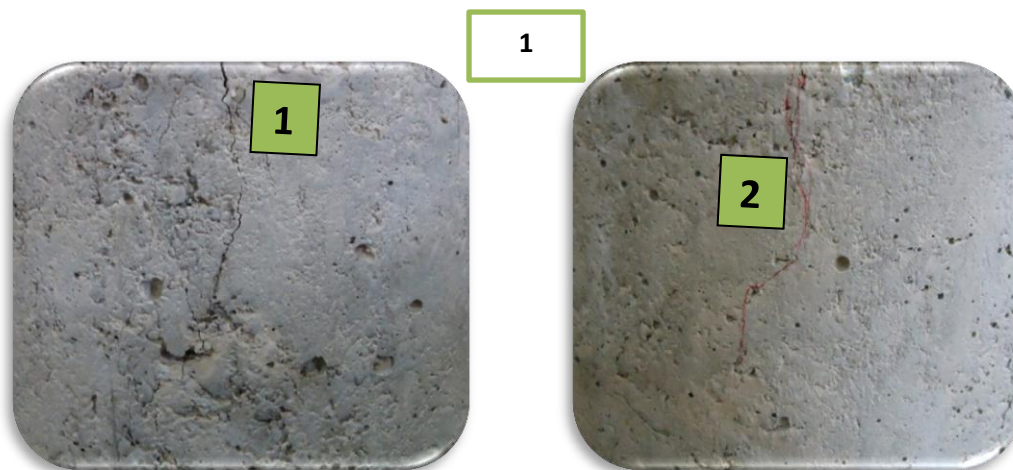
Las primeras tres probetas de cada aditivo se la dejaron por el lapso de unos días después del curado de 7 días, estas se llevaron a la maquina de aplicación de carga, seguidamente se colocaron los datos en la maquina de la probeta como ser los días y el peso de esta, y se aplicó la carga de la maquina donde se hizo repeticiones de una carga de 1 tonelada que seria 10 KN para la maquina, parando y volviendo a empezar a cada 10 KN y así ver en estos rangos cuando aparece la primera fisura y anotando la longitud, grosor, área de fisura y evidenciando con anexo fotográfico.

Las siguientes tres probetas de cada aditivo que se las dejo por el lapso unos días después del curado de 14 días, estas se llevaron a la maquina de aplicación de carga, seguidamente se colocaron los datos en la maquina de la probeta como ser los días y el peso de esta, y se aplicó la carga de la maquina donde se hizo repeticiones de una carga de 1 tonelada que seria 10 KN para la maquina, parando y volviendo a empezar a cada 10 KN y así ver en estos rangos cuando aparece la primera fisura y anotando la longitud, grosor, área de fisura y evidenciando con anexo fotográfico.

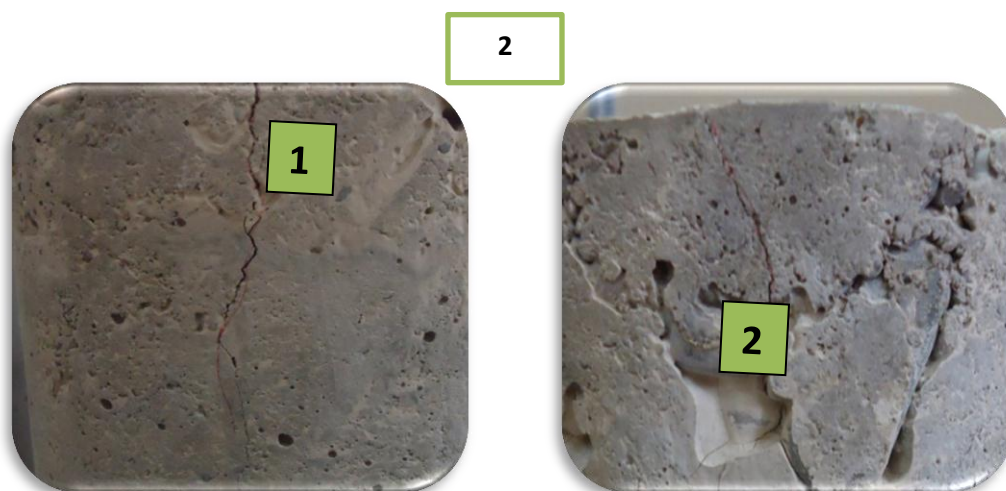
De igual manera las siguientes tres probetas de cada aditivo que se las dejo por el lapso unos días después del curado de 28 días, estas se llevaron a la maquina de aplicación de carga, seguidamente se colocaron los datos en la maquina de la probeta como ser los días y el peso de esta, y se aplicó la carga de la maquina donde se hizo repeticiones de una carga de 1 tonelada que seria 10 KN para la maquina, parando y volviendo a empezar a cada 10 KN y así ver en estos rangos cuando aparece la primera fisura y anotando la longitud, grosor, área de fisura y evidenciando con anexo fotográfico.

3.2.8.2.2. Medidas de Fisuración

Probetas a los 7 días con aditivo Sikament N-100:



FISURA POR FATIGA:		
$F_1: 3 \text{ cm}$	$G: 0.5 \text{ mm}$	$AF: 0.150 \text{ cm}^2$
$F_2: 3.3 \text{ cm}$	$G: 0.3 \text{ mm}$	$AF: 0.099 \text{ cm}^2$



FISURA POR FATIGA:		
F_1 : 3.7 cm	G: 0.60 mm	AF: 0.222 cm ²
F_2 : 2.8 cm	G: 0.30 mm	AF: 0.084 cm ²



FISURA POR FATIGA:		
F_1 : 2.5 cm	G: 0.3 mm	AF: 0.075 cm ²
F_2 : 3.0 cm	G: 0.3 mm	AF: 0.09 cm ²

Probetas a los 14 días con aditivo Sikament – N100:

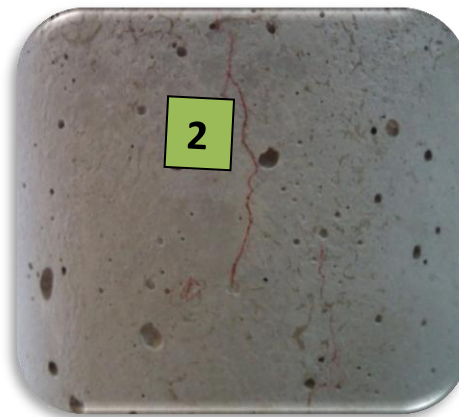
4



FISURA POR FATIGA:

F_1 : 3.7 cm G : 0.30 mm AF : 0.111 cm²

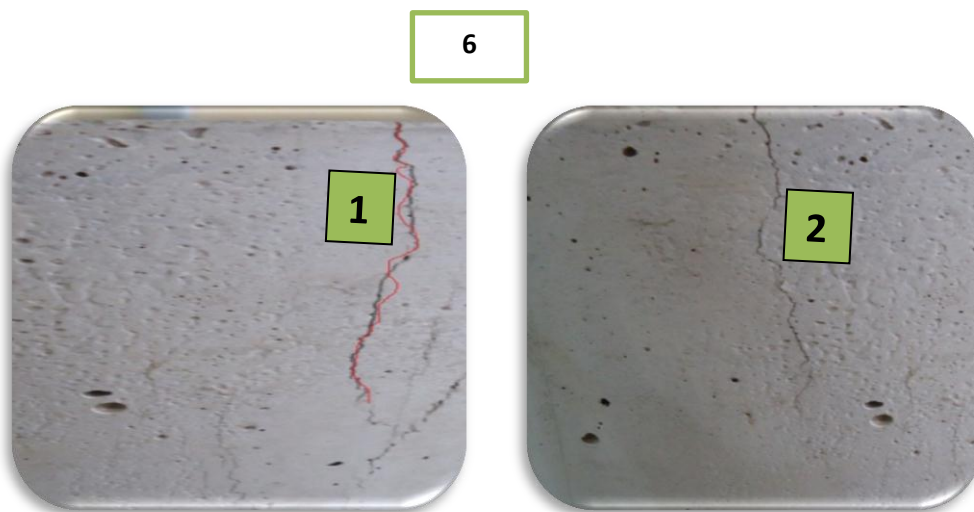
5



FISURA POR FATIGA:

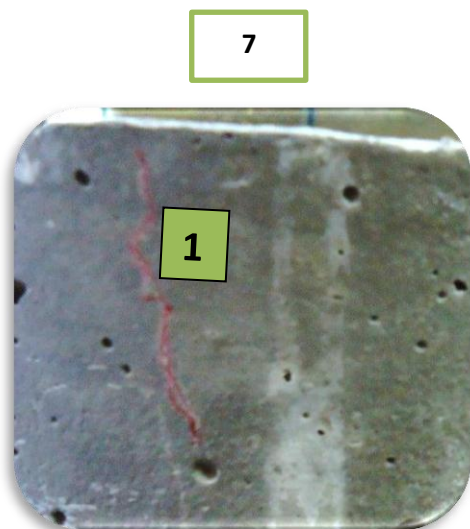
F_1 : 3.5 cm G : 0.30 mm AF : 0.105 cm²

F_2 : 3.0 cm G : 0.30 mm AF : 0.090 cm²



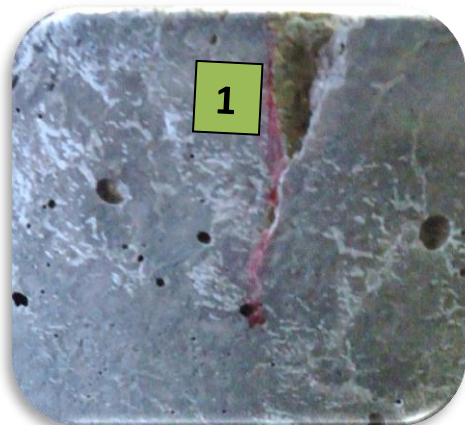
FISURA POR FATIGA:
 $F_1: 3.6 \text{ cm}$ $G: 0.8 \text{ mm}$ $AF: 0.288 \text{ cm}^2$
 $F_2: 3.2 \text{ cm}$ $G: 0.4 \text{ mm}$ $AF: 0.128 \text{ cm}^2$

