



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FISICAS

ESCUELA INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

VÍAS

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN HORMIGÓN PARA LA CAPA DE
RODADURA CON FIBRAS DE ACERO Y SIN ELLAS PARA
UTILIZACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

AUTOR

CRISTHIAN STALIN RODRIGUEZ GILER

TUTOR

ING. HUMBERTO GUERRERO HERRERA MSC.

2016

GUAYAQUIL- ECUADOR

Agradecimiento

A Dios, que sin su ayuda nada podría ser posible, por haber bendecido con las personas q me rodean mis padres, hermanos y mis amigos que me apoyaron para poder conseguir este gran logro a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil que me brindaron sus enseñanzas y experiencias.

A la Universidad de Guayaquil, en especial a la Facultad, que a formados grandes profesionales y líderes, en la cual me supieron educar excelentes docentes en el transcurso de años de estudio, A mi tutor el Ing. Humberto Guerrero Herrera Msc, quien me guio en estos pasos finales y se encargó de la correcta ejecución de este proyecto de titulación.

Muchas gracias a todos.

Dedicatoria

A mi familia, ya que fueron ellos que siempre estuvieron a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles, por haberme enseñado que pese a cualquier adversidad, todo problema se puede superar y con perseverancia todo sueño se puede cumplir.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Santos Baquerizo M.Sc.

DECANO

Ing. Humberto Guerrero Herrera M.Sc.

TUTOR

Ing. Ciro Andrade Núñez M.Sc.

VOCAL

Ing. David Stay Cuello M.Sc.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

Art. XI.- del Reglamento Interno de Graduación de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este proyecto de titulación corresponde exclusivamente al autor, y el patrimonio intelectual de la Universidad de Guayaquil.

Cristhian Stalin Rodríguez Giler

CI: 1206817171

Resumen

El presente proyecto de titulación Análisis comparativo de un hormigón para capa de rodadura con fibras de acero y sin ellas en la utilización de un pavimento rígido mediante el aditamento de fibras metálicas, nos muestra una opción constructiva que intenta dar a conocer las ventajas y contribuciones que consiguen obtenerse al diseñar pavimentos rígidos mediante adición de fibras de acero con respecto a los métodos tradicionales, hormigón sin refuerzo para resistir esfuerzos de compresión y flexión en la masa del hormigón. Conjuntamente esto evalúa su desempeño a complicaciones comunes en el pavimento rígido como es el agrietamiento, fisuramiento, fallas longitudinales y transversales. Se ha logrado comprobar que el actual método constructivo el cual no se usa ningún tipo de reforzamiento no muestra una mejoría a los problemas mencionados anteriormente. Se analizará el comportamiento de una masa de hormigón tradicional de $f'c=280\text{Kg/cm}^2$ reforzado con fibras de acero para ensayar testigos cilíndricos y tipo vigas, las cuales ensayaremos y se tomó los resultados de dichos ensayos, mediante las normativas ASTM y MTOP, dominantes que cercioran la calidad de los ensayos al ser sometidos a esfuerzos de flexión y compresión. Para la correcta realización de los ensayos se usarán materiales certificados los cuales normalizan propiedades como, peso volumétrico, densidad, absorción y granulometría.

Índice General

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1) Introducción.....	1
1.2) Objetivos	4
1.2.1) Objetivo general.....	4
1.2.2) Objetivos específicos.....	4
1.3) Delimitación del tema.....	4
1.4) Planteamiento del problema.....	5
1.5) Elaboración de la metodología.....	6
1.6) Justificación.....	6

CAPÍTULO II

2.1) Marco teórico.....	8
2.1.1) Definición del hormigón.	8
2.1.2) Componentes y complementos del Hormigón.	8
2.1.3) Cemento.	8
2.1.4) Agua.	9
2.1.5) Agregado fino o arena.	10
2.1.6) Agregado grueso o piedra.	10
2.1.7) Propiedades del hormigón.....	11

2.1.8) Hormigón fresco	11
2.1.8.1 Trabajabilidad.....	11
2.1.8.2 Segregación	12
2.1.8.3 Tiempo de fraguado.	12
2.1.9) Hormigón endurecido.	12
2.1.9.1 Resistencia.....	12
2.2) Impermeabilidad y estanquidad.....	13
2.2.1.1 Estabilidad de volumen y control de fisuración.....	13
2.2.1.2 Durabilidad.	13
2.2.2) Dosificación	13
2.2.3) Fisuración del hormigón.....	13
2.2.4) Referencia histórica de la aplicación de las fibras	14
2.2.5) Evolución del hormigón reforzado con fibras de acero.	15
2.2.6) Definición de hormigón reforzado	15
2.2.7) Tipos de fibras	17
2.2.8) Fibras metálicas.....	17
2.2.9) Aplicaciones de las fibras de acero	20
2.2.9.1 Pisos y pavimentos.	21
2.2.9.2 Hormigón proyectado.	22
2.2.9.3 Elementos prefabricados.....	23
2.2.9.4 Otras aplicaciones.....	24

2.3) Aportes de las fibras de acero en el hormigón	24
2.3.1.1 Ductilidad.....	24
2.3.1.2 Compresión.....	25
2.3.1.3 Tenacidad.....	25
2.3.1.4 Cortante y torsión.....	25
2.3.1.5 Otros.....	25
2.3.2) Fibras DRAMIX RC80/60BM	25
2.3.2.1 Óptima resistencia a la fisuración.....	26
2.3.2.2 Alta resistencia a la tracción.....	26
2.3.2.3 Baja dosificación gracias a una elevada relación longitud-diámetro	27

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1) Marco metodológico	28
3.1.1) Ensayos de agregados	29
3.1.2) Análisis granulométrico del agregado fino y grueso	29
3.1.3) Diseño y dosificación de hormigón $f'c=280\text{kg/cm}^2$	30
3.1.4) Especificaciones del hormigón	31
3.1.5) Ensayos realizados durante el proceso de fabricación de la mezcla del hormigón	32
3.1.6) Ensayo de Revenimiento	33

3.1.7) Ensayo de temperatura de la mezcla del hormigón	33
3.1.8) Ensayos de hormigón endurecido	33
3.1.9) Ensayo de compresión en probetas cilíndricas.....	34
3.1.10) Ensayos de flexión de vigas	36

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1) Análisis de resultados, Recomendaciones y Conclusiones.....	39
4.1.1) Interpretación de resultados	39
4.1.2) Hormigón en estado fresco.....	39
4.1.2.1 Hormigón en estado endurecido	39
4.1.2.2 Ensayos de resistencia a la compresión del hormigón.....	39
4.1.2.3 Ensayo de flexión	41
4.1.3) Conclusiones	43
4.1.4) Recomendaciones	44

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Hormigón con fibras de acero.....	16
Ilustración 2: Sección típica de una fibra de acero.....	17
Ilustración 5: Ejemplo de diferentes formas de fibras metálicas.....	18
Ilustración 7: Pavimentos de hormigón reforzado con fibras de acero.....	21
Ilustración 8: Hormigón proyectado.....	22
Ilustración 9: Elementos prefabricados con hormigón con fibras de acero.....	23
Ilustración 10: Adición de la fibra de acero.....	26
Ilustración 11: Muestra de la tracción.....	26
Ilustración 12: Características de la fibra de acero.....	27
Ilustración 13: Maquina de ensayo a flexión.....	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Requisitos granulométricos.....	10
Tabla 2: Ensayos a realizar.....	28
Tabla 3: Dosificación por peso de materiales.....	30
Tabla 4: Porcentaje en el incremento del $F'c$ del hormigón.....	34
Tabla 5: Ensayos de compresión 7 días.....	35
Tabla 6: Ensayo de compresión 14 días.....	35
Tabla 7: Ensayo de compresión 28 días.....	36
Tabla 8: Ensayos a flexión.....	38
Tabla 9: Módulo de rotura promedio.....	42
Tabla 10: Asentamiento de la mezcla.....	43

CAPÍTULO I

1.1) Introducción

El hormigón es uno de los materiales principales utilizados por el hombre en el área de la construcción. Esto se debe a su gran, durabilidad y resistencia que nos proporciona en estado endurecido. El manejo del hormigón se da en un extenso campo de aplicación, entre los cuales están, carreteras, edificios, pavimentos, presas, puentes, etc.

Las primeras investigaciones para la formación de ideas han dado como resultado efectuar nuevas y variadas elaboraciones con distintos materiales y diferentes elementos en el momento de construir. La construcción de pavimentos es una de las obras de ingeniería civil más antigua y con mayor importancia durante el transcurso de la historia. Los elementos aplicados se han modificado, la metodología de construcción ha cambiado constantemente, todo esto a causa de elementos como la zona y recurso de los materiales que existían en el sitio de la construcción, se sabe que se han usado materiales como cal, arcilla, mezcla entre barro con gravas, lodos lo que da como efecto diferentes resistencia y comportamiento debido a las propiedades y características de los materiales utilizados en la construcción de los pavimentos han sido diferentes.

En el presente trabajo de titulación se hará énfasis en el hormigón aplicado a pavimentos rígidos, muchos proyectos asociados con los pavimentos rígidos se vienen desarrollando gracias al aporte de nuevas metodologías, tecnologías y técnicas, las cuales mejoran los procesos de producción y construcción.

Las investigaciones que se vienen desarrollando a partir del siglo XX, han logrado desarrollar nuevas y mejores técnicas concernientes al hormigón aplicado a

pavimentos rígidos. Unas de las grandes contribuciones es la adición de las fibras metálicas o sintéticas en la masa de hormigón. El hormigón, como se ha estudiado ampliamente, tiene mucha resistencia a esfuerzos de compresión, a excepción, en la presencia de esfuerzos de tracción donde falla críticamente. La adición de las fibras, principalmente metálicas, hace que propiedades físicas y mecánicas del hormigón obtengan una gran mejora.

Los sucesivos capítulos del presente trabajo de titulación se ampliarán detalladamente como vienen apareciendo las diferentes investigaciones del hormigón y de las adiciones que mejoran sus características. De igual forma, se expondrá los cambios que se genera en las mezclas del hormigón al utilizar fibras de acero presentes en el mercado ecuatoriano y así, desarrollar una comparación entre los diferentes métodos utilizados actualmente en la mezcla de hormigón para capa de rodadura.

El presente trabajo investigativo quedo incluido en una introducción que forma parte del capítulo I y III capítulos más.

El capítulo I se realiza el planteamiento, formulación del problema, objetivos generales y específicos, elaboración de la metodología, delimitación y el planteamiento del problema.

En el capítulo II se desarrolla el marco teórico el cuándo nos muestra los antecedentes que va a tener el trabajo y el sustento respectivo de los diferentes materiales y definiciones de cada tipo de material y ensayos que se van a realizar en el desarrollo de la investigación.

