

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA CIVIL**

**PLAN DE DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL**

“Mejoramiento en las propiedades físico, mecánicas y de  
durabilidad de un pavimento rígido, con la adición de fibras  
sintéticas estructurales”

**MIGUEL LUCIANO RIVERA BRACACI**

**JOSE ALBERTO SOSA CEVALLOS**

**Quito, 2010**

“Mejoramiento en las propiedades físico, mecánicas y de durabilidad de un pavimento rígido, con la adición de fibras sintéticas estructurales”

Por:

Miguel Luciano Rivera Bracaci

José Alberto Sosa Cevallos

Disertación de grado propuesta para la obtención del Título de Ingeniero Civil

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

2010

---

Ing. Gustavo Yánez

Director de la disertación de grado

---

Ing. Lauro Armando Lara

Revisor de la disertación de grado

---

Ing. Fredi Paredes

Revisor de la disertación de grado

## **DEDICATORIA**

A Dios, a nuestros padres y todos quienes en todo momento nos  
han apoyado a lo largo de nuestra carrera

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros profesores, personal de laboratorio y al representante  
en Ecuador de Ruredil quienes de una u otra manera nos  
ayudaron y apoyaron

# INDICE

INTRODUCCION .....	10
CAPITULO I.....	14
1. ANTECEDENTES.....	14
1.1 Pavimentos en el Ecuador .....	15
1.1.1 <i>Características y tipos de pavimentos</i> .....	15
1.1.2 <i>Pavimento Rígido</i> .....	17
1.1.3 <i>Pisos Industriales</i> .....	24
1.2 Tecnologías en la Construcción .....	29
1.2.1 <i>Introducción</i> .....	29
1.2.2 <i>Las fibras</i> .....	30
1.2.3 <i>Hormigón Fibro Reforzado</i> .....	31
CAPITULO II.....	36
2. DEFINICION Y DESCRIPCION DE LOS AGREGADOS PÉTREOS, CEMENTO Y FIBRA SINTETICA. ....	36
2.1 Agregados Pétreos .....	36
2.1.1 <i>Granulometría de los agregados</i> .....	36
2.1.2 <i>Humedad Natural</i> .....	37
2.1.3 <i>Material Fino que pasa el tamiz # 200</i> .....	37
2.1.4 <i>Gravedad Especifica del agregado</i> .....	38
2.1.5 <i>Absorción</i> .....	38
2.1.6 <i>Peso Unitario</i> .....	39
2.1.7 <i>Peso Unitario Suelto</i> .....	39
2.1.8 <i>Peso Unitario Compactado</i> .....	39
2.1.9 <i>Vacios en el agregado</i> .....	40
2.1.10 <i>Contenido Orgánico</i> .....	40
2.1.11 <i>Abrasión Del Agregado Grueso</i> .....	40
2.1.12 <i>Durabilidad a la acción de los sulfatos</i> .....	41
2.2 ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO .....	42

2.2.1	<b>Generalidades</b>	42
2.2.2	<b>Clasificación</b>	43
2.2.3	<b>Propiedades</b>	43
2.2.4	<b>Resumen de las especificaciones de los materiales</b>	45
2.2.5	<b>Resumen de los Ensayos de los materiales de las canteras de Pintag y Guayllabamba</b>	46
2.2.6	<b>Introducción de la Fibra Sintética Estructural</b>	46
CAPITULO III		54
3.	<b>HORMIGON Y DISENO</b>	54
3.1	<b>Introducción</b>	54
3.2	<b>Características del Hormigón</b>	54
3.2.1	<b>Trabajabilidad</b>	55
3.2.2	<b>Consistencia</b>	55
3.2.3	<b>Contenido de Aire</b>	57
3.2.4	<b>Sangrado</b>	57
3.2.5	<b>Compacidad</b>	58
3.2.6	<b>Permeabilidad</b>	58
3.2.7	<b>Peso Especifico</b>	59
3.2.8	<b>Durabilidad</b>	59
3.2.9	<b>Retracción Plástica</b>	60
3.2.10	<b>Resistencia a la Compresión</b>	61
3.2.11	<b>Resistencia a la Flexión</b>	63
3.2.12	<b>Resistencia a la Tracción</b>	67
3.2.13	<b>Resistencia al Impacto</b>	68
3.2.14	<b>Desgaste a la Abrasión</b>	70
3.2.15	<b>Índice de Tenacidad</b>	71
3.2.16	<b>Módulo de Elasticidad</b>	74
3.3	<b>Diseño del hormigón</b>	77
3.3.1	<b>Dosificación para el diseño del hormigón</b>	77
3.4	<b>Resumen de dosificación</b>	83
3.4.1	<b>Con material de la Mina de Pintag</b>	84