Probetas a los 28 días con aditivo Sikament – N100:



FISURA POR FATIGA:
 $F_1: 3.7 \text{ cm}$ $G: 0.8 \text{ mm}$ $AF: 0.296 \text{ cm}^2$

8



FISURA POR FATIGA:

 $F_1: 3.0 \text{ cm}$ $G: 0.3 \text{ mm}$ $AF: 0.090 \text{ cm}^2$

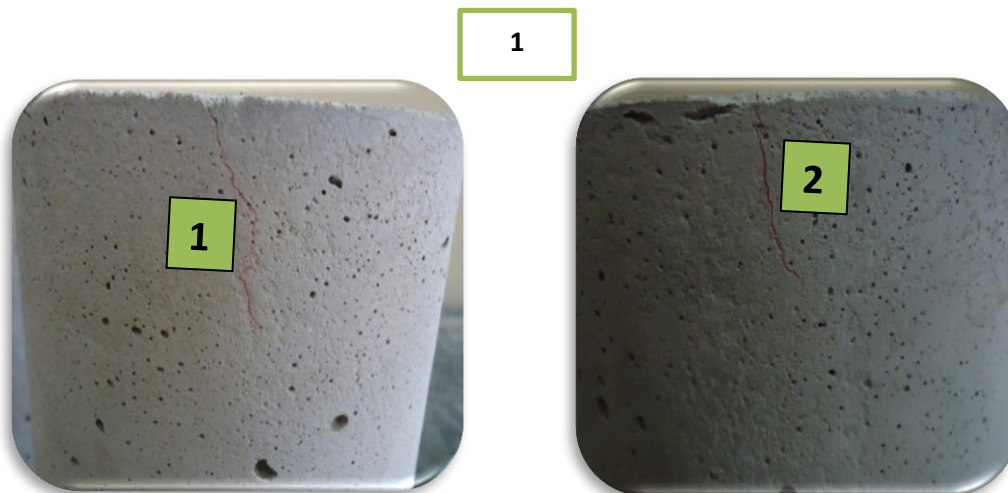
9



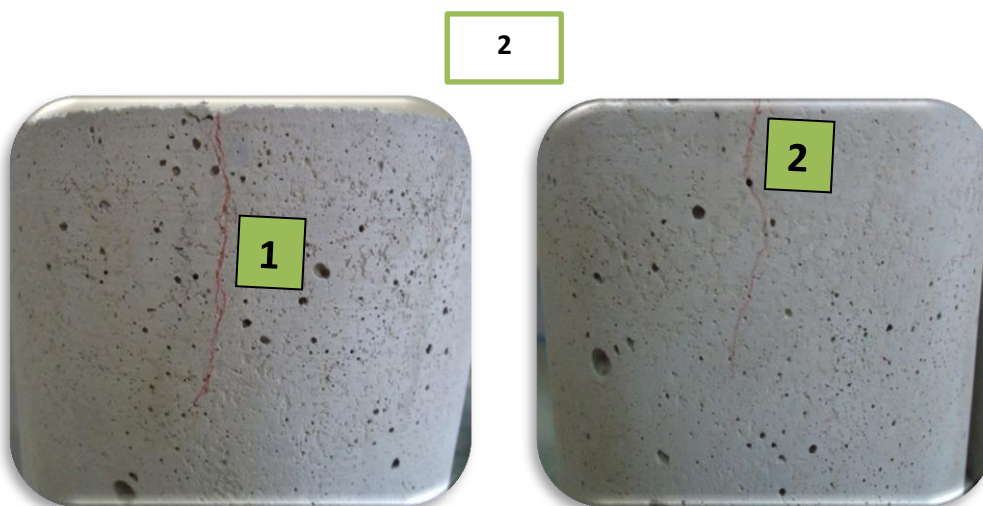
FISURA POR FATIGA:

 $F_1: 2.5 \text{ cm}$ $G: 0.3 \text{ mm}$ $AF: 0.075 \text{ cm}^2$
 $F_2: 2.3 \text{ cm}$ $G: 0.4 \text{ mm}$ $AF: 0.092 \text{ cm}^2$

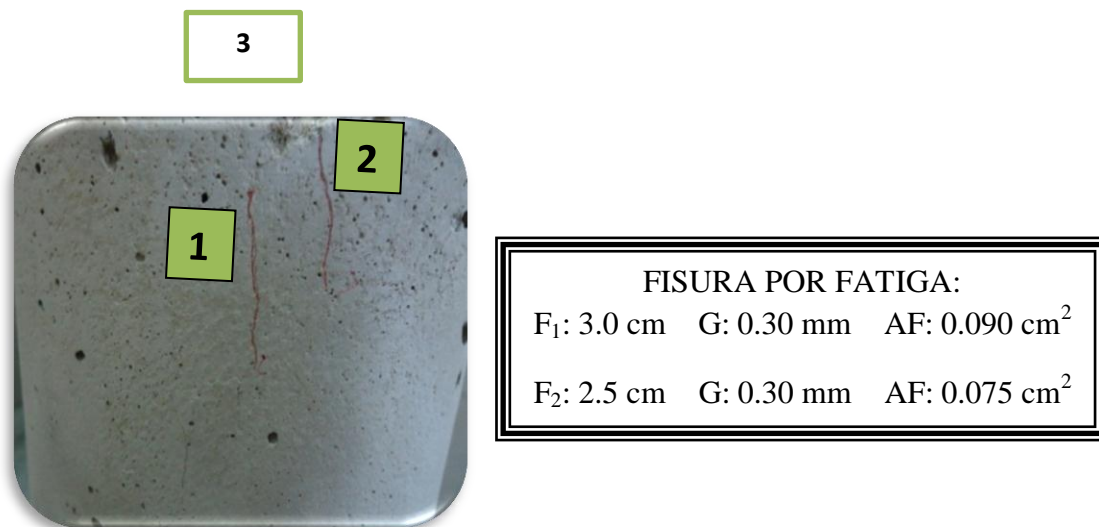
Probetas a los 7 días con aditivo Sika – AER:



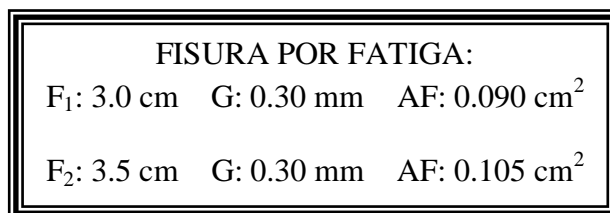
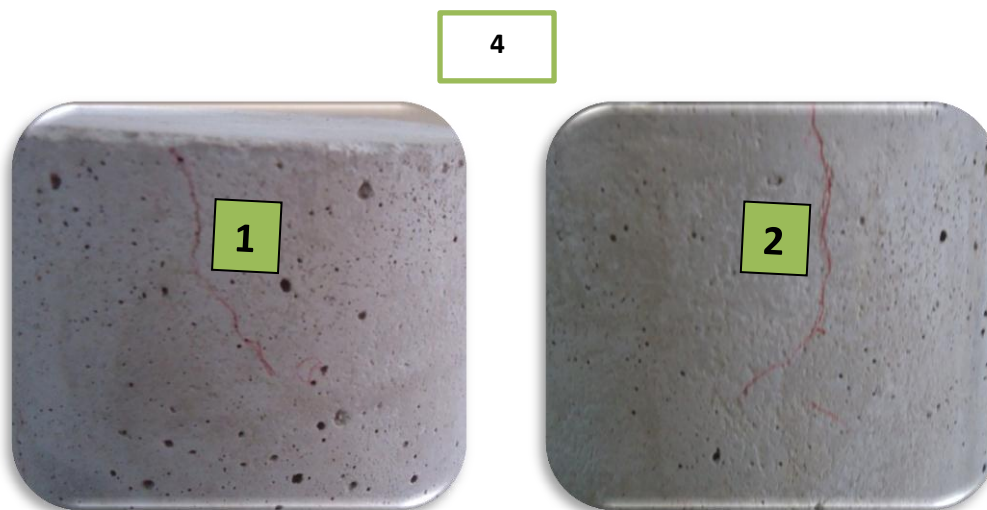
FISURA POR FATIGA:		
F_1 : 3.9 cm	G: 0.30 mm	AF: 0.117 cm ²
F_2 : 2.4 cm	G: 0.30 mm	AF: 0.072 cm ²



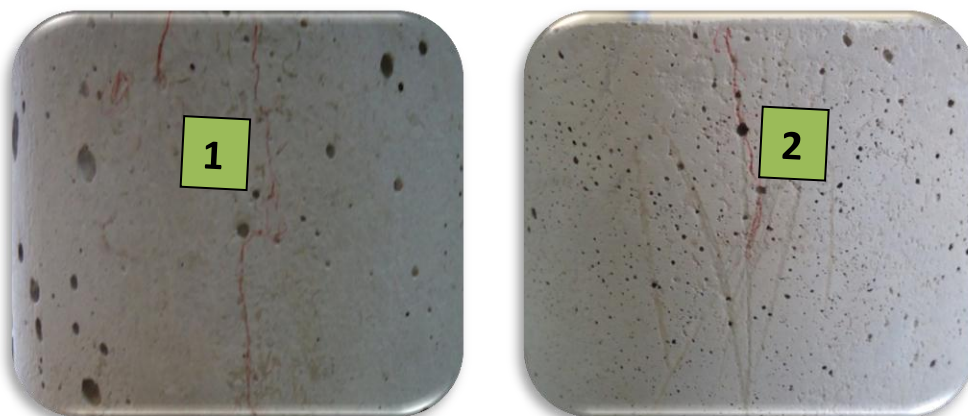
FISURA POR FATIGA:		
F_1 : 3.3 cm	G: 0.30 mm	AF: 0.099 cm ²
F_2 : 3.5 cm	G: 0.30 mm	AF: 0.105 cm ²



Probetas a los 14 días con aditivo Sika – AER:



5



FISURA POR FATIGA:

F_1 : 3.7 cm G : 0.50 mm AF : 0.185 cm²

F_2 : 2.5 cm G : 0.40 mm AF : 0.100 cm²

6



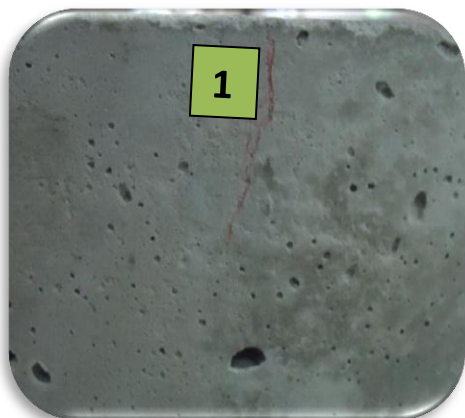
FISURA POR FATIGA:

F_1 : 3.0 cm G : 0.30 mm AF : 0.090 cm²

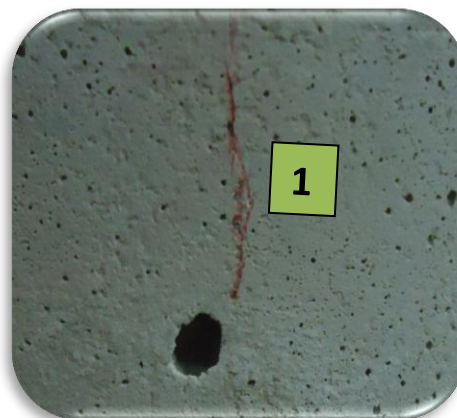
F_2 : 3.4 cm G : 0.30 mm AF : 0.102 cm²

Probetas a los 28 días con aditivo Sika – AER:

7



8



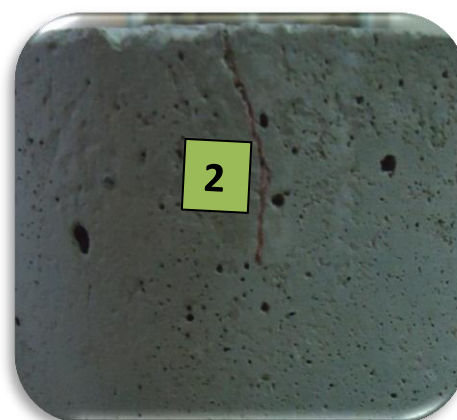
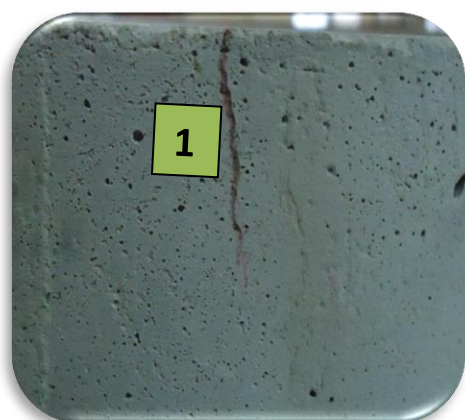
FISURA POR FATIGA:

F_1 : 3.0 cm G : 0.80 mm AF : 0.240 cm²

FISURA POR FATIGA:

F_1 : 3.0 cm G : 0.30 mm AF : 0.090 cm²

9



FISURA POR FATIGA:

F_1 : 2.5 cm G : 1.00 mm AF : 0.250 cm²

F_2 : 2.7 cm G : 1.00 mm AF : 0.270 cm²

3.2.8.2.3. Medidas a Diferentes Edades

Probetas de 7 días con Aditivo Sikament N-100:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
1	1	3.0	0.50	176.71	0.25	0.14	Fatiga
	2	3.3	0.30				
2	1	3.7	0.60	176.71	0.31	0.17	Fatiga
	2	2.8	0.30				
3	1	2.5	0.30	176.71	0.17	0.09	Fatiga
	2	3.0	0.30				

Tabla 47. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo N-100 a Fatiga a los 7 días

Probetas de 14 días con Aditivo Sikament N-100:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
4	1	3.7	0.30	176.71	0.11	0.06	Fatiga
5	1	3.5	0.30	176.71	0.20	0.11	Fatiga
	2	3.0	0.30				
6	1	3.6	0.80	176.71	0.42	0.24	Fatiga
	2	3.2	0.40				

Tabla 48. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo N-100 a Fatiga a los 14 días

Probetas de 28 días con Aditivo Sikament N-100:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
7	1	3.7	0.80	176.71	0.30	0.17	Fatiga
8	1	3.0	0.30	176.71	0.09	0.05	Fatiga
9	1	2.5	0.30	176.71	0.17	0.09	Fatiga
	2	2.3	0.40				

Tabla 49. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo N-100 a Fatiga a los 28 días

Probetas de 7 días con Aditivo Sika AER:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
1	1	3.9	0.30	176.71	0.19	0.11	Fatiga
	2	2.4	0.30				
2	1	3.3	0.30	176.71	0.20	0.12	Fatiga
	2	3.5	0.30				
3	1	3.0	0.30	176.71	0.17	0.09	Fatiga
	2	2.5	0.30				

Tabla 50. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo AER a Fatiga a los 7 días

Probetas de 14 días con Aditivo Sika AER:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
4	1	3.0	0.30	176.71	0.20	0.11	Fatiga
	2	3.5	0.30				
5	1	3.7	0.50	176.71	0.29	0.16	Fatiga
	2	2.5	0.40				
6	1	3.0	0.30	176.71	0.19	0.11	Fatiga
	2	3.4	0.30				

Tabla 51. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo AER a Fatiga a los 14 días

Probetas de 28 días con Aditivo Sika AER:

N° DE PROBETA	N° DE FISURA	DIMENSIONES		AREA TOTAL DE LA PROBETA cm ²	AREA DE FISURACION cm ²	PORCENTAJE DE FISURACION %	CLASIFICACION DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN
		LARGO cm	ANCHO mm				
7	1	3.0	0.80	176.71	0.24	0.14	Fatiga
8	1	3.0	0.30	176.71	0.09	0.05	Fatiga
9	1	2.5	1.00	176.71	0.52	0.29	Fatiga
	2	2.7	1.00				

Tabla 52. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo AER a Fatiga a los 28 días

Resultados del reflejo de fisuración en probetas con aditivo con la aplicación de carga.

Probetas a los 7 días con Aditivo:

CARGA	MATERIAL	N° DE PROBET A	REFLEJO DE FISURACION	PORCENTAJE DEL REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	SIKAMENT N-100	1	NO	0%
		2	NO	
		3	NO	
	SIKA AER	1	NO	0%
		2	NO	
		3	NO	
5 TONELADAS	SIKAMENT N-100	1	NO	0%
		2	NO	
		3	NO	
	SIKA AER	1	NO	0%
		2	NO	
		3	NO	
8 TONELADAS	SIKAMENT N-100	1	NO	0%
		2	NO	
		3	NO	
	SIKA AER	1	NO	33.33%
		2	SI	
		3	NO	
11 TONELADAS	SIKAMENT N-100	1	NO	33.33%
		2	SI	
		3	NO	
	SIKA AER	1	SI	66.67%
		2	SI	
		3	NO	

Tabla 53. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas con aditivo a los 7 días con la aplicación de Carga

Probetas a los 14 días con Aditivo:

CARGA	MATERIAL	N° DE PROBET A	REFLEJO DE FISURACION	PORCENTAJE DEL REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	SIKAMENT N-100	4	NO	0%
		5	NO	
		6	NO	
	SIK AER	4	NO	0%
		5	NO	
		6	NO	
5 TONELADAS	SIKAMENT N-100	4	NO	0%
		5	NO	
		6	NO	
	SIKA AER	4	NO	0%
		5	NO	
		6	NO	
8 TONELADAS	SIKAMENT N-100	4	NO	0%
		5	NO	
		6	NO	
	SIKA AER	4	NO	33.33%
		5	NO	
		6	SI	
11 TONELADAS	SIKAMENT N-100	4	SI	33.33%
		5	NO	
		6	NO	
	SIKA AER	4	NO	66.67%
		5	SI	
		6	SI	

Tabla 54. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas con aditivo a los 14 días con la aplicación de Carga

Probetas a los 28 días con Aditivo:

CARGA	MATERIAL	N° DE PROBET A	REFLEJO DE FISURACION	PORCENTAJE DEL REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	SIKAMENT N-100	7	NO	0%
		8	NO	
		9	NO	
	SIKA AER	7	NO	0%
		8	NO	
		9	NO	
5 TONELADAS	SIKAMENT N-100	7	NO	0%
		8	NO	
		9	NO	
	SIKA AER	7	NO	0%
		8	NO	
		9	NO	
8 TONELADAS	SIKAMENT N-100	7	NO	0%
		8	NO	
		9	NO	
	SIKA AER	7	NO	0%
		8	NO	
		9	NO	
11 TONELADAS	SIKAMENT N-100	7	NO	0%
		8	NO	
		9	NO	
	SIKA AER	7	NO	33.33%
		8	SI	
		9	NO	

Tabla 55. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas con aditivo a los 28 días con la aplicación de Carga

3.2.8.2.4. Costos de la Presentación

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto				Actividad N°	1
Actividad:	Probetas Con y Sin Aditivo		Cantidad:	18	
Unidad:	m3		Moneda.	Bs	
Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
1 Materiales					
1	Cemento Portland	Kg	31.01	1.2	37.21
2	Arena	m3	0.048	110	5.28
3	Grava	m3	0.067	110	7.37
Total Materiales					49.86
2 Mano de Obra					
1	Tesista	hr	0.38	110	41.8
Cargas Sociales 0% del sub total M. O.					0.00
Impuestos IVA M.O. = 0% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					0.00
Total Mano de Obra					41.80
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Hormigonera	hr	1.00	24.00	24.00
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					2.09
Total Eq, Maq. y Herr.					26.09
4 Gastos Generales y Administrativos					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					11.78
5 Utilidad					
Utilidad 0% (1+2+3+4)					0.00
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 0% (1+2+3+4+5)					0.00
Total Ítem Precio Unitario					129.53