En el capítulo III se desarrollara el marco metodológico aquí nos enseñará el nivel que tendrá este trabajo investigativo, diseño de la investigación de los materiales y

ensayos, instrumentos de recolección de datos, desarrollo de la investigación experimental y sus respectivos procedimientos.

En el capítulo IV se desarrollará el análisis de resultados comparando entre los hormigones propuestos analizando los resultados de los ensayos de laboratorio, mostrando así como estos influyen en los planteamientos propuestos en capítulos anteriores.

1.2) Objetivos

1.2.1) Objetivo general.

Comparar analíticamente las propiedades mecánicas (flexión, compresión) del hormigón sin refuerzo respecto al hormigón reforzado con fibras de acero Dramix, mediante el análisis de resultados de los ensayos de compresión y flexión.

1.2.2) Objetivos específicos.

- Diseñar mezcla del hormigón para una resistencia $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.
- Analizar el hormigón con fibras de acero en base a los ensayos de laboratorios necesarios para el pavimento rígido que permitan cuantificar sus características mecánicas.
- Comparar los resultados del hormigón con fibras de acero con el hormigón de pavimento rígido tradicional.

1.3) Delimitación del tema

El presente proyecto de titulación se delimitará en analizar y comparar la contribución estructural que aporta el uso de fibras metálicas en las propiedades físicas y mecánicas a la masa de hormigón, para el uso de capa de rodadura de un pavimento rígido.

Esta investigación se apuntará prácticamente en evaluar un diseño de hormigón tradicional, al cual se le añadirán fibras metálicas, lo que cambiaría la composición y estructura de la mezcla, tratando de mejorar su desempeño y comportamiento a la aplicación de cargas de compresión y flexión.

Este estudio se realizó con la ayuda del laboratorio Arnaldo Ruffilli de la Universidad de Guayaquil, donde se efectuó los ensayos correspondientes al

hormigón con las fibras de acero y sin ellas. Los resultados obtenidos a las pruebas de flexión y compresión serán comparados entre los hormigones propuestos.

1.4) Planteamiento del problema

Durante la elaboración del presente trabajo se utilizarán fibra metálica Dramix que son filamentos de acero, alterados y cortados en diferentes longitudes para el refuerzo de hormigón, mortero u otros materiales combinados. Al usar fibras de acero Dramix de alta relación de esbeltez se pueden reducir el espesor de la losa, aumentando el espaciamiento entre las juntas de dilatación, reduciendo así los tiempos de obra y ahorro en el costo de hormigón por la reducción de espesores.

Las ventajas del hormigón con fibras metálicas son: (1) hormigón dúctil con una gran cantidad de soporte de carga, las fibras engomadas en peines se pueden trabajar y mezclar muy sencillamente, su forma alargada y fina ofrece beneficios en la repartición de esfuerzos; (2) En el control eficaz de fisuras, los extremos de la fibra están adaptados para hacer operable con un buen anclaje y una fisuración controlada y reducida; (3) Alta resistencia a la tracción, se fabrican con alambre de acero trefilado en frío de alta calidad, a fin de garantizar una elevada resistencia a la tracción, estas especificaciones se basan en la norma ecuatoriana (NTE INEN 2048 del año 2009) . (Ideal Alambrec, 2012)

Durante los últimos años en el Ecuador se han presentado un aumento considerable en los materiales de la construcción lo cual trae como consecuencia el aumento de las construcciones Y en el mantenimiento tanto preventivo como correctivos de los pavimentos de hormigón.

1.5) Elaboración de la metodología

La metodología es un conjunto de procedimientos y técnicas específicas consideradas adecuadas para el análisis y diseño de los hormigones propuestos, se realizarán los ensayos de los materiales con la aplicación de las normas ASTM Y MTOP.

La metodología y estudios consistirán en realizar pruebas experimentales de laboratorio que ayuden a establecer de manera precisa parámetros reales, que sirvan de apoyo para implantar recomendaciones técnicas a la hora de implementar fibras metálicas como refuerzo estructural.

Debido a que los datos obtenidos en este proyecto investigativo son de pruebas empíricas e investigaciones del autor, este proyecto busca establecer resultados experimentales reales los cuales servirán de guía y recomendación propias de dicho trabajo.

1.6) Justificación

Es de suma importancia conocer cuál es la influencia de las fibras de acero en la masa de hormigón, ya que al realizar estudios para la utilización de distintas mezclas de pavimentos rígidos, es importante conocer exactamente el comportamiento de la fibra metálica teniendo en cuenta la mejoría que se va a tener estando sometida a esfuerzos de flexión y compresión. Debido a esto puede existir una disminución significativa en los espesores de losa, lo cual a su vez influiría considerablemente de los tiempos para la ejecución de la obra.

El principal propósito del presente proyecto busca dar solución y aplicación de tecnologías alternativas a las ya frecuentes en nuestro medio, ya que por método

tradicional casi siempre se ha buscado reforzar los pavimentos de hormigón rígido mediante la utilización de mallas metálicas, sin darnos cuenta que en nuestro medio existen soluciones alternativas como la utilización de fibras de acero.

El hormigón reforzado con fibras metálicas, consiste principalmente en la utilización de estos elementos mencionados, los cuales tienen longitudes pequeñas y espesores mínimos, tiene cualidades que lo convierten en una alternativa valiosa ya que aportan una mejor distribución que la ofrecida por las mallas o armaduras metálicas frente a problemas de fisuración y fallas del hormigón, se encuentra distribuido homogéneamente en el interior de la masa de hormigón y no solo en el centro del elemento, ayudando a soportar esfuerzos por las cargas superior, las fibras ayudaran al incremento de resistencia y soporte de esfuerzo ayudando a ganar durabilidad al elemento, debido a esto se lo ve como una alternativa y prometedora a ser tomada en cuenta.

CAPÍTULO II

2.1) Marco teórico

2.1.1) Definición del hormigón.

El hormigón, es un material homogéneo compuesto por dos elementos:

Pasta y agregados o áridos. La pasta es una mezcla de cemento y agua, la cual une a los agregados finos y gruesos, formando así un material sólido similar a una roca (solo en apariencia no en propiedades). Esto se debe al endurecimiento de la pasta, la cual se da mediante una reacción química entre las partículas de cemento y agua. (HARMSEN, 2005)

2.1.2) Componentes y complementos del Hormigón.

El hormigón es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El hormigón, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. En teoría, el volumen de mortero solo debería llenar el volumen entre partículas. En la práctica, este volumen es mayor por el uso de una mayor cantidad de mortero para asegurar que no se formen vacíos. Para obtener un buen hormigón no solo basta contar con materiales de buena calidad mezclados en proporciones correctas. Es necesario también tener en cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado. (HARMSEN, 2005, pág. 11)

2.1.3) Cemento.

El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. Está constituido por los siguientes componentes:

- Silicato tricálcico, el cual define su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.
- Silicato dicálcico, el cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- Aluminato tricálcico, es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es preciso añadirle yeso durante la fabricación del cemento.
- Aluminio-Ferrito Tetracálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- Componentes menores: óxidos de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio. (HARMSEN, 2005, pág. 11)

2.1.4) Agua.

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materiales orgánicos. En general, el agua potable es adecuada para el hormigón. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se le usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Podrá emplearse agua no potable en la elaboración del hormigón, siempre que se demuestre su idoneidad. Para ello se fabricaran cubos de mortero elaborados con ella y se ensayaran según la norma ASTM-C-109/109M-99. Si las resistencias obtenidas a los 7 y 28 días son por lo menos el 90% de las esperadas en morteros similares elaboradas a base de agua potable el líquido es aceptable (ACI-3.4.3). Es conveniente verificar, adicionalmente que no contengan agentes que puedan reaccionar negativamente con el esfuerzo. (HARMSEN, 2005, pág. 12)

2.1.5) Agregado fino o arena.

Tanto el agregado fino como el grueso, constituyen los elementos inertes del hormigón, ya que no interviene en las reacciones químicas entre cemento y agua. El agregado fino debe ser durable fuerte, limpio, duro y libre de materiales impuros como el polvo, limo, pizarra, álcalis y materias orgánicas. No debe tener más de 5% de arcilla o limos ni más de 1.5% de materias orgánicas. Sus partículas deben tener un tamaño menor a 1/4" y su gradación debe satisfacer los requisitos propuestos en la norma ASTM-C-33-99, los cuales se muestran en la tabla 1 (HARMSEN, 2005, pág. 12)

Tabla 1: Requisitos granulométricos

REQUISITOS GRANULOMETRICOS QUE DEBEN SER SATISFECHOS POR EL AGREGADO FINO	
TAMIZ ESTANDAR	% EN PESO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ
3/8"	100
#4	95 A 100
#8	80 A 100
#16	50 A 85
#30	25 A 60
#50	5 A 30
#100	0 A 10

Fuente: ASTM

2.1.6) Agregado grueso o piedra.

Los agregados gruesos para el hormigón de cemento Portland estarán formados por grava, roca triturada o una mezcla de éstas que cumpla con los requisitos de la norma INEN 872. Los agregados se compondrán de partículas o fragmentos resistentes y duros, libres de material vegetal, arcilla u otro material inconveniente, sin exceso de partículas alargadas o planas. (MTOP, 2002, pág. 43)

2.1.7) Propiedades del hormigón.

El hormigón tiene dos estados principales, el estado fresco y el estado endurecido. Cada uno de cada estos estados posee varias características ya que varían en comportamiento y uso. Para esto se dividirán las propiedades en los estados correspondientes.

2.1.8) Hormigón fresco

Se presentan las siguientes propiedades:

2.1.8.1 Trabajabilidad

En la tecnología del concreto, la palabra trabajabilidad se emplea con dos acepciones distintas. Una general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del cono de Abrams. Esta segunda acepción es discutible porque, en realidad, el ensayo es parcialmente representativo del conjunto de propiedades referidas. (PORRERO, R., BRASES., & VELAZCO, 2009, pág. 46)

Se define como la facilidad de colocación, consolidación y acabado del hormigón en estado fresco. La medición de la trabajabilidad es llevada a cabo mediante el ensayo conocido como el cono de Abrams, el cual arrojará como resultado una medida cuantitativa conocida como revenimiento.

2.1.8.2 Segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos; líquido (agua), polvo (cemento arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, cuya mezcla tiene la natural tendencia a separarse unos de otros. La separación del agua de los restantes componentes de la mezcla, cuando queda flotando sobre el material recién colocado, se conoce como exudación o sangrado, y tiene su propio desarrollo evolutivo. Por otro lado, la tendencia a separarse los granos gruesos del mortero, lo que se conoce como segregación, depende de la viscosidad y de la tixotropía, y se relaciona con la cantidad y el tamaño de los granos. (PORRERO, R., BRASES., & VELAZCO, 2009, pág. 46)

2.1.8.3 Tiempo de fraguado.

El tiempo de fraguado es lo que demora el hormigón en llegar a su estado endurecido.