3.4.2	<b>Con material de la Mina de Guayllabamba.....</b>	84
3.5	<b>Dosificación de la Fibra Sintética Estructural en el Hormigón.....</b>	85
3.6	<b>Elaboración de Muestras de Hormigón.....</b>	85
CAPITULO IV	.....	89
4.	<b>DETERMINACION DE LA RESISTENCIA.....</b>	89
4.1	<b>Ensayos de Compresión.....</b>	89
4.1.1	<b>Procedimiento.....</b>	89
4.1.2	<b>Cálculos.....</b>	90
4.1.3	<b>Resumen de los Ensayos de Compresión de las Muestras de Pintag</b>	91
4.1.4	<b>Resumen de Muestras de Guayllabamba.....</b>	91
4.2	<b>Ensayos de flexión.....</b>	92
4.2.1	<b>Procedimiento.....</b>	92
4.2.2	<b>Cálculos.....</b>	92
4.2.3	<b>Resumen de los Ensayos de Flexión de las Muestras de Pintag.</b>	93
4.2.4	<b>Resumen de los Ensayos de Flexión de las Muestras de Guayllabamba.....</b>	94
4.3	<b>Ensayo de Módulo de Elasticidad del Hormigón en Compresión.....</b>	94
4.3.1	<b>Procedimiento.....</b>	95
4.3.2	<b>Cálculos.....</b>	95
4.4	<b>Elección de la Cantidad Óptima de Fibra.....</b>	96
CAPITULO V	.....	99
5.	<b>DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO.....</b>	99
5.1	<b>Introducción del diseño del pavimento rígido.....</b>	99
5.1	<b>Aspectos a considerar en el diseño de pavimentos.....</b>	99
5.1.1	<b>Carga del Tránsito.....</b>	99
5.1.2	<b>Vehículo Y Tráfico Variable.....</b>	99
5.1.3	<b>Datos de Ingeniería de Tránsito Requeridos en el Diseño de Pavimentos.....</b>	100
5.1.4	<b>Materiales de Terracerías.....</b>	100
5.1.5	<b>Condiciones Climatológicas.....</b>	101

5.2	<b>Métodos de diseño</b> .....	101
5.2.1	<i>Método de la Asociación de Cemento Portland PCA</i> .....	102
5.3	<b>Método de diseño según el fabricante de la fibra Ruredil RXF54</b> .....	116
5.3.1	<i>Diseño Ruredil para una losa de hormigón del pavimento rígido con material de Pintag</i> .....	117
5.3.2	<i>Diseño Ruredil para una losa de hormigón del pavimento rígido con material de Guayllabamba</i> .....	119
5.4	<b>Estimación de Costos</b> .....	121
5.4.1	<b>Introducción</b> .....	121
5.4.2	<b>Costo del hormigón y de la fibra Ruredil RXF54</b> .....	122
5.4.3	<i>Resumen de costos</i> .....	123
<b>CAPITULO VI</b> .....		125
6.	<b>DURABILIDAD DEL PAVIMENTO RIGIDO</b> .....	125
6.1	<b>Introducción</b> .....	125
6.2	<b>Procesos de deterioro del pavimento rígido y sus componentes</b> ....	127
6.3	<b>Características de durabilidad en pavimentos de hormigón y pisos industriales</b> .....	128
6.3.1	<i>Soporte del Suelo o Subrasante</i> .....	128
6.3.2	<i>Capa de la sub-base</i> .....	129
6.3.3	<i>Materiales constituyentes del pavimento y del hormigón</i> .....	129
6.3.4	<i>Procesos de construcción a los que se somete el hormigón</i> .....	130
6.3.5	<i>Tipos de carga</i> .....	130
6.3.6	<i>Naturaleza del ambiente al que es expuesto el pavimento</i> .....	131
6.3.7	<i>Juntas de construcción</i> .....	131
6.4	<b>Evaluación de losa de Hormigón</b> .....	132
6.4.1	<i>Condado Shopping (Parqueaderos)</i> .....	132
6.4.2	<i>Supercines (Parqueadero)</i> .....	137
6.4.3	<i>Tramo desde el Redondel de la Miraflores hasta Terminal Quitumbe (Pavimento Rígido)</i> .....	140