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto				Actividad N°	1
Actividad:	Probetas Con Aditivo Sikament N-100		Cantidad:	9	
Unidad:	m3		Moneda:	Bs	
Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
1 Materiales					
1	Cemento Portland	Kg	15.503	1.2	18.60
2	Arena	m3	0.024	110	2.64
3	Grava	m3	0.034	115	3.91
4	Sikament N-100	Kg	0.36	27.5	9.90
Total Materiales					35.05
2 Mano de Obra					
1	Tesista	hr	0.19	110	20.9
Cargas Sociales 0% del sub total M. O.					0.00
Impuestos IVA M.O. = 0% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					0.00
Total Mano de Obra					20.90
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Hormigonera	hr	1.00	24.00	24.00
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					1.05
Total Eq, Maq. y Herr.					25.05
4 Gastos Generales y Administrativos					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					8.10
5 Utilidad					
Utilidad 0% (1+2+3+4)					0.00
6 Impuestos					
Impuestos I. T.0% (1+2+3+4+5)					0.00
Total Ítem Precio Unitario					89.10

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto				Actividad N°	1
Actividad:	Probetas Con Aditivo Sika AER	Cantidad:	9		
Unidad:	m3	Moneda:	Bs		
Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
1 Materiales					
1	Cemento Portland	Kg	15.503	1.2	18.60
2	Arena	m3	0.024	110	2.64
3	Grava	m3	0.034	115	3.91
4	Sika AER	Kg	0.00756	31	0.23
Total Materiales					25.39
2 Mano de Obra					
1	Tesista	hr	0.19	110	20.9
Cargas Sociales 0% del sub total M. O.					0.00
Impuestos IVA M.O. = 0% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					0.00
Total Mano de Obra					20.90
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Hormigonera	hr	1.00	24.00	24.00
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					1.05
Total Eq, Maq. y Herr.					25.05
4 Gastos Generales y Administrativos					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					7.13
5 Utilidad					
Utilidad 0% (1+2+3+4)					0.00
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 0% (1+2+3+4+5)					0.00
Total Ítem Precio Unitario					78.47

3.3. ANALISIS DE RESULTADOS

a) La aparición de las fisuras en los pavimentos rígidos según su clasificación de origen se dan en la mayoría por: Contracción Plástica y por Fatiga.

- **Contracción Plástica.-** Son fisuras que aparecen a muy temprana edad como consecuencia de cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado; las deformaciones que se presentan por la retracción del concreto no son provocados por cargas.
- **Fisuración por Fatiga.-** Resulta de deformaciones repetidas generadas por esfuerzos de tensión y compresión, producidos por la acción del tránsito. En nuestra investigación se simuló a una fisuración por fatiga a través de una carga constante colocada sobre las probetas y vigas en estudio.

Haciendo una verificación del proceso de fisuración en las probetas a contracción plástica y sin aditivo que representan simulando a una losa de pavimento rígido se tuvo los siguientes resultados:

PROBETAS DE PRUEBA	CLASIFICACION SEGÚN SU ORIGEN DE FISURACION	PORCENTAJE DE FISURACION
PROBETAS SIN ADITIVO	CONTRACCION PLASTICA	9.21 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKAMENT N-100	CONTRACCION PLASTICA	0 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKA - AER	CONTRACCION PLASTICA	0 %
PROBETAS SIN ADITIVO	FATIGA	4.51 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKAMENT N-100	FATIGA	1.13 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKA - AER	FATIGA	1.18 %

Tabla 56. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas

Observación.- No presentaron ningún tipo de reflejo de fisuración en la las probetas con la adición del aditivo Sikament N-100, ni en las probetas del aditivo Sika – AER dejadas a contracción plástica en estudio.

- b) Haciendo la verificación de las probetas a los 7 días por el fenómeno de contracción plástica se dan los siguientes resultados y su diagrama de barras a dichas edades:

PROBETAS DE PRUEBA	CLASIFICACION SEGÚN SU ORIGEN DE FISURACION	PORCENTAJE DE FISURACION
PROBETAS SIN ADITIVO A LOS 7 DÍAS	CONTRACCION PLASTICA	5.10 %
PROBETAS SIN ADITIVO A LOS 28 DIAS	CONTRACCION PLASTICA	4.11 %

Tabla 57. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Contracción Plástica de 7 y 28 Días

Diagrama de Barras de las fisuraciones en las probetas a los 7 días por contracción plástica:

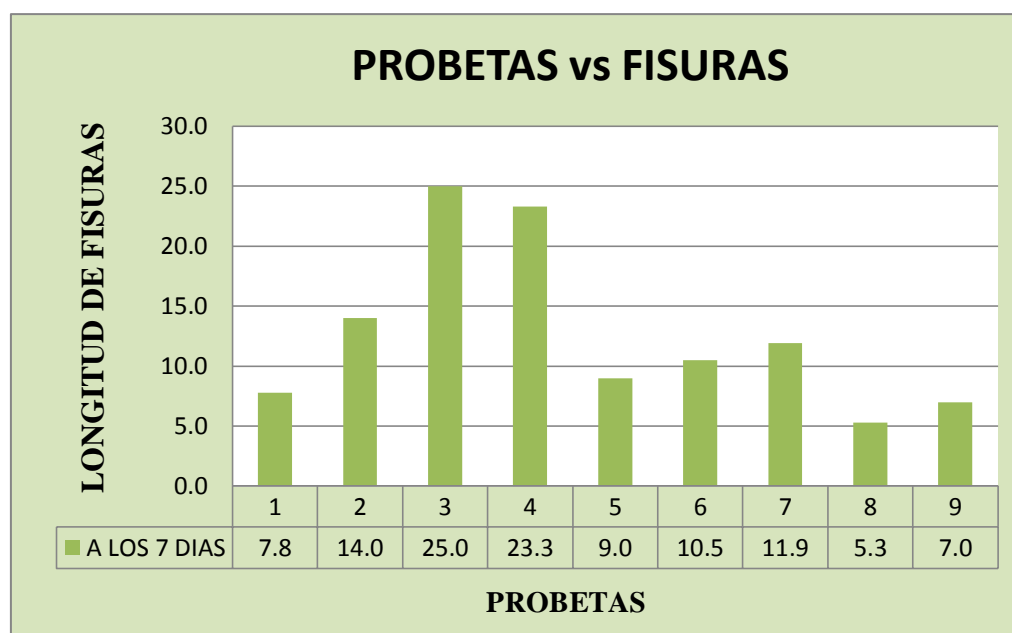


Tabla 58. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Contracción Plástica

Curvas de las fisuraciones en las probetas a los 7 días por contracción plástica:

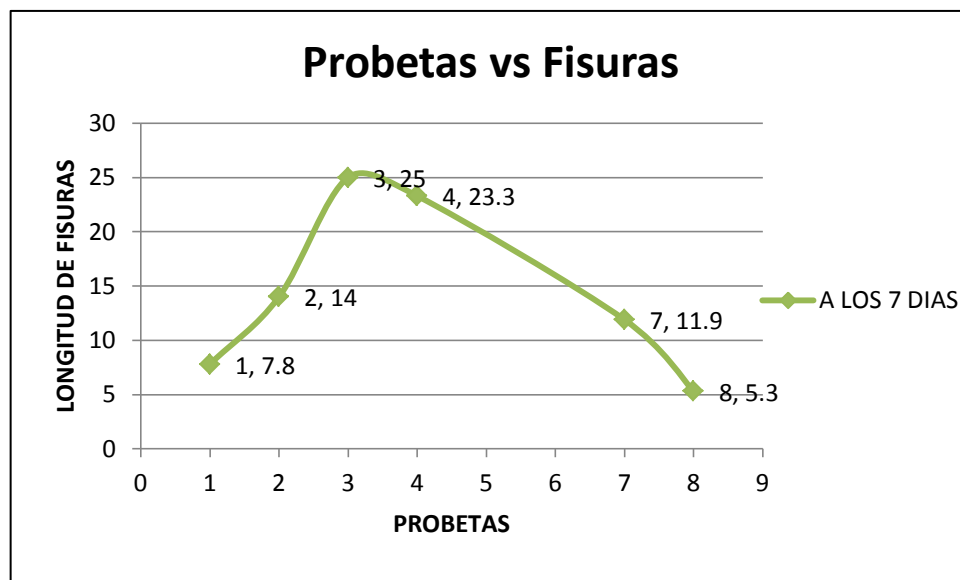


Tabla 59. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Contracción Plástica

Diagrama de Barras de las fisuraciones en las probetas a los 28 días por contracción plástica:

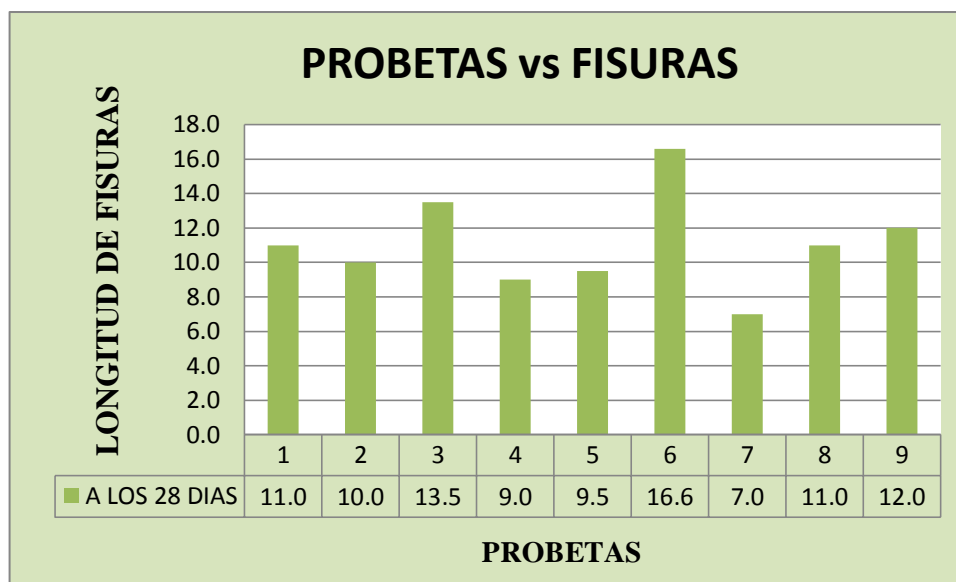


Tabla 60. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Contracción Plástica