2.1.9) Hormigón endurecido.

Este estado se da una vez que la mezcla ya ha fraguado y presenta las siguientes propiedades:

2.1.9.1 Resistencia.

Es la capacidad que posee el hormigón de resistir fuerzas de compresión; en el caso de la flexión y tracción tiene menor resistencia por eso se fue desarrollando el hormigón armado, ya que el acero con mejores características para resistir la tracción, trabaja en equipo con el hormigón para darle una mejor resistencia frente a estos dos esfuerzos.

2.2) Impermeabilidad y estanquidad.

La impermeabilidad viene a ser la propiedad del hormigón de resistir la penetración del agua y el estancamiento o hermeticidad es la habilidad para la retención del agua.

2.2.1.1 Estabilidad de volumen y control de fisuración.

El hormigón es un material que usualmente cambia su volumen, puede dilatarse como contraerse, debido a varias propiedades, tales como la, temperatura y tensiones. Debido a estos cambios se pueden producir fisuraciones y una manera de disiparlas es por medio de juntas, las cuales ranuras que se hacen en el hormigón, por lo general en losas.

2.2.1.2 Durabilidad.

Es la propiedad del hormigón para resistir a diferentes tipos de ambientes, agentes químicos y desgaste. La durabilidad cambia según el tipo de hormigón y de la exposición del mismo al medio que lo rodea.

2.2.2) Dosificación

La dosificación es el control por masa o volumen de los elementos del hormigón, habitualmente la medida debe ser dada en masa, debido a que la totalidad de estos pueden ser medidos con mayor pericia en esta unidad.

2.2.3) Fisuración del hormigón

Este es un contenido notable debido a que una de las contribuciones más significativas de las fibras es la minimización o control de la fisuración en el hormigón. La fisuración se especifica como el resultado importante de la caída de la resistencia a la tracción del hormigón, además logran darse debido a la compresión y pueden

estar vigentes en cualquier tipo de estructura desde pavimentos rígidos, hasta todo género de obra civil en donde se pueda utilizar el hormigón. Dichas fisuras se pueden presentar en años, semanas, días e inclusive horas debido a diferentes principios. Esta investigación en el hormigón puede ayudar en el aspecto de las estructura; sin embargo, además sabe revelar fallas estructurales ya que debido a ellas, agentes químicos pueden ingresar en contacto con la armadura y disminuir la durabilidad del elemento estructural.

2.2.4) Referencia histórica de la aplicación de las fibras

A lo largo de la historia, se han perfeccionado diferentes investigaciones esencialmente dirigidas al hormigón y sus particularidades. A partir del año 2000 se viene observando un progreso como principal referente de construcción. Dichas indagaciones fundamentalmente se basan en optimizar el rendimiento del mismo.

Métodos nuevos comienzan mostrándose a partir del año 2000, por ejemplo hormigón de alta resistencia, así también como hormigón reforzado con fibras de acero o fibras sintéticas.

Las fibras como refuerzo no son un material manifiesto en la actualidad, remontándose hace 4000 años se manipulaba la fibra como aditamento para perfeccionar propiedades. Los modelos más claros que se tienen en realidad son; en la baja Mesopotamia, los adobes de barro cocidos al sol se construían con paja y hasta hace unos años se utilizaban pelos de cabra o de caballo para armar el yeso. De la misma manera, en el antiguo Egipto se introducían pajas al macizo arcilloso para la confección de ladrillos, dándole mayor resistencia y una buena manejabilidad. Dichas fibras naturales se utilizaron hasta el año de 1935 aproximadamente, y fue

cuando se inició el uso de fibras sintéticas. (SOTIL LEVY & ZEGARRA RIVEROS, 2015, pág. 39)

2.2.5) Evolución del hormigón reforzado con fibras de acero.

El inicio de los años 50 fue una época de nutridas investigaciones concernientes a hormigón reforzado con fibras de acero. Los trabajos realizados y que destacaron en la época fueron los de Romualdi, Batos y Mandel (1993). No es hasta la década de los 70 que se comenzó a utilizar en los países europeos, sobretodo en España, donde se utilizaban las fibras en diversos proyectos: revestimiento de túneles, pavimentos industriales, pavimentación de tableros de puentes, etc.

Dentro de esta época resalta el registro de la patente de I. Kennedy (España) la cual consistía en la implementación del proceso Hatschek, el cual producía láminas de cemento reforzado con fibras de asbesto o amianto para elaborar hormigón, sin embargo, entre 1970 y 1980 quedo inutilizado debido a los casos de problemas de salud que se generaba. (GUEVARA, 2015, pág. 11)

En la actualidad, la construcción de estructuras elaboradas con concreto reforzados con fibras metálicas viene teniendo gran éxito y aceptación, gracias a los diversos trabajos de investigación, revelando sus grandes ventajas y ampliando sus campos. Cabe resaltar su aplicación en ramas militares utilizándose hormigón reforzado con fibras en el blindado de hangares y recintos protegidos frente al impacto de proyectiles.

2.2.6) Definición de hormigón reforzado

El concreto puede ser reforzado mediante la colocación de barras de acero embebidas en su masa, dando origen al llamado concreto reforzado. El concreto también ha sido reforzado con otros elementos, tales como fibras vegetales, metálicas

o plásticas. Las primeras no han dado tan buenos resultados como las otras, debido a su menor durabilidad. (PORRERO, R., BRASES., & VELAZCO, 2009, pág. 32)

El hormigón reforzado con fibras de acero es una composición a partir de cemento hidráulico contenido agregados finos y gruesos y filamentos o fibras discretas discontinuas. Estructuralmente suministrarán una considerable energía de rotura, reemplazando plenamente los régimen supuestos de armaduras de acero. Por otra parte, del lado no estructural, las fibras suministran un valioso aumento en la resistencia al fisuramiento, así pues que el aumento de nuevas propiedades como por ejemplo, el aumento de la firmeza al fuego abrasión, impacto entre otros.

Cabe indicar, que el hormigón reforzado con fibras de acero está combinado fundamentalmente por los mismos materiales que un hormigón convencional y adicionalmente, fibras de acero. Como ya se mencionó, esta adición no sólo cambia o altera ciertas propiedades en estado endurecido, sino también lo hace en estado fresco, por lo que se exigen ciertas condiciones en sus componentes.

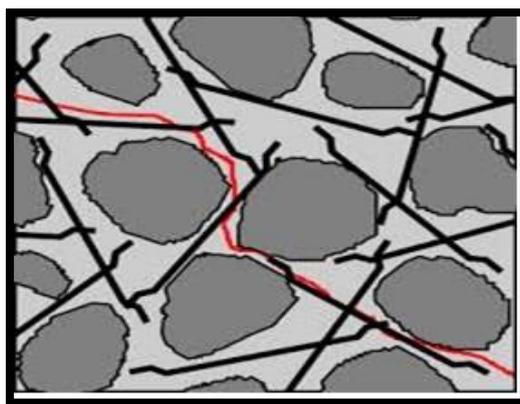


Ilustración 1: Hormigón con fibras de acero

Fuente: Catálogo ideal Alambrec Bekaert

2.2.7) Tipos de fibras

La adición de fibras a la masa de hormigón otorga positivas propiedades, ya sea en estado fresco o en estado endurecido. Es por esto que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Fibras estructurales: brindan una mayor energía de rotura y proporcionan mejora en la resistencia a la fisuración en estado endurecido.
- Fibras no estructurales: controlan la fisuración por retracción (estado fresco), así también como resistencia al fuego, abrasión e impacto.

2.2.8) Fibras metálicas

Se utilizan como refuerzo tridimensional en el hormigón, dispersas homogéneamente en el volumen de la masa de hormigón. Originalmente, las fibras de acero se identifican geométricamente por la longitud (L), por el diámetro equivalente (De) y anclaje en las extremidades, según como se puede ver en la siguiente figura.

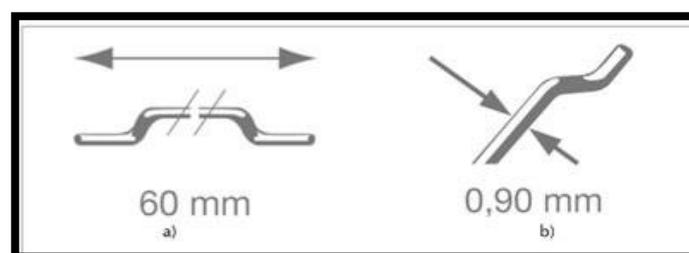


Ilustración 2: Sección típica de una fibra de acero

Fuente: Fibras-Maccaferri 2009

La relación entre la longitud y el diámetro equivalente se denomina esbeltez o factor (λ) y esta expresado de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{L}{De}$$

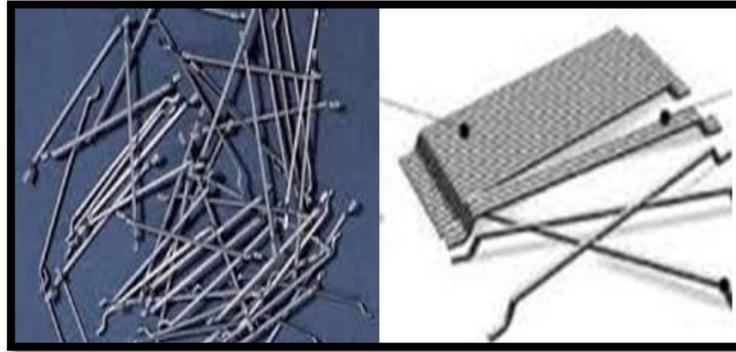


Ilustración 3: Ejemplo de fibras de acero sueltas y pegadas con anclaje en las extremidades.

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

La geometría de las fibras varía extensamente, teniendo diferente tipo de secciones, hasta variaciones en la forma longitudinal. Como se observa en la figura 6, la sección puede ser circular o cuadrada, la forma puede ser rectilínea o corrugada, entre otras variedades.

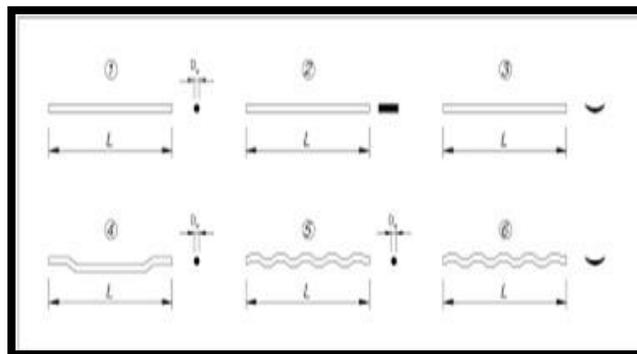


Ilustración 4: Ejemplo de diferentes formas de fibras metálicas.