<b>CAPITULO VII</b> .....	145
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	145
<b>7.1 Propiedades de los agregados</b> .....	145
<b>7.3 <i>Retracción y Fisuramiento</i></b> .....	163
<b>7.4 <i>Módulo de Elasticidad</i></b> .....	167
<b>7.5 <i>Determinación del Porcentaje Óptimo de fibra</i></b> .....	168
<b>7.6 Diseño del peralte del pavimento rígido sin fibras y con fibras</b> .....	171
<b>7.8 Determinar la mejor opción de costo por kilómetro de vía     construida</b> .....	185
<b>7.9 RECOMENDACIONES</b> .....	190
 <b>CAPITULO VIII</b> .....	 193
 <b>8. ANEXOS</b> .....	 193
<b>8.1 ANEXO A: Ensayos de Materiales</b> .....	193
<b>8.2 ANEXO B: Determinación de las Resistencias de Compresión y     Flexión</b> .....	244
<b>8.3 ANEXO C: Costos del Hormigón con y sin fibra</b> .....	273
<b>8.4 ANEXO E: Anexo G: Fichas Técnicas y documentos de la fibra del     ACI.</b> 288	
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	294

## INTRODUCCION

El sistema vial del Ecuador, presenta serios problemas constantemente y es que cada vez que se inicia la temporada invernal, las vías en todas las regiones del país y sus conexiones se tornan prácticamente intransitables.

En esta época, el país vuelve nuevamente a sufrir las consecuencias de la negligencia de las autoridades correspondientes, ya que los trabajos que se hacen en las vías, solo son de emergencia, es decir son acciones temporales y con el pasar del tiempo se vuelve a tener los mismos problemas.

En general todas las vías del país, sin importar su tipo tienen problemas de baches, fisuras, hundimientos, etc.; todos estos problemas se deben principalmente a la mala utilización de los materiales que conforman el pavimento, los mismos que no cumplen con los requerimientos necesarios, la falta estudios viales, así como la falta de fiscalización han hecho que la estructura de estos pavimentos empiecen a tener problemas y no resistan las cargas para las que fueron diseñadas, como tampoco los períodos invernales.

Conjuntamente a esto, la situación económica del país, no permite hacer grandes inversiones en las vías debido a sus altos costos, a pesar que de que cada año, en la temporada de invierno, el gobierno tiene que tomar acciones de emergencia gastando millones de dólares para contrarrestar los daños en las vías.

En el Ecuador se pueden encontrar algunos tipos de pavimentos, de los cuales, los comúnmente utilizados son los pavimentos flexibles, articulados (adoquinado) y rígidos.

Las diferencias más notables entre estos, son que el pavimento rígido a largo plazo resulta ser más barato que otros tipos de pavimentos usualmente usados, debido al

costo de mantenimiento. La vida útil del pavimento rígido es más larga y algunas propiedades como resistencia, durabilidad, indeformabilidad, facilidad de construcción, etc. hacen que el pavimento rígido sea una alternativa más confiable en relación a los demás tipos de pavimentos.

Cabe resaltar que los pavimentos rígidos tienen inicialmente un alto costo de construcción, haciendo que los pavimentos flexibles y articulados sean una opción más factible al momento de realizar grandes inversiones en el tema vial.

No se debe olvidar que cualquiera que sea la elección del pavimento, si este no cuenta con los materiales y estudios adecuados; se tendrá a futuro un sinnúmero de problemas.

Si bien es cierto que el pavimento rígido, es una muy buena opción para la construcción de una vía; el hormigón que compone a la losa del pavimento, a pesar de ser muy resistente a la compresión, puede presentar complicaciones por su baja resistencia a la tracción y una limitada resistencia a la fisuración.

En los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías, con las que se han creado y mejorado distintos materiales que tiene como fin, mejorar las características físicas y mecánicas de elementos estructurales especiales y en general de obras civiles.

La fibra sintética estructural híbrida es un elemento creado a base de polímeros y polipropilenos, esta fibra mejora la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón.

Bajo estas premisas y analizando las características físicas y mecánicas del pavimento rígido; la incorporación o adición de fibras sintéticas, puede ser una opción que puede mejorar las características propias de este pavimento y por ende su desempeño. Al mismo tiempo, se pueden obtener diseños en los que se reducen

los peraltes de la losa de hormigón del pavimento rígido teniendo las mismas y hasta mejores características con respecto al peralte de la losa de hormigón del diseño de un pavimento rígido normal.

Todas estas mejoras repercuten en el valor final del pavimento rígido, debido a que al estar disminuyendo el peralte de la losa, se está reduciendo las cantidades de hormigón ( $m^3$ ).

Para llevar a cabo esto, se debe analizar la mejor combinación entre la cantidad de fibra adicionada y el diseño del peralte de la losa de hormigón, ya que para evaluar las muestras se colocará diferentes dosificaciones recomendadas por el fabricante y así se podrá hacer un análisis donde identificaremos la cantidad óptima de fibra que permitirá reducir los costos, por la reducción del peralte de hormigón en un kilómetro de carretera.