Curvas de las fisuraciones en las probetas a los 28 días por contracción plástica:

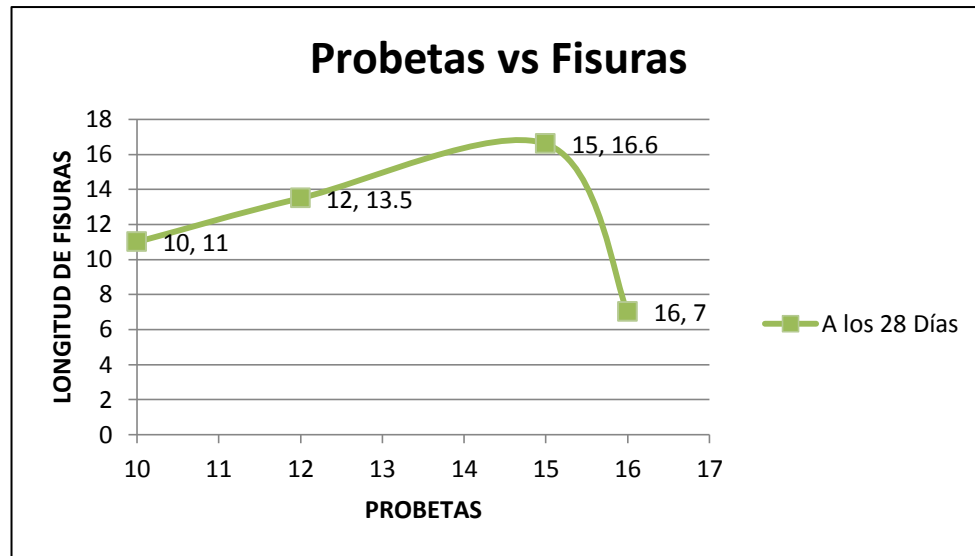


Tabla 61. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Contracción Plástica

Observación.- Dada las observaciones y los datos obtenidos las probetas a 7 días tienen un mínimo porcentaje de fisuración de 5.10%, mayor que en comparación de las probetas a 28 días que tiene un 4.11% de fisuración, nos dice que a menor tiempo se tiene un mayor numero de fisuras por contracción plástica.

En el diagrama de barras y en las curvas, nos refleja las longitudes en función de las probetas, en las comparaciones tenemos que son casi similares con la mínima de 5 cm en el transcurso de 7 días y de 7 cm en el transcurso de 28 días y la máxima que llega a 25 cm en 7 días y 16.6 cm en 28 días.

No se pudo hacer comparaciones con las probetas con aditivos ya que estos tanto como el reductor de agua, como el incorporador de aire no presentaron fisuraciones en dichas probetas en dichos tiempos, esto nos da a decir que la inclusión de los aditivos mejora considerablemente el tema de reducción de fisuras por contracción plástica.

- c) Entrando al tema de las probetas con implementación de carga haciendo la verificación de las probetas a los 7 y 28 días sin implementación de aditivos por la simulación de carga obteniendo los siguientes resultados y su diagrama de barras a dichas edades:

PROBETAS DE PRUEBA	CLASIFICACION SEGÚN SU ORIGEN DE FISURACION	PORCENTAJE DE FISURACION
PROBETAS SIN ADITIVO A LOS 7 DIAS	FATIGA	2.01 %
PROBETAS SIN ADITIVO A LOS 28 DIAS	FATIGA	2.50 %

Tabla 62. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Fatiga a los 7 y 28 Días

Diagrama de Barras de las fisuraciones en las probetas a los 7 días por fatiga:

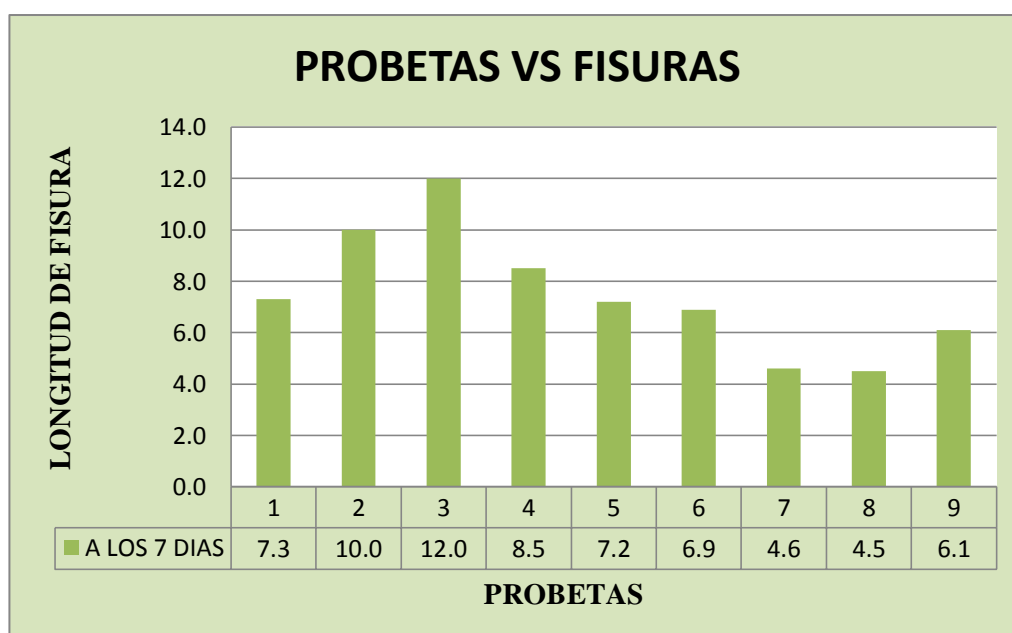


Tabla 63. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Fatiga

Curvas de las fisuraciones en las probetas a los 7 días por fatiga:

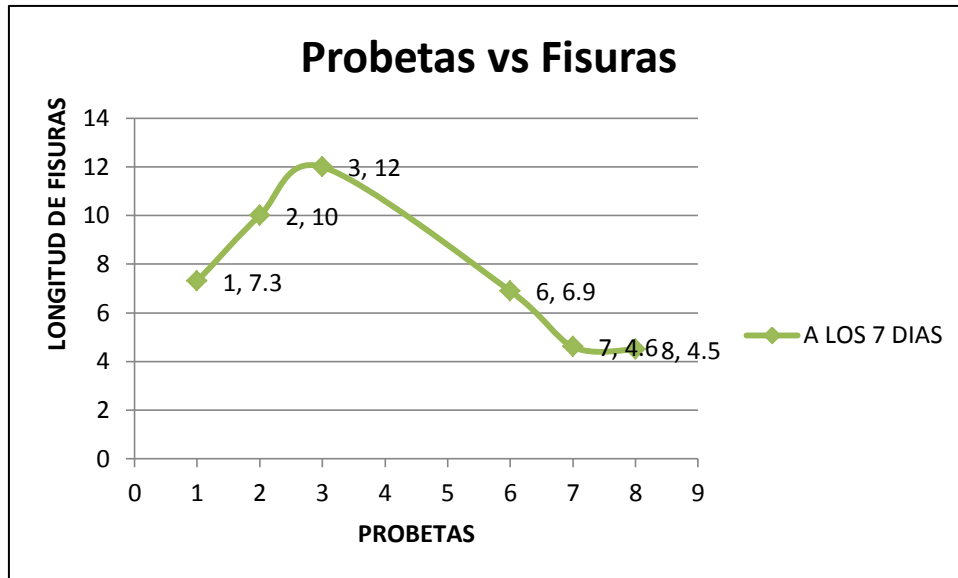


Tabla 64. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Fatiga

Diagrama de Barras de las fisuraciones en las probetas a los 28 días por fatiga:

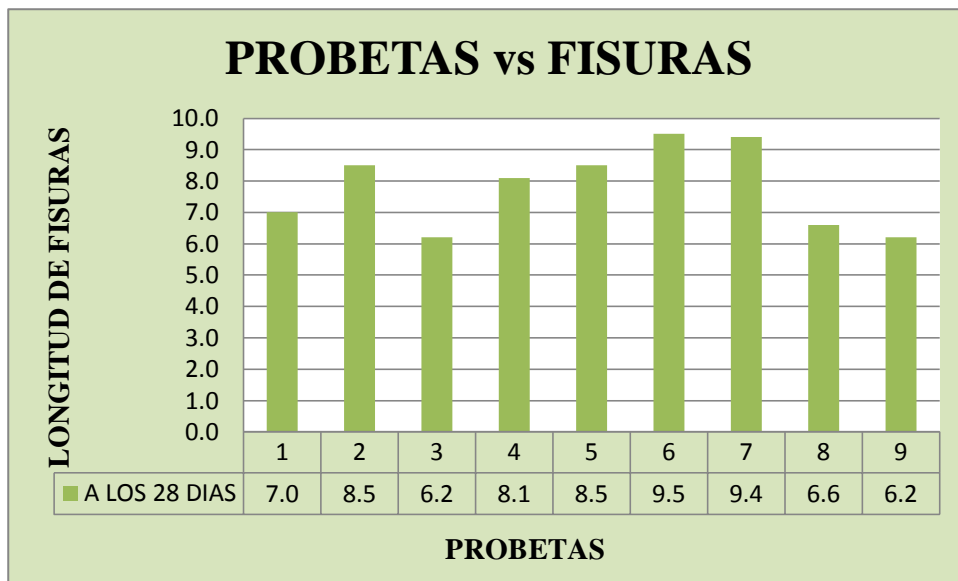


Tabla 65. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Fatiga

Curvas de las fisuraciones en las probetas a los 28 días por fatiga:

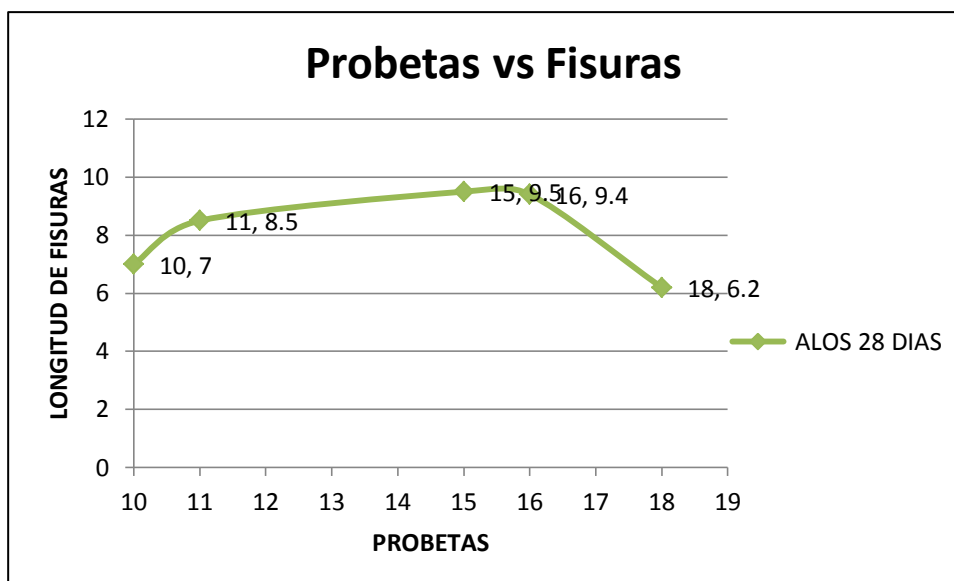


Tabla 66. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Fatiga

Observación.- Dada las observaciones y los datos obtenidos las probetas a 7 días por fatiga tienen un menor porcentaje de fisuración de 2.01%, que en comparación de las probetas a 28 días que tiene un 2.50% de fisuración, nos dice que a mayor tiempo se tiene un mayor número de fisuras por fatiga ya que llega a más altas resistencias.

En el diagrama de barras y en las curvas nos refleja las longitudes en función de las probetas, que las probetas de 7 días en comparación con las de 28 días tiene las longitudes menores de 4.5 cm, además de tener la longitud mayor alta de 12 cm, que en comparación de las probetas de 28 días que tiene una mínima de 6.2 cm y su máxima de 9.5 cm, esto en consideración nos hace ver que las probetas de 7 días hay un cierto desnivel de fisuras, ya que en las probetas de 28 días se tiene una regularidad de ellas.

d) Entrando al tema de las probetas con implementación de carga haciendo la verificación de las probetas a los 7, 14 y 28 días con implementación de aditivos por la simulación de carga obteniendo los siguientes resultados y su diagrama de barras a dichas edades:

ADITIVO SIKAMENT N – 100.

PROBETAS DE PRUEBA	CLASIFICACION SEGÚN SU ORIGEN DE FISURACION	PORCENTAJE DE FISURACION
PROBETAS CON ADITIVO SIKAMENT N-100 A LOS 7 DIAS	FATIGA	0.41 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKAMENT N-100 A LOS 28 DIAS	FATIGA	0.41 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKAMENT N-100 A LOS 28 DIAS	FATIGA	0.31 %

Tabla 67. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Fatiga a los 7, 14 y 28 Días

Diagrama de Barras de las fisuraciones en las probetas a los 7, 14 Y 28 días por fatiga:

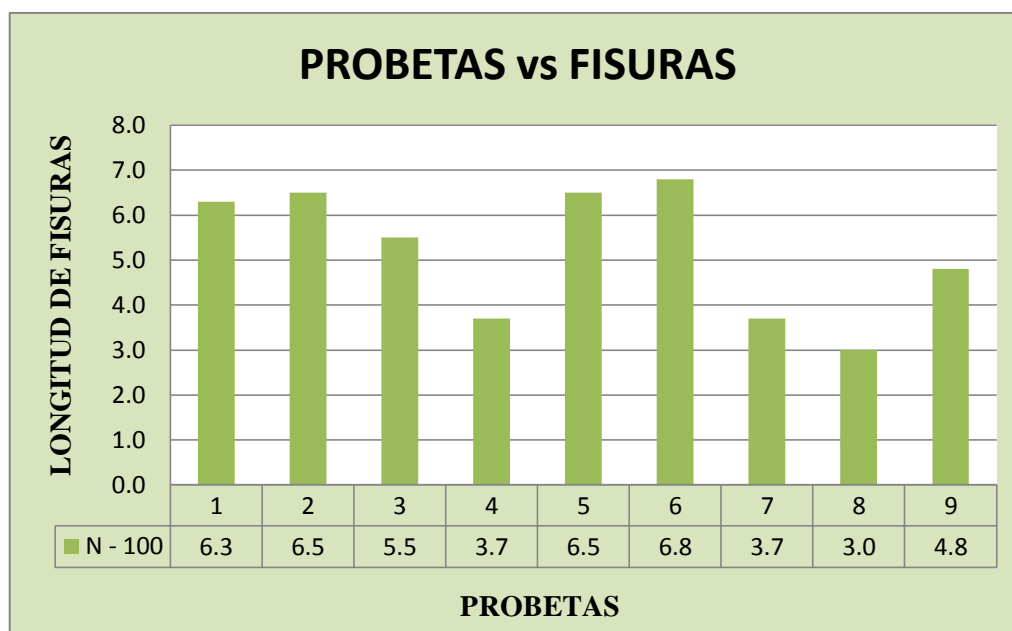


Tabla 68. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 Y 28 Días por Fatiga

Curvas de las fisuraciones en las probetas a los 7,14 y 28 días por fatiga:

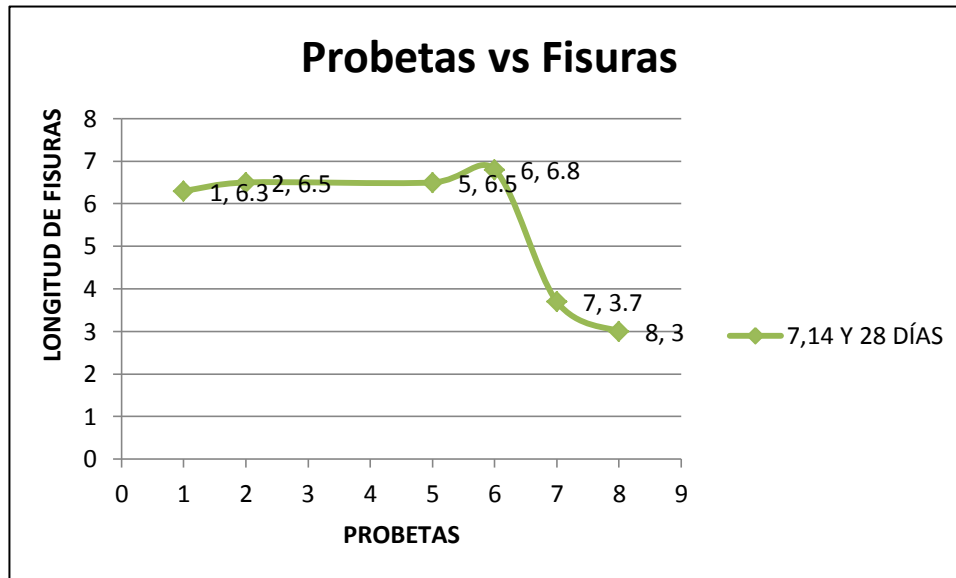


Tabla 69. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 y 28 Días por Fatiga N-100

Observación.- Dada las observaciones y los datos obtenidos las probetas a 7 días por fatiga se tiene un porcentaje de fisuración de 0.41 %, a 14 días por fatiga se tiene un porcentaje de 0.41% y a 28 días por fatiga se tiene un porcentaje de 0.31%.

En el diagrama de barras y en las curvas nos refleja las longitudes en función de las probetas, que las probetas de 7, 14 días en comparación con las de 28 días tiene las longitudes mayores, esto en consideración nos hace ver que las probetas a menor tiempo van a tener más longitud de fisuración que las de mayor tiempo.

NOTA: El diagrama de barras como las curvas, se diseñaron con todos los tiempos ya que cada tiempo contaba de 3 probetas cada uno que en total fueron 9 probetas con el aditivo Sikament N – 100.

ADITIVO SIKA - AER.

PROBETAS DE PRUEBA	CLASIFICACION SEGÚN SU ORIGEN DE FISURACION	PORCENTAJE DE FISURACION
PROBETAS CON ADITIVO SIKA – AER A LOS 7 DIAS	FATIGA	0.32 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKA – AER A LOS 28 DIAS	FATIGA	0.38 %
PROBETAS CON ADITIVO SIKA – AER A LOS 28 DIAS	FATIGA	0.48 %

Tabla 70. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Fatiga a los 7, 14 y 28 Días

Diagrama de Barras de las fisuraciones en las probetas a los 7, 14 Y 28 días por fatiga:

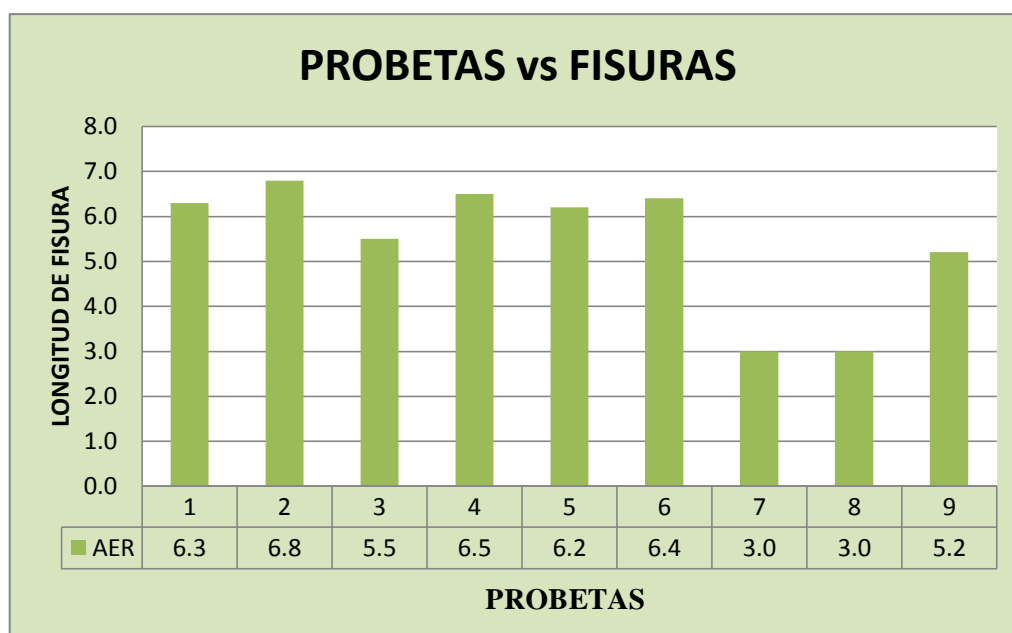


Tabla 71. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 Y 28 Días por Fatiga