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

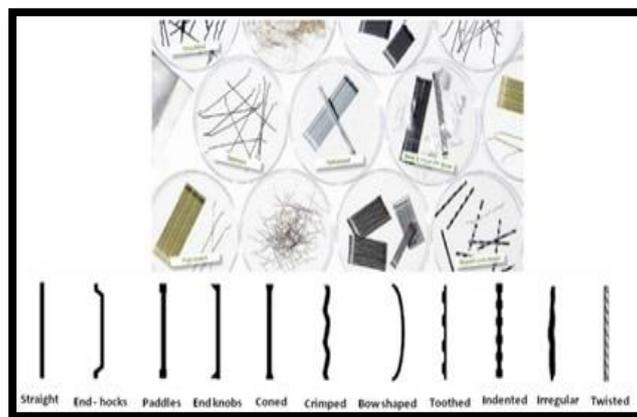


Ilustración 3: Ejemplo de diferentes formas de fibras metálicas

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

Las fibras de acero están consideradas como refuerzo primario del hormigón, por tener un alto módulo de elasticidad, no se limitan a la aplicación de control de fisuración. Las dimensiones oscilan entre 0.25 y 0.80 mm de diámetro y entre 10 y 75 mm de longitud. Existen varios métodos de obtención de fibras, según la norma ASTM-A-820, se califican en cuatro tipos:

- Tipo I: Alambre trefilado en frío
- Tipo II: Hojas sueltas
- Tipo III: Extraídos en fusión
- Tipo IV: Otros tipos de fibra.

El método de obtención más común es de Tipo I, las fibras de alambre trefilado en frío son procesadas a través de esferas de acero que son estiradas en forma de hilos de alambre de sección circular, para posteriormente, ser fruncidas para formar fibras deformadas.

Como se ha mencionado anteriormente, el refuerzo con fibras de acero discontinuas y aleatoriamente distribuidas en la pasta de hormigón, tienen como principal función controlar la propagación de fisuras (imagen 6), pues modifica el comportamiento, aumentando considerablemente la capacidad de energía.

El hormigón se transforma en un material con características frágil a dúctil. Este fenómeno ocurre porque las fibras crean puentes de transferencia de tensiones a través de las fisuras de bajo modulo, como es el caso de la retracción plástica en el hormigón.

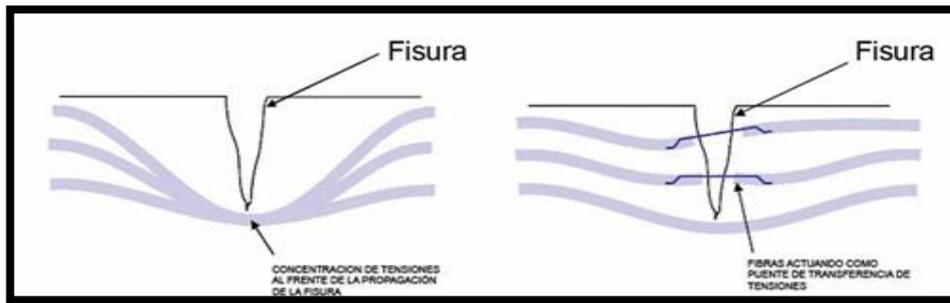


Ilustración 6: Mecanismo de control de propagación de las fisuras.

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

Las fibras de acero son más eficientes que otro tipo de fibra, gracias a su alta resistencia a la tracción, mayor módulo de elasticidad y la gran facilidad de adherencia entre la fibra y la matriz y posterior arrancamiento de las fibras. Se presentan una capacidad de resistencia post-fisuración, lo cual genera una redistribución de esfuerzos. Esta característica es de mucha utilidad para elementos de superficie continuos, como es el caso de pisos y pavimentos rígidos.

Más adelante se explicara a detalle los aportes que brindan las fibras de acero en la mezcla del hormigón.

2.2.9) Aplicaciones de las fibras de acero

Existe un campo muy amplio donde se desarrolla el uso de fibras como refuerzo al hormigón. A continuación se explicarán las principales aplicaciones:

2.2.9.1 Pisos y pavimentos.



Ilustración 4: Pavimentos de hormigón reforzado con fibras de acero

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

Algunas ventajas de la utilización de fibras de acero en pavimentos rígidos (imagen 7) son incuestionables, comparadas con las mallas de acero convencionales. Se reducen el tiempo total de ejecución de la etapa de colocación del refuerzo.

Asimismo, no es necesario un almacén especial, lo cual implica un ahorro en espacio en la obra. Las fibras de acero refuerzan los bordes de las juntas, minimizando el efecto de astillado en esas regiones.

Por otra parte, se genera una mayor facilidad de acceso al lugar de trabajo, lo que es muy difícil cuando se utilizan mallas metálicas, ya que estas impiden el libre tránsito de personas y equipo después de su instalación.

Las dosificaciones varían de un mínimo de 20 kg/m³ hasta aproximadamente 45kg/m³, dependiendo de las verificaciones de cálculo de acuerdo con las características específicas del proyecto. Los volúmenes de fibra de acero varían entre 0.25% al 2% normalmente reducen considerablemente la trabajabilidad de la mezcla.

2.2.9.2 Hormigón proyectado.



Ilustración 5: Hormigón proyectado

Fuente: Maccaferri 2009

El hormigón proyectado con fibras metálicas, como se indica en la figura 8, es una innovación para la utilización de revestimiento de túneles, canales y taludes. Demostrando una variable serie de beneficios en comparación al refuerzo con malla metálica. De las cuales las principales están en el tiempo de iniciación de aplicación del hormigón, el cual puede ser rápidamente después de que se culmine la excavación del túnel. De este modo, se reduce el peligro de accidentes por desprendimiento del compacto. Así también, la velocidad de excavación de la obra se desarrolla en un tiempo más corto, significativamente gracias a la supresión de la etapa de instalación de la cimbra y malla metálica.

2.2.9.3 Elementos prefabricados.



Ilustración 6: Elementos prefabricados con hormigón con fibras de acero.

Fuente: Maccaferri-2009

Otro gran campo de aplicación del hormigón reforzado con fibras metálicas en el desarrollo de los prefabricados (imagen 9), debido al aumento de velocidad en la producción que genera su uso. Igualmente, excluye la demora en la fase de instalación de la armadura. La introducción de las fibras de acero permite mecanizar el proceso, mejorando notablemente las características del producto. Por otra parte, en los casos donde las fibras de acero no pueden reemplazar el refuerzo tradicional, el espesor de los elementos puede disminuir. Algunos ejemplos de elementos prefabricados son.

- Tuberías de hormigón
- Paneles de cierre de naves industriales.
- Dovelas, etc.

2.2.9.4 Otras aplicaciones

Existen otras áreas donde se puede desplegar este tipo de materiales, en cuestiones especial de elementos elaborados con hormigón de alta resistencia, donde los planos de ruptura son caracterizados por superficies extremadamente regulares, lo cual genera que el material más débil. Es factible el manejo de fibras como refuerzo de este tipo de estructuras, pues reducen en gran parte el daño causado por los efectos de fatiga por esfuerzos cíclicos, reduciendo visiblemente la fisuración del mismo. Esto genera que la estructura adquiera una mayor vida útil.

Otro de los diferentes usos del hormigón reforzado con fibra metálica es en el área militar, en el cual sus estructuras están destinadas a recibir impactos de proyectiles. El potencial de las fibras para este tipo de estructuras es muy grande, pues proporcionan un mejor desempeño frente al hormigón armado convencional.

2.3) Aportes de las fibras de acero en el hormigón

Las principales mejoras que se han estudiado a lo largo de los años se pueden agrupar de la siguiente manera:

2.3.1.1 Ductilidad.

Las fibras de acero aumentan las propiedades mecánicas del hormigón, al originar el aumento de la resistencia a la tracción. Adiciona también, ductilidad post-grieta, evitando el comportamiento frágil del hormigón. Esto depende de la cantidad de fibras que se adicionen, y la capacidad de anclaje en la mezcla.

2.3.1.2 Compresión.

El uso de las fibras altera ligeramente la resistencia a la compresión. Si la adición es de 1.5% del volumen total, puede aumentar entre 0 y 15% esta resistencia.

2.3.1.3 Tenacidad.

Básicamente, las fibras aumentan la tenacidad, es decir, aumenta la capacidad de absorber energía en la deformación post-fisuración. Se genera un mayor control de agrietamiento.

2.3.1.4 Cortante y torsión.

Aunque no existe mucha investigación en estos efectos, estos dependen básicamente del alineamiento de las fibras.

2.3.1.5 Otros.

Otras propiedades que aportan las fibras de acero son la mejora en el comportamiento en ciclos la fatiga, control de permeabilidad, aumento de la capacidad de carga y control de penetración de agentes oxidantes.

2.3.2) Fibras de acero DRAMIX RC80/60BM

Desarrolladas por Bekaert, son las fibras de acero líderes en reforzamiento de hormigón a nivel mundial. Fabricadas con alambre de acero trefilado en frío de alta resistencia, las fibras Dramix poseen extremos conformados para un mejor anclaje. El encolado en forma de peine evita la formación de bolas o erizos y garantiza un mezclado fácil, rápido y homogéneo de las fibras en el hormigón. La fibra de acero Dramix se diferencian de los otros productos puestos que hacen más dúctil el

hormigón. Gracias a un concepto innovador de fibras encoladas en peines Dramix se puede mezclar y trabajar muy fácilmente. Por otra parte Dramix combina una forma alargada y fina, que ofrece excelentes prestaciones. De esta manera, se puede utilizar una dosificación de fibras más bajas para la mayor ductibilidad y un control de grietas más eficaz. (Ideal Alambrec, 2012)

2.3.2.1 Óptima resistencia a la fisuración.

Los extremos de las fibras de acero Dramix están conformados lo que hace viable un excelente anclaje y una fisuración mínima y controlada.

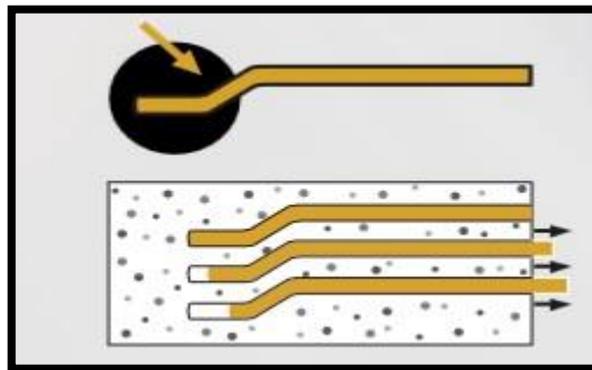


Ilustración 7: Adición de la fibra de acero

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

2.3.2.2 Alta resistencia a la tracción

Las fibras Dramix se elaboran con alambre de acero trefilado en frío de alta calidad, a fin de certificar una superior resistencia a la tracción y pequeñas tolerancias.

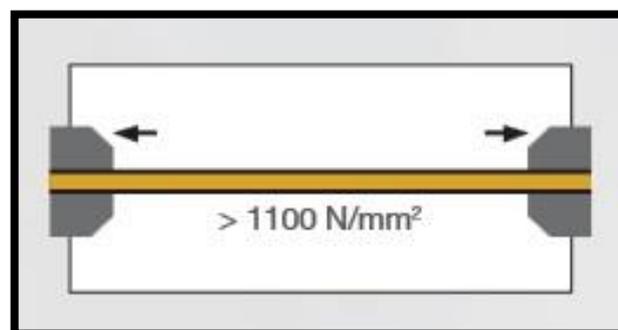


Ilustración 8: Muestra de la tracción

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

2.3.2.3 Baja dosificación gracias a una elevada relación longitud-diámetro

Gracias a sus fibras de acero largas y finas, Dramix ofrece el efecto de red de fibras más homogénea en todo el hormigón. Esto da como resultado un óptimo control de fisuras. Beakaert ofrece una amplia gama de fibras, cada una de ellas con sus características (diferentes longitudes y diámetros) y sus consiguientes beneficios. A fin de crear el refuerzo óptimo para su hormigón, pueden seleccionar la fibra específica que responda mejor a sus necesidades. (Ideal Alambrec, 2012)

Tipo	L/D	Cantidad de fibras /kg	Longitud del alambre (m) en 1 kg
RL-45/50-BN	45	2800	140
RC-80/60-BN	80	4600	276

¡doble longitud de alambre!

Ilustración 9: Características de la fibra de acero

Fuente: Catálogo Ideal Alambrec Bekaert

Los fabricantes de la fibra de acero Dramix recomiendan la utilización de este elemento en la proporción de 20 kg por cada metro cubico de hormigón dosificación que para el presente caso de estudio se utilizó 2 kg para 0.10 m³ de hormigón que equivale a la dosificación antes mencionada por el fabricante.

CAPÍTULO III

3.1) Marco metodológico

En el siguiente capítulo de esta investigación se ejecutaran las diversas pruebas en el laboratorio para generar el respectivo análisis comparativo de los dos tipos de hormigones, hormigón rígido tradicional con el hormigón reforzado con fibras de acero DRAMIX RC60/80BN para una mezcla de resistencia promedio a la compresión de 280 kg/cm². Para así generar los datos que demuestre la mejoría que logra el hormigón reforzado con fibras metálicas, se emplearán agregados de una cantera formal y materiales que cumplan los estándares de calidad respectivos.

Asimismo, la elaboración los testigos cilíndricos y prismáticos, de los diferentes ensayos deberán cumplir la normativa estipulada del MTOP Y ASTM respectiva a cada prueba. Con esta premisa los datos que se obtengan se considerarán factibles para la presente investigación.

Para los dos tipos de hormigón se efectuarán diversos ensayos para conseguir el comportamiento mecánico y físico, generando comparación entre estos y analizando cual posee mejores características que actualmente se utilizan en losas de pavimentos rígidos. En la siguiente tabla se presentaran las características de los ensayos.

Tabla 2: Ensayos a realizar

Tabla de ensayos					
Ensayo	Refuerzo	Tipo de Probeta	Dos. (Kg/m ³)	Cantidad	Fecha de Ensayos
Compresión	Sin Refuerzo	Cilíndrica		9	7, 14, y 28 Días
	Dramix	Cilíndrica	20	9	
Flexión	Sin Refuerzo	Prismática		3	28 Días
	Dramix	Prismática	20	3	

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

El proceso para obtener al análisis de resultados está encuadrado en 4 etapas:

- Correcta selección de agregados: para lograr obtener el diseño de mezcla, es de suma importancia conocer las características del agregado a utilizar.
- Diseño de las mezcla: para poder lograr un buen diseño de la mezcla, se propondrá un diseño de mezcla de resistencia $f'c$: 280 Kg/cm² con normas (ACI). Con estos datos se ensayarán testigos experimentales y se comprobará que llegue a la resistencia solicitada.
- Concreto fresco y elaboración de testigos: Una vez probado el diseño de mezcla, se procederá a realizar la mezcla para los testigos indicados en la tabla 2.
- Ensayos de concreto endurecido: para las edades indicadas en la tabla anterior se procederá a ensayar los testigos siguiendo las normas concernientes, obteniendo los resultados reales los cuales se utilizarán para el análisis.

3.1.1) Ensayos de agregados

Los agregados representan una parte muy significativa en la elaboración del hormigón y por lo siguiente, es necesario ejecutar los ensayos referentes que las normas actuales exigen y así poder verificar si los agregados que se manejaran cumplirán con los estándares mínimos para afirmar que el hormigón va a lograr la resistencia y calidad solicitada en el proyecto.

3.1.2) Análisis granulométrico del agregado fino y grueso

Este ensayo se ejecutara con la ayuda de la norma técnica ASTM C-136, el objetivo de este ensayo fue realizar una correcta granulométrica del agregado fino, para comprobar que los agregados manipulados cumplan con los estándares de calidad

que la norma citada. A partir de dicho ensayo determinar el módulo de fineza y tamaño máximo nominal para los agregados fino y grueso, respectivamente (ver en anexo).

3.1.3) Diseño y dosificación de hormigón $f'c=280\text{kg/cm}^2$

Se conoce como diseño de mezcla el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que debe haber de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto, para poder obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico como después, en estado endurecido. Un método de diseño de mezcla puede ser muy complejo si considera un gran número de variables y una gran precisión o exactitud en la expresión de sus relaciones. Pero debe al mismo tiempo, ser de fácil manejo y operatividad. Lo acertado es lograr un equilibrio entre ambos extremos. (PORRERO, R., BRASES., & VELAZCO, 2009, pág. 123)

El diseño de la mezcla del hormigón que se empleará en el proceso del presente proyecto de titulación será de $f'c= 280\text{kg/cm}^2$ el cual cumple con la resistencia requerida para ser considerado un hormigón de resistencia estándar, para la elaboración de testigos cilíndricos y rectangulares para los ensayos que analizaremos.

Tabla 3: Dosificación por peso de materiales.

Resistencia			Cantidades para 1 m ³			Proporciones	Litros máximos por cada saco de cemento (agua)
psi	MPa	kgf/cm ²	Sacos de cemento (m ³)	Arena m ³	Grava m ³		
1500	10.3	105	5.5 (0.22)	0.57	0.772	1:2.60:3.51	
2000	13.8	141	6.1 (0.244)	0.549	0.786	1:2.25:3.22	
2500	17.2	176	7.1 (0.284)	0.523	0.77	1:1.84:2.71	33
3000	20.7	211	7.6 (0.304)	0.523	0.77	1:1.72:2.54	29
3500	24.1	246	8.3 (0.332)	0.488	0.774	1:1.47:2.33	25
4000	27.6	281	9.1 (0.364)	0.47	0.772	1:1.29:2.12	22
4500	31.0	316	9.6 (0.384)	0.453	0.776	1:1.18:2.02	19

Fuente: Manual del Hormigón 2014

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

Se deberá tener en cuenta factores importantes como:

- Densidad de los agregados.
- Absorción de los agregados.
- Peso volumétrico de los agregados.
- Tipos de cementos y normativas que cumplen.

Para la dosificación de hormigón existen tres métodos, los cuales son:

- El método de ACI.- El cual es conocido como el método empírico ya que este se rige en ensayos experimentales.
- El método de FAURY.- a este método se lo denomina como racional ya que este se basa en una correcta granulometría de los agregados.
- El método de VALLETE.- El cual es práctico debido a que consiste en elaborar pruebas de laboratorio.

El método seleccionado en el siguiente trabajo de titulación, será el método de ACI 211.1 el cual consiste en restringirse en una serie de pasos significativos para así poder alcanzar el resultado proyectado a los 28 días que se el tiempo que tarda el hormigón en fraguar y alcanzar su resistencia nominal.

Se debe mencionar que la dosificación del hormigón está en función de la resistencia f_c la cual se la puede demostrar a los 28 días, en caso de que existan factores que demanden alcanzar este valor antes de tiempo.

3.1.4) Especificaciones del hormigón

Todo diseño de hormigón debe cumplir con características que nos indique su desempeño en estado fresco y endurecido, las especificaciones técnicas son el punto

de partida del diseño para elaborar y dosificar un diseño de hormigón. Se deberá tener en cuenta cumplir e interpretar adecuadamente estas características, las cuales con:

- Asentamiento.
- Temperatura.
- Peso de la mezcla.
- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la flexión.

3.1.5) Ensayos realizados durante el proceso de fabricación de la mezcla del hormigón

Durante la fabricación y elaboración para determinar tanto las propiedades como características de la mezcla, estos ensayos se realizaron como guía para verificar la calidad del hormigón, se deben seguir rigurosamente, obteniendo así datos reales que ayudan para poder dar el respectivo seguimiento a los testigos tomados en laboratorio. Se determinará con un adecuado control de las muestras que se ensayen en el laboratorio, para ello nos regiremos en las normas ASTM, ya que estas estandarizan y normalizan en cuanto al proceso de toma de especímenes de hormigón, desde la correcta selección de los materiales en cantera a manipular, hasta la interpretación de datos ya sea de la compresión y flexión.

Desde su fundación en 1898, ASTM (American Society for Testing and Materials) es una organización internacional que se encarga del desarrollo y normalización de procesos alrededor del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios, consumidores entre otros para estandarizar procesos para creación de normas de consenso voluntarios.

Las normas ASTM a utilizar durante la realización y ejecución del proyecto son las siguientes:

- ASTM C-143 Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de concreto hidráulico.
- ASTM C-173 Método de ensayo estándar para la determinación por método volumétrico el contenido de aire del concreto recién mezclado.
- ASTM C-31 Método de ensayo estándar para la elaboración y curado de probetas de hormigón.

3.1.6) Ensayo de Revenimiento

El propósito de este ensayo es para comprobar la consistencia o fluidez de la mezcla. Se efectuará con la ayuda del cono de Abrams y hace reseña a la norma ASTM C-143 (ver anexos foto 4 y 10).