Curvas de las fisuraciones en las probetas a los 7,14 y 28 días por fatiga:

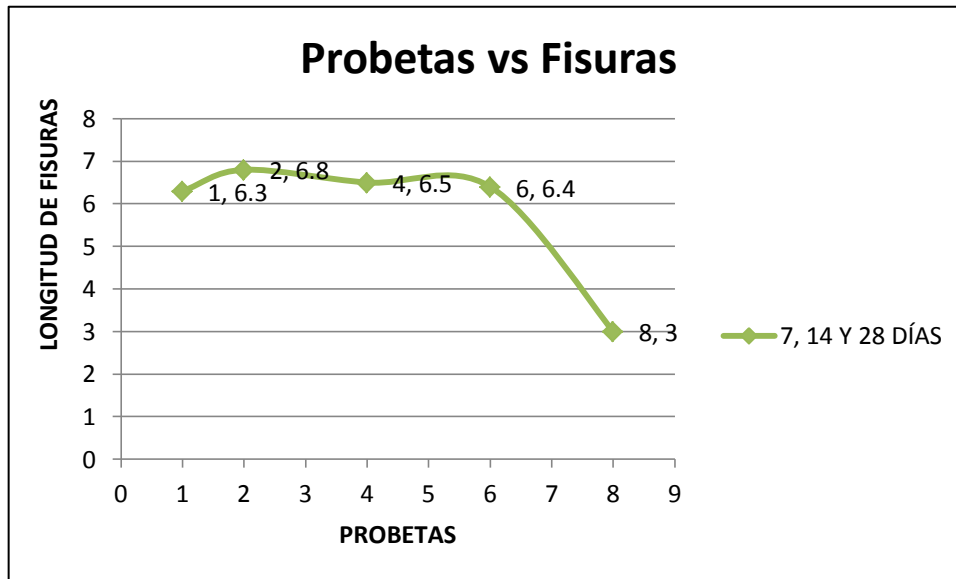


Tabla 72. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 y 28 Días por Fatiga SIK AER

Observación.- Dada las observaciones y los datos obtenidos las probetas a 7 días por fatiga se tiene un porcentaje de fisuración de 0.32 %, a 14 días por fatiga se tiene un porcentaje de 0.38% y a 28 días por fatiga se tiene un porcentaje de 0.48%.

En el diagrama de barras y en las curvas nos refleja las longitudes en función de las probetas, que las probetas de 7, 14 días en comparación con las de 28 días tiene las longitudes mayores, esto en consideración nos hace ver que las probetas a menor tiempo van a tener más longitud de fisuración que las de mayor tiempo.

NOTA: El diagrama de barras se lo diseño con todos los tiempos ya que cada tiempo contaba de 3 probetas cada uno que en total fueron 9 probetas con el aditivo Sika - AER.

- e) Llegando a los resultados finales vamos a dar a conocer las comparaciones tanto por contracción plástica como por fatiga de las probetas con y sin implementación de aditivos.

No se pudo evidenciar gráficamente, la diferencia por contracción plástica ya que con la implementación de aditivos no se figuro ninguna fisuración, en vista de esto la aplicación de los aditivos mejora a la disminución de fisuración.

Para evidenciar gráficamente los resultados obtenidos se hizo este diagrama para ver sus diferencias entre ambos.

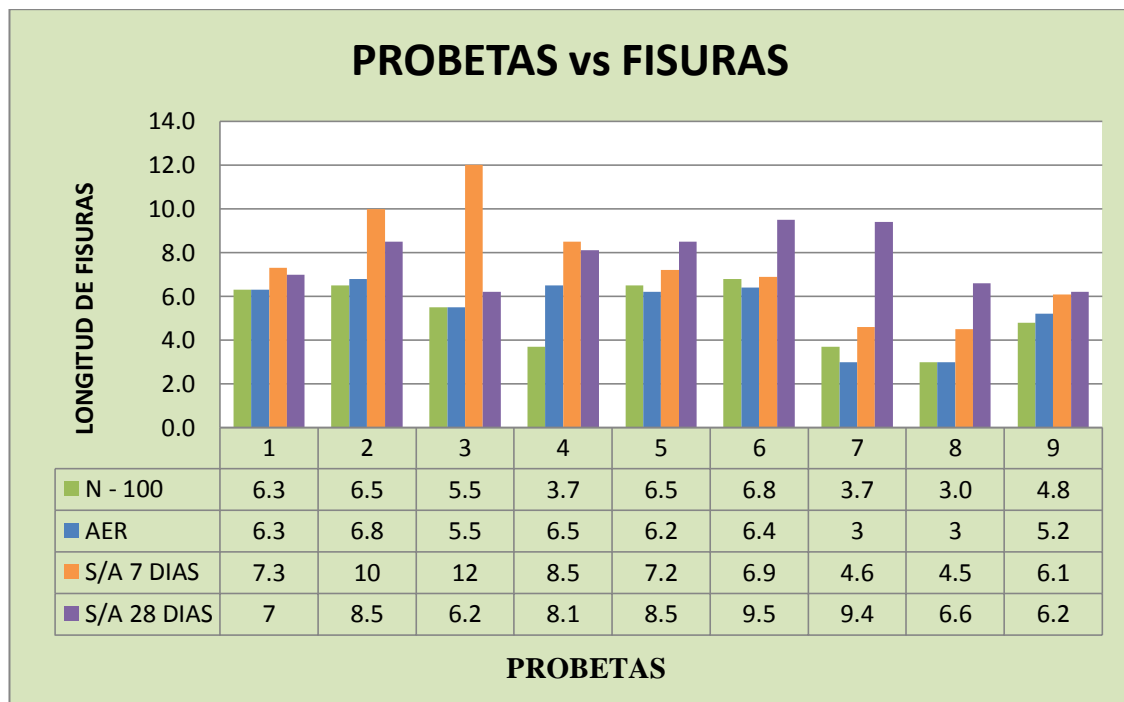


Tabla 73. Diagrama de Barras en Función de la Comparación entre Probetas con y sin Aditivo.

Observación.- Dada las observaciones y los datos obtenidos las probetas se puede verificar que con la inclusión de dichos aditivos se ve la mejoría notablemente con relación a las probetas sin aditivo, en conclusión la adición de estos aditivos como ser el N-100 reductor de agua y el Aer incorporador de aire realmente reducen y nos ayudan a las fisuraciones en pavimentos rígidos.

f) Resultados de la aplicación de carga en probetas con y sin aditivos.

SIN ADITIVO.

Probetas sin aditivo a 7 y 28 días con implementación de carga.

APLICACIÓN DE CARGA	MATERIAL	% DE REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	SIN ADITIVO A LOS 7 DIAS	0%
	SIN ADITIVO A LOS 28 DIAS	0%
5 TONELADAS	SIN ADITIVO A LOS 7 DIAS	66.37 %
	SIN ADITIVO A LOS 28 DIAS	22.22 %
8 TONELADAS	SIN ADITIVO A LOS 7 DIAS	88.89 %
	SIN ADITIVO A LOS 28 DIAS	66.67 %

Tabla 74. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas sin Aditivo.

CON ADITIVO

Probetas con aditivo a 7 días con implementación de carga.

APLICACIÓN DE CARGA	MATERIAL	% DE REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	0 %
5 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	0 %
8 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	33.33 %
11 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	33.33 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	66.67 %

Tabla 75. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas con Aditivo.

Probetas con aditivo a 14 días con implementación de carga.

APLICACIÓN DE CARGA	MATERIAL	% DE REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	0 %
5 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	0 %
8 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	33.33 %
11 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	33.33 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	66.67 %

Tabla 76. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas con Aditivo.

Probetas con aditivo a 28 días con implementación de carga.

APLICACIÓN DE CARGA	MATERIAL	% DE REFLEJO DE FISURACION
3 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	0 %
5 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	0 %
8 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	0 %
11 TONELADAS	ADITIVO N-100 A LOS 7 DIAS	0 %
	ADITIVO AER A LOS 7 DIAS	33.33 %

Tabla 77. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas con Aditivo.

Observación.- Dada las observaciones y los datos obtenidos las probetas en aplicación de carga se puede evidenciar que con la adición de aditivos aparte de reducir fisuración, de igual manera mejora su resistencia y así reduce de manera evidente las fisuras en simulación carga, que las probetas que no tienen aditivo ya que estas tienden a fisurarse a menor aplicación de carga como se ve en las graficas.

g) Análisis de resistencias con y sin aditivos.

Haciendo un análisis de resistencias con y sin la incorporación de aditivos solo se llegó a ver la resistencia de una probeta de cada edad y material, esto se logró con llegar a su punto máximo de fatiga que es la ruptura de la probeta que se dio una de cada una a los 7 y 28 días sin aditivos, y una de cada una con cada aditivos N-100 y AER a los 7, 14 y 28 días como se puede ver en el cuadro, la dosificación ACI da muy buenos resultados llegando a la resistencia requerida en la dosificación, dado que nuestra investigación no se trataba de romper probetas ni de ver sus resistencias finales con y sin aditivos, sino de ver el tema de fisuras, que se realizó al agregar carga hasta la primera fisura que se genere para poder medir y observar sus dimensiones de fisuraciones.