3.1.7) Ensayo de temperatura de la mezcla del hormigón

El ensayo tiene como objetivo dar a conocer la temperatura del hormigón en estado plástico. El tema de la temperatura es un indicador en vaciados de gran magnitud debido a que las reacciones químicas provocadas crean calor de hidratación, la cual debe ser controlada para asegurar una buena presentación al instante de realizarse el vaciado. La norma ASTM C-1064, a la cual hace reseña el ensayo, que al momento de realizarse el vaciado el hormigón no deba superar los 32°C (ver anexo foto 6).

3.1.8) Ensayos de hormigón endurecido

En el presente capítulo se analizarán los ensayos realizados para el hormigón endurecido a variadas edades. Con los datos conseguidos se lograrán generar comparativos entre el hormigón tradicional y el hormigón reforzado con fibras metálicas, sometidos especialmente a esfuerzos de flexión y compresión.

3.1.9) Ensayo de compresión en probetas cilíndricas.

El ensayo a compresión radica en evaluar el desempeño de los testigos a cargas ejecutadas progresivamente en sentido vertical, estas cargas van hacer aplicadas directamente sobre la superficie del testigo, incrementando las fuerzas ejercidas a los testigo, hasta llegar al punto de falla. Se tiene establecido que el hormigón endurecido adquiere un promedio de resistencia según su edad. Esta resistencia incrementa con mayor rapidez en los primeros días, mientras que a partir del día 14, la resistencia que gana hasta el último día es mínima los porcentajes de incrementos los podemos presentar en la siguiente tabla.

Tabla 4: Porcentaje en el incremento del $F'c$ del hormigón

PORCENTAJE EN EL INCREMENTO DE $F'c$ del HORMIGON	
EDAD (DIAS)	DESCRIPCION DE ESPECIMEN
3	DEL 30 AL 40%
7	DEL 60 AL 65%
14	DEL 70 AL 85%
28	EL 100%

Fuente: Holcim-Ecuador-CTH14

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

Una vez realizada la prueba habiendo hecho fallar los cilindros, es recomendable observar los mismos para evidenciar el comportamiento e influencia que ha tenido la utilización del material dentro de la masa de hormigón.

Para este ensayo se realizaron 18 probetas cilíndricas con dimensiones de 15 cm x 30 cm que varían entre 9 con hormigón sin refuerzo y 9 con hormigón reforzado con fibras de acero, pero todas con la misma dosificación. Preparadas según las normas ASTM C-192. Los ensayos fueron realizados para las edades de 7, 14 y 28 días.

Para realizar la rotura de las probetas en las edades respectivas se utilizó la norma ASTM -39 Ensayos a la compresión de cilindros. Los resultados para el presente ensayo se recopilan en las tablas 5, 6 y 7:

Hormigón sin refuerzo ensayo a los 7 días.

Tabla 5: Ensayos de compresión 7 días

Identificación de Probetas	fecha de vaciado	edad(días)	Ø (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (kg/cm ²)
hsr 7d	08/07/2016	7	15	176,72	33130	187,48
hsr 7d	08/07/2016	7	15	176,72	34670	196,19
hsr 7d	08/07/2016	7	15	176,72	34210	193,59
					promedio	192,42

Hormigón reforzado con fibras de acero ensayos a los 7 días.

Identificación de Probetas	fecha de vaciado	edad(días)	Ø (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (kg/cm ²)
hcr 7d	08/07/2016	7	15	176,72	42820	242,31
hcr 7d	08/07/2016	7	15	176,72	43200	244,46
hcr 7d	08/07/2016	7	15	176,72	43690	247,23
					promedio	244,67

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

Hormigón sin refuerzo ensayo a los 14 días

Tabla 6: Ensayo de compresión 14 días

Identificación de Probetas	fecha de vaciado	edad(días)	Ø (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (kg/cm ²)
hsr 14d	08/07/2016	14	15	176,72	40590	229,69
hsr 14d	08/07/2016	14	15	176,72	40190	227,42
hsr 14d	08/07/2016	14	15	176,72	39720	224,76
					promedio	227,29

Hormigón reforzado con fibras de acero ensayo a los 14 días

Identificación de Probetas	fecha de vaciado	edad(días)	Ø (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (kg/cm ²)
hcr 14d	08/07/2016	14	15	176,72	48690	275,52
hcr 14d	08/07/2016	14	15	176,72	49540	280,33
hcr 14d	08/07/2016	14	15	176,72	50200	284,07
promedio						279,97

Elaboración: Cristhian Rodriguez Giler

Hormigón sin refuerzo ensayo a los 28 días

Tabla 7: Ensayo de compresión 28 días

Identificación de Probetas	fecha de vaciado	edad(días)	Ø (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (kg/cm ²)
hsr 28d	08/07/2016	28	15	176,72	49850	282,08
hsr 28d	08/07/2016	28	15	176,72	50159	283,83
hsr 28d	08/07/2016	28	15	176,72	49660	281,01
promedio						282,31

Hormigón con refuerzo ensayo a los 28 días

Identificación de Probetas	fecha de vaciado	edad(días)	Ø (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (kg/cm ²)
hcr 28d	08/07/2016	28	15	176,72	55008	311,27
hcr 28d	08/07/2016	28	15	177,72	55980	314,99
hcr 28d	08/07/2016	28	15	178,72	56240	314,68
promedio						313,65

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

3.1.10) Ensayos de flexión de vigas

Los testigos prismáticos (vigas) deben ensayarse de acuerdo a la norma ASTM C-78 las vigas deben colocarse de tal forma que la carga aplicada sea en una de sus caras laterales y deben ensayarse inmediatamente después de retirarse del ambiente húmedo las superficie secas generan menores resistencias, para vigas de sección de 150*150mm y con una separación entre apoyos igual a 450mm.

Para realizar el ensayo correspondiente se utilizaron las probetas tipo vigas normalizadas de dimensiones de 54x15x15 cm de edad 28 días. Aquí se fabricaron 6 muestras 3 con hormigón sin refuerzo y 3 con hormigón reforzado con fibras de acero para sacar un promedio del módulo de rotura. Estas se cargaron a los tercios previamente marcados y se procedió a aplicar la carga de manera contigua, como se puede observar en la imagen 13.

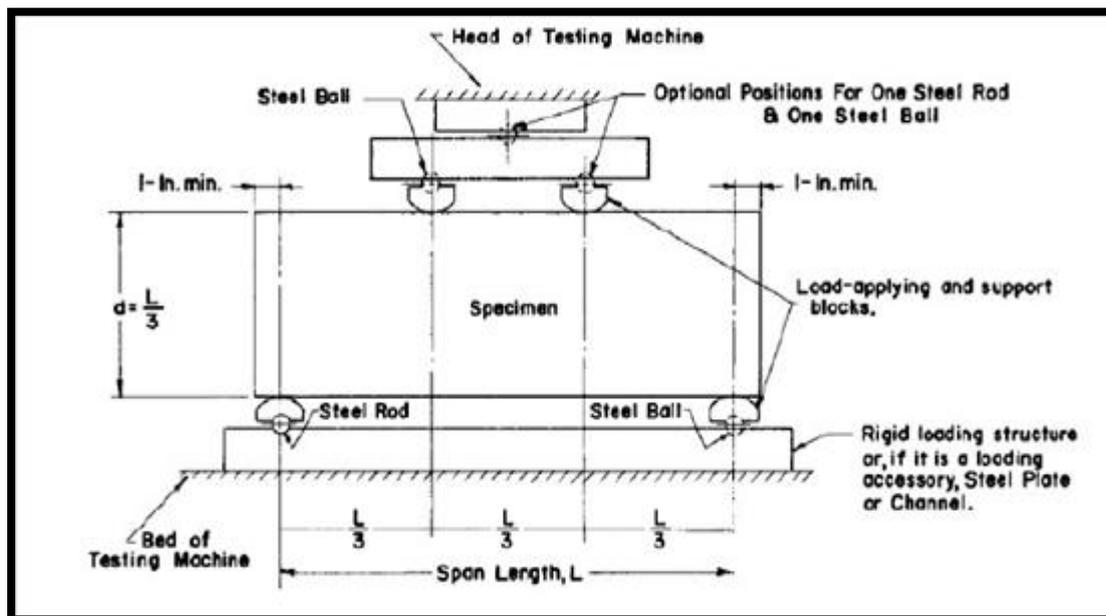


Ilustración 10: Máquina de ensayo a flexión

Fuente: ASTM C78-2010

El módulo de rotura es:

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

El módulo de rotura se obtiene en Mpa.

Donde:

P= carga aplicada en Kg

L= distancia de los apoyos de las vigas en mm

B= ancho de las vigas en mm

D= altura de la viga en mm

El ensayo demuestra la propiedad que tiene la viga reforzada para soportar esfuerzo de flexión, ya que para el cálculo estructural del hormigón se considera que este material por si solo tiene una resistencia nula a los esfuerzos de flexión. Esto se refleja en la siguiente tabla 7.

Tabla 8: Ensayos a flexión

REFUERZO	DOSIFICACIÓN (KG/M3)	PROBETA	CARGA MAXIMA (KGF)	MÓDULO DE ROTURA (Mpa)	PROMEDIO (Mpa)
SIN REFUERZO		VSR 1	2662	3,51	3,61
		VSR 2	2715	3,58	
		VSR 3	2834	3,74	
CON REFUERZO	20	VCR 1	3384	4,46	4,43
		VCR 2	3427	4,52	
		VCR 3	3260	4,3	

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

CAPÍTULO IV

4.1) Análisis de resultados, Recomendaciones y Conclusiones

4.1.1) Interpretación de resultados

A continuación, se realizara un análisis interpretativo de los resultados de los diferentes ensayos para el hormigón en estado fresco y estado endurecido realizados en el capítulo III del presente trabajo de titulación.

4.1.2) Hormigón en estado fresco

Las propiedades del hormigón en estado fresco no se vieron afectadas por la adición de las fibras como elemento de refuerzo, tanto en temperatura y contenido de aire. No ocurre de la misma manera con el revenimiento, este varía considerablemente dependiendo del tipo de fibra y la dosificación de la misma. En promedio, se debería considerar una reducción del asentamiento de 3-4cm según los ensayos mostrados. Esta disminución se debe básicamente a que la mezcla posee una nueva estructura interna conformada por los filamentos de acero.

4.1.2.1 Hormigón en estado endurecido

Se observará los porcentajes de variación para los resultados promedios de las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibras de acero, según los ensayos realizados anteriormente.

4.1.2.2 Ensayos de resistencia a la compresión del hormigón

A continuación, se muestra la tabla 7, la cual muestra variaciones porcentuales para cada tipo de mezcla. Esta variación está dada según el valor teórico para la

resistencia según las edades del hormigón, considerando 70%, 85% y 100% a 7, 14 y 28 días respectivamente.

Tabla 7: Variación en porcentaje del ensayo a compresión

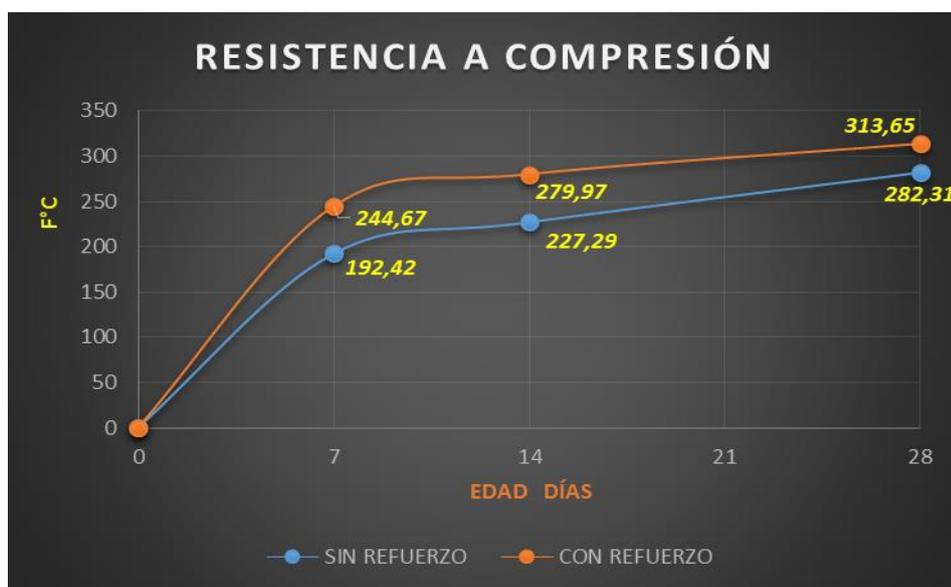
Refuerzo	Edad	f'c prom (Kg/cm ²)	Variación porcentual (%)
Sin refuerzo	7 días	192,42	21,35
Dramix		244,67	
Sin refuerzo	14 días	227,29	18,61
Dramix		279,97	
Sin refuerzo	28 días	282,31	10,52
Dramix		313,65	

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

Como se puede verificar, se cumple la teoría que el hormigón reforzado con fibras de acero se comporta mejor mecánicamente frente al hormigón sin refuerzo. La adición de fibras al hormigón genera que la resistencia inicial a la compresión aumente considerablemente, en un 21% aproximadamente a los 7 días como se observa en la tabla 7.

También lo podemos apreciar en el siguiente gráfico de la resistencia del hormigón y su resistencia a determinados días.

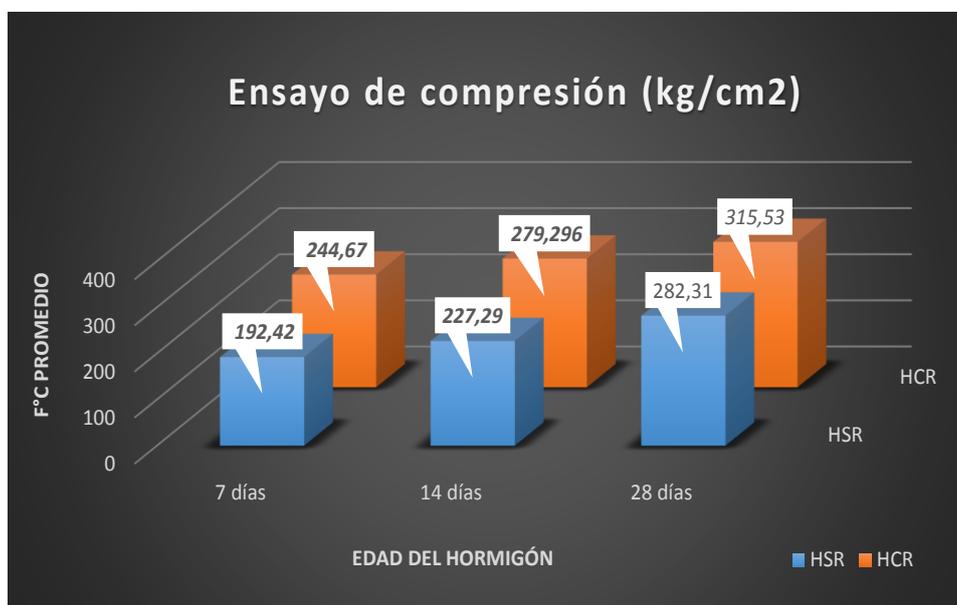
Gráfico 1: Resistencia a Compresión



Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

Sin embargo, esta se va estabilizando hasta llegar a una resistencia del 10% para fibra de acero a los 28 días este se puede observar de mejor manera en el siguiente grafico 2.

Grafico 2: *Ensayo de compresión*



Elaboración: *Cristhian Rodríguez Giler*

Como se evidencia en la tabla anterior, esta variación de porcentajes entre el hormigón sin refuerzo con el hormigón reforzado con fibras de acero tienen un aumento gracias a la contribución de las fibras de metálicas.

4.1.2.3 Ensayo a flexión

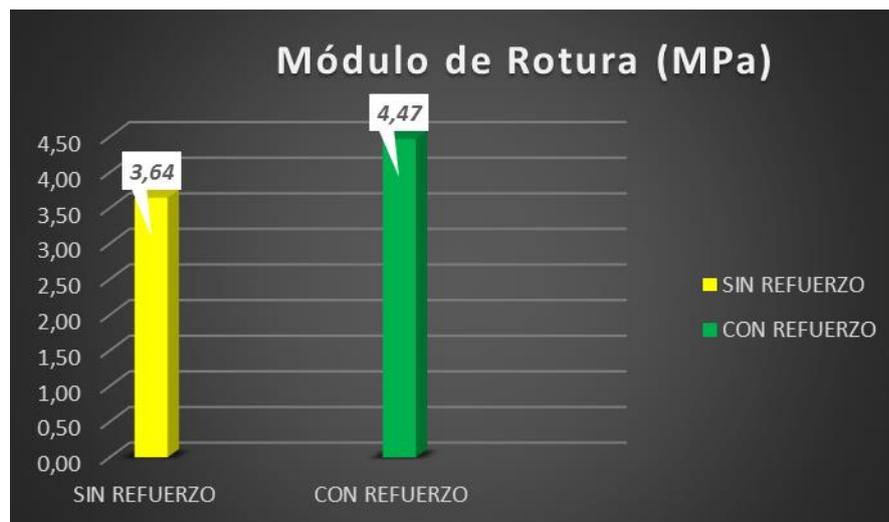
La tabla 9 muestra el módulo de rotura calculado según el ensayo a flexión de las probetas tipo viga, para cada tipo de hormigón empleado. Los valores obtenidos están dentro del orden que exige la norma ecuatoriana para pavimentos rígidos.

Tabla 9: Módulo de rotura promedio

REFUERZO	DOSIFICACIÓN (Kg/m ³)	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO (MPa)
SIN REFUERZO		3,61
CON REFUERZO	20	4,43

Elaboración: Cristhian Rodríguez Giler

De la misma manera, se presenta una notable mejoría utilizando el hormigón reforzado con fibras de acero alcanzando aproximadamente un 23%. Como se mencionó anteriormente, el aumento a la resistencia a la flexión con el aporte de las fibras de acero, está dado principalmente por las características de la fibra y la dosificación, esta contribución se observan en el siguiente gráfico.

Gráfico 3: Módulo de rotura

Fuente: Elaboración del autor

Como se observa en el gráfico 3, la resistencia a la flexión del hormigón, a través del módulo de rotura a la flexión, aumenta de valor con la fibra de acero DRAMIX BN80/60. La fibra DRAMIX BN80/60 al poseer mayor longitud evita que el hormigón se separe y falle al ser aplicado la carga completamente vertical sobre la viga. Gracias a esto, la carga que resiste el hormigón es mucho mayor que un hormigón sin refuerzo.

4.1.3) Conclusiones

En conclusión las fibras metálicas son una opción, para el hormigón en el control de las fisuras, enfocadas principalmente a losas o pavimentos de hormigón. Estos filamentos suministran un mayor aumento en la energía de rotura, pudiendo lograr reemplazar de las armaduras de acero tradicionales.

Las fibras metálicas modifican el comportamiento frágil del hormigón gracias a los puentes de transmisión de esfuerzos que se crea. Se puede ductilizar la falla y controlar la futura propagación de fisuras (ver foto 19 en anexos).

La adición de fibras metálicas reduce el parámetro de revenimiento. Esta reducción del revenimiento está en el orden de 3-4cm, debido a la red generada ver foto en anexo.

Tabla 10: Asentamiento de la mezcla

	REVENIMIENTO
HORMIGÓN SIN REFUERZO	7,2 cm
HORMIGÓN CON REFUERZO	3,9 cm
REDUCCIÓN	3,3 cm

Elaboración: Cristhian Rodriguez Giler

Los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de los testigos realizados a los 28 días con las fibras de acero Dramix señalan una variación del 10% con la mezcla de hormigón sin refuerzo. Cabe resaltar que los resultados iniciales de variación de 21% para los 7 y 18 % para los 14 días, muestran un aumento de resistencia inicial a la propiedad de compresión del hormigón, la cual se va estabilizando acorde transcurren los días.

En conclusión, se empleó un promedio de 3 probetas de la mezcla de hormigón $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y por cada día de rotura de los testigos para resultados

estadísticamente referenciales, se comprobó mediante estos ensayos que la mezcla diseñada alcanzó la resistencia especificada.

Además los valores demuestran una mejora considerable de la resistencia a la flexión, la cual es una de las principales limitaciones del hormigón aplicado a pavimentos rígidos. Se obtuvo aproximadamente el 23% de incremento en el Modulo de Rotura.

Con las dosificaciones recomendadas por el fabricante de la fibra metálica utilizada, se cumple el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de la masa del hormigón.

4.1.4) Recomendaciones

Se recomienda utilizar las fibras de acero ya que proporcionan una mayor resistencia a la flexión y compresión.

Se recomienda la utilización fibras metálicas para controlar la fisuración en el hormigón, consiguiendo un mejor comportamiento mecánico, aunque se debe considerar la reducción de la trabajabilidad.

Para conseguir una homogeneidad adecuada de la mezcla se debe tener una granulometría de agregados bien definida, ya que por medio de esto se puede dar una idea de cómo se van aglutinar los filamentos entre la mezcla de hormigón. Segundo, las fibras deben añadirse de manera progresiva, ya que de ser introducidas de manera abrupta estas pueden llegar a aglomerarse en pequeñas secciones y no se forma la red tridimensional en todo el espesor y mayoría del área desea.

Es recomendable saber, que tipo de fibras se va a utilizar en cada investigación, si es en caso de las fibras metálicas como en este proyecto se debe tener en cuenta el tamaño de las fibras su longitud y la dosificación por cada metro cubico de hormigón.