Probeta	Edad	Material	KN.	Kg.	Área cm2.	Resistencia Kg. /cm2.	Resistencia Mpa
1	7	Sin Aditivo	440	44867.50	176.71	253.90	24.90
10	28	Sin Aditivo	475	48436.51	176.71	274.10	26.88
1	7	N-100	510	52005.52	176.71	294.30	28.86
4	14	N-100	530	54044.95	176.71	305.84	29.99
7	28	N-100	555	56594.24	176.71	320.27	31.41
1	7	AER	465	47416.79	176.71	268.33	26.32
4	14	AER	486	49558.20	176.71	280.45	27.50
7	28	AER	500	50985.80	176.71	288.53	28.30

Tabla 78. Análisis de Resistencias con y sin Aditivo.

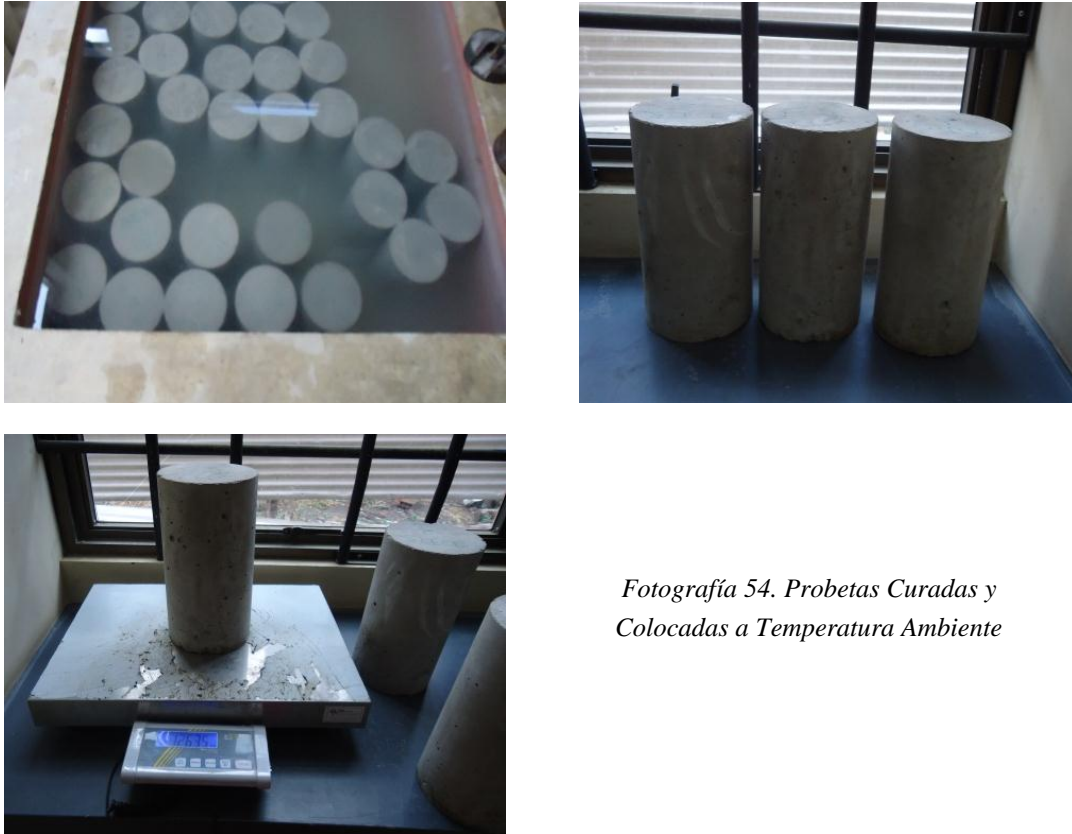
h) Comparación de probetas curadas.

Asiando un análisis de estos tipos de probetas con curado solo se dejaron tres probetas ya que esta investigación no se basaba con probetas de curado, estas tres probetas eran de prueba para la práctica de la dosificación antes de empezar la investigación dado que suponíamos que todas iban a ser curadas, pero al consultar con el docente guía, no podríamos dejar las probetas en curado debido a que las fisuraciones podrían darse o aparecer en un determinado tiempo que no cuenta con el tiempo de esta investigación, aclarado la duda se hizo el realizado para la dosificación sin el curado correspondiente para ver si genera fisuras en condiciones mas criticas.

Haciendo una comparación de las probetas con curado, estas tres probetas se dejaron por el lapso de 13 días de curado sin implementación de aditivos, se deja temperatura ambiente hasta los 20 días sin ninguna aparición de fisuras, se llega a la conclusión en la siguiente tabla.

Probeta	Material	Edad de Curado	Primer Día	Segundo Día	Tercer Día	Cuarto Día	Quinto Día	Sexto Día	Séptimo Día
1	Sin Aditivo	13 Días	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F
2	Sin Aditivo	13 Días	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F
3	Sin Aditivo	13 Días	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F	S/F

Tabla 79. Análisis de Fisuración con Curado y sin Aditivo.



Fotografía 54. Probetas Curadas y Colocadas a Temperatura Ambiente

Estas probetas llevadas a fatiga llegaron satisfactoriamente a la resistencia dada en la dosificación ACI 211, superando la resistencia de 250 Kg/cm^2 como se ve en la siguiente tabla:

Probeta	Edad	Material	KN.	Kg.	Área cm ² .	Resistencia Kg./cm ² .	Resistencia Mpa
1	12	Sin Aditivo	480	48946.37	176.71	276.99	27.16
2	12	Sin Aditivo	495	50475.94	176.71	285.64	28.01
3	12	Sin Aditivo	460	46906.94	176.71	265.45	26.03

Tabla 80. Análisis de Resistencia con Curado y sin Aditivo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se concluye que la investigación que nos permitió evaluar los efectos producidos por los aditivos Sikament N-100 y Sika AER en la fisuración de los hormigones de un pavimento rígido.
- Se evidencia que los aditivos tienen un efecto favorable en la reducción de la fisuración temprana de los hormigones de pavimentos.
- Para la investigación se utilizó un hormigón cuyos agregados y cemento cumplen con todas las especificaciones y cuya dosificación fue con una relación de proporciones 1: 2,3: 3,3., usando Sikament N-100 y 1: 2,1: 3,1 con Sika AER.
- Para la investigación con el propósito de obtener una información confiable sobre la variable investigada es que se eligió como establece la ASTM en prueba de materiales de hormigón la ejecución mínima de un pastón de 9 cilindros, sin embargo también establece que debe tener en la investigación un mínimo de 30 datos de comparación, en ese sentido se determinó un número de dos pastones (18 probetas) con aditivo similar cantidad sin aditivo, haciendo un total de 36 probetas.
- Se establece que hay una gama importante de aditivos que se pueden utilizar en hormigones en general, sin embargo de todas las posibilidades se eligieron los aditivos Sikament 180 y Sika AER, porque estos son los apropiados para evitar la fisuración a través de la retardación del fraguado y la inclusión de aire.
- Para la investigación sobre el efecto que se tiene los aditivos de Sikament N-100 y Sika AER en el proceso de fisuración, de acuerdo a recomendaciones del fabricante se utilizó en Sikament N-100 2% en peso y Sika AER 0,4 ml/Kg de cemento.

- Con el objeto de generar mayor fisuración temprana en las probetas de hormigón se restringió el curado de las mismas de manera que se simule una condición más crítica.
- En la evaluación de la incidencia de la fisuración se comprueba que por contracción plástica las fisuras a 7 días están en el orden de 0,34% a 1,31% mientras que con aditivo la fisuración baja a 0%.
- En la evaluación de la incidencia de la fisuración se comprueba que por fatiga las fisuras a los 7 días están en el orden de 0,14 a 0,09 % mientras que con aditivo las fisuras bajan a un 0,08%
- Para garantizar la calidad de los aditivos es necesario disponer de la normativa correspondiente sobre las características y especificaciones correspondientes, así como sobre los procedimientos operatorios para determinarlas.
- En la investigación se simuló el comportamiento del hormigón en plataforma sobre el efecto de la carga, sería ideal contar con una pista experimental sin embargo al no disponer se optó por generar carga sobre las probetas, lo cual no es igual pero mantiene la conceptualización inicial que la carga de tráfico es transmitida a través de las ruedas de carácter puntual, lo que podemos simular con la prensa, la variación está en que la carga con la prensa en periodos más cortos que los que se dan en la plataforma ante el paso de los vehículos.
- En la comparación de probetas curadas no se vio fisuraciones, como ya se dijo debido a que las fisuraciones podrán darse en un tiempo transcurrido, que no es tema de nuestra investigación, pero se ve que con el curado puede prolongarse la aparición de fisuras y creo que con la adición de aditivos y el curado pueden ser un aporte muy bueno para la disminución de fisuración en pavimentos rígidos
- Tras la investigación sobre el tema de fisuración en pavimentos rígidos se llega a la conclusión de que realmente la adición de estos aditivos hacen que reduzca en forma importante las fisuras y no solo en el fenómeno de contracción plástica, sino también a implementación de carga.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es muy importante obtener buen banco de materiales ya que nos ayudo mucho en la caracterización de materiales.
- Hay que tener mucho cuidado cuando se esta haciendo el calculo de la dosificación porque es muy importante que tengamos una dosificación buena para así mismo tener un pavimento resistente y además para que con la adición de aditivos mejore de tal manera que ayude a nuestro propósito de nuestra investigación.
- Al momento e estar mezclando los materiales y de aplicar los aditivos hay que tener mucho en cuenta la especificación de dichos aditivos porque puede variar mucho si no se dosifica como lo especifica el producto.
- Se tiene que ser constante para ver las fisuraciones en todos los días no se tiene que descuidar ya que pueden aparecer un día y al siguiente se puede prolongar y el dato es muy importante en esta investigación.
- Hay que ser muy atento en el sentido del tema de fotografías porque en ellas refleja toda nuestra investigación y da constancia que realizamos dicha tesis de investigación.
- Es conveniente insistir acerca de la importancia de la utilización de aditivos en pavimentos rígidos para que podamos garantizar resultados que atiendan los requerimientos de calidad de un pavimento rígido pero que no demanden costos elevados a una construcción de un pavimento rígido.
- Finalmente de debe hacer el trabajo con mucha anticipación ya que los periodos de tiempo son prolongados para que podamos realizar una buena tesis de grado y poder aprovechar al máximo lo que estamos investigando y aprendiendo ya que el trabajo hace al maestro.