ANEXOS

Fotografías de los ensayos de laboratorio.



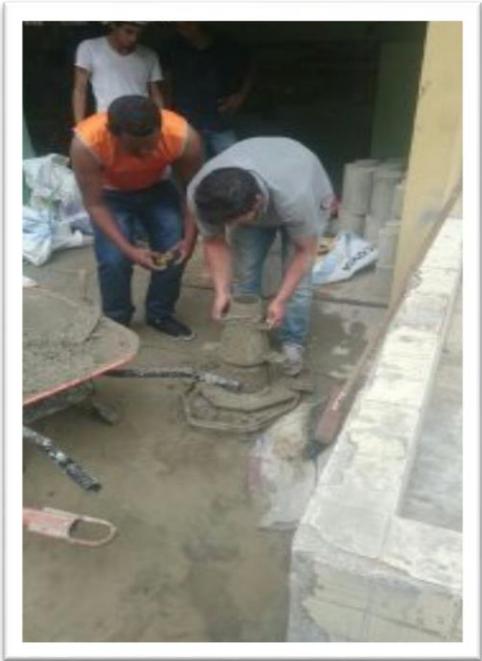
Fotografía 1: Peso de agregados



Fotografía 2: Elaboración de la mezcla



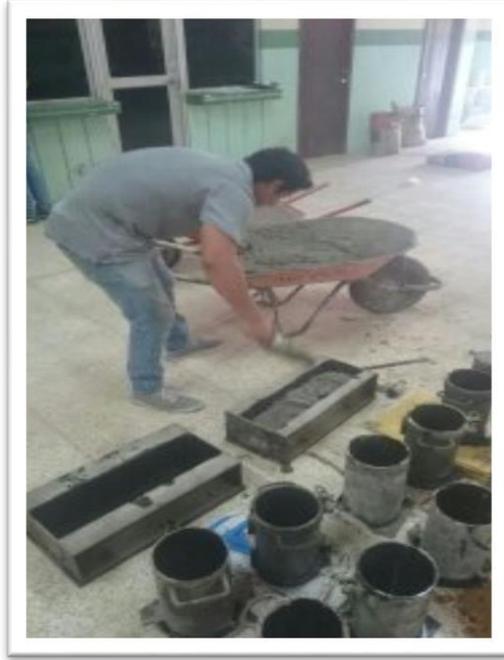
Fotografía 3: Hormigón sin fibras



Fotografía 4: Toma del asentamiento sin fibra



Fotografía 6: Temperatura de la mezcla



Fotografía 7: Elaboración de viguetas



Fotografía 8: Elaboración de cilindros



Fotografía 9: Elaboración de hormigón con Dramix



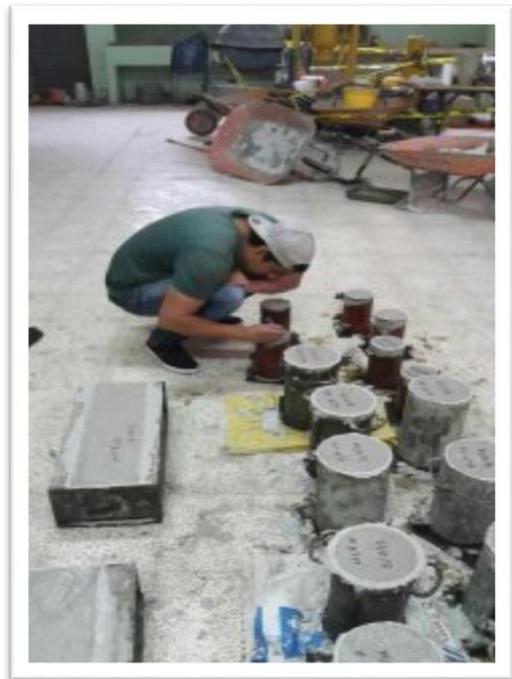
Fotografía 10: Toma de asentamiento con Dramix



Fotografía 11: Elaboración de viguetas con Dramix



Fotografía 12: Elaboración de cilindros con Dramix



Fotografía 13: Identificación de las probetas



Fotografía 14: Curado de las probetas



Fotografía 15: Ensayos a compresión



Fotografía 16: Cilindros ensayados



Fotografía 17: Ensayos a Flexión



Fotografía 18: Viguetas ensayadas



Fotografía 19: Vigüeta ensayada con dramix

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN HORMIGÓN PARA LA CAPA DE RODADURA CON FIBRAS DE ACERO Y SIN ELLAS PARA UTILIZACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS"

RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS: 280Kg/cm²

FACTOR DE SEGURIDAD: 1.15

REVENIMIENTO MAXIMO: 7.50cm

A/C: 0.46

DISEÑO DE HORMIGÓN

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

CEMENTO PORTLAND TIPO I

PIEDRA: Piedra triturada M# 1

ARENA (fina-media-gruesa) M# 2

DOSIFICACIÓN

MATERIALES	PROPORCION Kg/m3	PROPORCION Kg/saco cement	PROPORCION Mat/M3	PROPORCION VOLUMEN
Cemento	420,5	50	0,29435	1
Arena	664,86	79,06	0,4825	1,639
Piedra 3/4"	945,75	112,46	0,7548	2,56
Agua	205,29	24,41	0,2053	

DETALLE VOLUMETRICO:

CEMENTO Un saco 50 Kilos

ARENA 0.0574 m3

PIEDRA ¾" 0.0897m3

Bibliografía

ACI. (1996).

GUEVARA, M. E. (17 de MAYO de 2015). *REPOSITORIO ACADEMICO UPC*.

Obtenido de REPOSITORIO ACADEMICO UPC:
<http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/581616/1/Tesis+original.pdf>

HARMSSEN, T. E. (2005). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO*.

PERÚ: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PEÚ.

Ideal Alambrec, b. (24 de junio de 2012). *es-MX/la-compania/biblioteca-de-catalogos*.

Obtenido de [es-MX/la-compania/biblioteca-de-catalogos](http://idealalambrec.bekaert.com/):
<http://idealalambrec.bekaert.com/>

MTOP. (MARZO de 2002).

PORRERO, J., R., C. R., BRASES., J., & VELAZCO, G. J. (2009). *MANUAL DEL*

CONCRETO ESTRUCTURAL. En J. PORRERO, C. R. R., J. BRASES., & G. J. VELAZCO, *MANUAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL* (pág. 32).
CARACAS: MIGUEL ANGEL ALVAREZ.

SOTIL LEVY, A. J., & ZEGARRA RIVEROS, J. E. (8 de SEPTIEMBRE de 2015).

REPOSORIO ACADEMICO UPC. Obtenido de REPOSORIO ACADEMICO
UPC:
<http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/581616/1/Tesis+original.pdf>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia y Tecnología
Innovación y saberes



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGIA														
FICHA DE REGISTRO DE TESIS														
TÍTULO Y SUBTÍTULO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN HORMIGÓN PARA LA CAPA DE RODADURA CON FIBRAS DE ACERO Y SIN ELLAS PARA UTILIZACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.													
AUTOR/ES: Cristhian Stalin Rodríguez Giler	REVISORES: Ing. David Stay Coello, M.sc. Ing. Ciro Andrare Núñez, M.sc. Ing. Humberto Guerreño Herrera, M.sc.													
INSTITUCIÓN: Universidad de Guayaquil	FACULTAD: De Ciencias Matemáticas y Físicas													
CARRERA: Ingeniería civil														
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2016	Nº DE PÁGS: 44													
ÁREAS TEMÁTICAS: Análisis comparativo de un hormigón con fibras de acero y sin ellas														
PALABRAS CLAVE: ANÁLISIS, HORMIGÓN, PAVIMENTO, FIBRO REFUERZO, FIBRAS DE ACERO														
RESUMEN: El presente proyecto de titulación Análisis comparativo de un hormigón para capa de rodadura con fibras de acero y sin ellas en la utilización de un pavimento rígido mediante el aditamento de fibras metálicas, nos muestra una opción constructiva que intenta dar a conocer las ventajas y contribuciones que consiguen obtenerse al diseñar pavimentos rígidos mediante adición de fibras de acero con respecto a los métodos tradicionales, hormigón sin refuerzo para resistir esfuerzos de compresión y flexión en la masa del hormigón. Conjuntamente esto evalúa su desempeño a complicaciones comunes en el pavimento rígido como es el agrietamiento, fisuramiento, fallas longitudinales y transversales. Se ha logrado comprobar que el actual método constructivo el cual no se usa ningún tipo de reforzamiento no muestra una mejoría a los problemas mencionados anteriormente. Se analizará el comportamiento de														
N. DE REGISTRO (en base de datos):	Nº. DE CLASIFICACIÓN:													
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):														
ADJUNTOS PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO													
CONTACTOS CON AUTOR/ES:	<table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td>E-mail:</td> <td>cristhian_md@hotmail.e</td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>0990769204</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Nombre:</td> <td>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>2-283348</td> </tr> </table> </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	<table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td>E-mail:</td> <td>cristhian_md@hotmail.e</td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>0990769204</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Nombre:</td> <td>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>2-283348</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	<table border="1"> <tr> <td>E-mail:</td> <td>cristhian_md@hotmail.e</td> </tr> </table>	E-mail:	cristhian_md@hotmail.e	<table border="1"> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>0990769204</td> </tr> </table>	Teléfono:	0990769204	CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	<table border="1"> <tr> <td>Nombre:</td> <td>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>2-283348</td> </tr> </table>	Nombre:	FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS	Teléfono:	2-283348
<table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td>E-mail:</td> <td>cristhian_md@hotmail.e</td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>0990769204</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Nombre:</td> <td>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>2-283348</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	<table border="1"> <tr> <td>E-mail:</td> <td>cristhian_md@hotmail.e</td> </tr> </table>	E-mail:	cristhian_md@hotmail.e	<table border="1"> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>0990769204</td> </tr> </table>	Teléfono:	0990769204	CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	<table border="1"> <tr> <td>Nombre:</td> <td>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>2-283348</td> </tr> </table>	Nombre:	FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS	Teléfono:	2-283348		
<table border="1"> <tr> <td>E-mail:</td> <td>cristhian_md@hotmail.e</td> </tr> </table>	E-mail:	cristhian_md@hotmail.e	<table border="1"> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>0990769204</td> </tr> </table>	Teléfono:	0990769204									
E-mail:	cristhian_md@hotmail.e													
Teléfono:	0990769204													
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	<table border="1"> <tr> <td>Nombre:</td> <td>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>2-283348</td> </tr> </table>	Nombre:	FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS	Teléfono:	2-283348									
Nombre:	FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS													
Teléfono:	2-283348													