Para esta investigación, se realizaron varios diseños de hormigón de una sola resistencia (cumpliendo las especificaciones de las Normas MOP), en la que cada muestra es dividida en dos partes; en donde, a una parte se agrega un porcentaje de fibra y a la otra parte no, con lo cual se puede comprobar las resistencias de las muestras con y sin fibra.

Después de analizar, la disponibilidad en sitio y origen de los materiales, para cumplir con el objetivo de esta investigación, se eligió materiales de procedencia de Pintag y Guayllabamba; y cemento Rocafuerte.

Antes de iniciar con las dosificaciones, se procederá a identificar las características de los agregados pétreos y de la fibra sintética híbrida que intervendrán en las mezclas de hormigón.

Con los resultados de la granulometría y luego de verificar que cumplan con las especificaciones, se procedió a diseñar las proporciones adecuadas de los componentes para las mezclas de hormigón de resistencia previamente definidas por las Normas MOP.

Se determinó la resistencia a la compresión y flexión de las muestras después del proceso de curado e inmersión en laboratorio; adicionalmente, se identificó visualmente, si existían diferencias físicas o presencia de fisuras en las muestras.

Además, se diseñó el peralte del pavimento rígido sin y con fibras; para así identificar y diferenciar que mejoras se han dado en el hormigón de un pavimento rígido sin y con fibras de acuerdo a su resistencia; y al final, se efectuó una estimación de costos, con lo que se determinó la mejor opción entre pavimentos rígidos con o sin fibra.

# **CAPITULO I**

## **1. ANTECEDENTES**

En el Ecuador, la infraestructura vial que se encuentra en funcionamiento, no ha llegado a satisfacer los objetivos para los cuales fueron diseñados, por lo que se ha producido graves problemas en la vialidad del país, sometiéndose a constantes mantenimientos periódicos; generando problemas de transporte de habitantes e insumos entre regiones y consecuentemente pérdidas económicas.

El gobierno del Ecuador ha invertido millones de dólares en las vías principales y secundarias del país, y como resultado, se siguen teniendo varios problemas con todos los pavimentos que se han construido.

Con el fin de reducir costos se ha visto la necesidad de buscar nuevas tecnologías que nos permitan satisfacer nuestros objetivos y necesidades, haciendo uso de nuevos materiales que mejoran las características de los pavimentos.

Para nuestra investigación procederemos a tomar en cuenta las siguientes especificaciones y normas, las mismas que guiarán todo el desarrollo de los procedimientos y ensayos a realizarse.

ACI (American Concrete Institute)

ASTM (American Society for Testing and Materials)

AASTHO (American Association of State Highways and Transportation Officials)

NORMAS MOP (Normas Generales del Ministerio de Obras Publicas del Ecuador)

## **1.1 Pavimentos en el Ecuador**

Generalmente un pavimento está constituido por una o varias capas sobrepuestas, las mismas que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y procesos adecuados de compactación. Estas capas se apoyan sobre la subrasante de la vía, la misma que transmitirá adecuadamente al suelo de apoyo los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito.

### ***1.1.1 Características y tipos de pavimentos***

El pavimento debe ser diseñado y dimensionado para soportar las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o tridem) esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño de la vía. La repetición de las cargas del tránsito y las deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo.

A continuación se indica los pavimentos que comúnmente encontramos y se construyen en el Ecuador; estos son:

- Pavimentos flexibles: es un conjunto de capas de material granular seleccionado y una capa de rodadura a base de asfalto. La estructura del pavimento flexible está distribuida de la siguiente manera comenzando desde la última capa situada en la parte inferior de la estructura: subrasante, sub base, base, carpeta asfáltica

Esta conformación se debe a que este pavimento admite grandes deformaciones sin rotura bajo la acción de una carga, estas capas transmiten los esfuerzos al suelo, disipando las tensiones paulatinamente con la profundidad en el suelo.

- Pavimentos de hormigón: están conformado por una losa de hormigón, apoyado sobre la subrasante o una capa de material seleccionado (sub base). Como el hormigón es capaz de resistir muy bien a la compresión y en cierto grado, los esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es muy satisfactorio ante cualquier carga repetitiva. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce influencia en el diseño del espesor y diseño del pavimento.
- Pavimentos semi rígidos: es una capa que contiene una mezcla de suelo y cemento; se asemeja a una placa de hormigón de un pavimento rígido, sin embargo su rigidez es mucho menor y por esta razón admite deformaciones mayores, transmitiendo mayores esfuerzos al suelo de soporte.
- Pavimentos articulados: está formado por una capa de rodadura, construida por bloques de hormigón prefabricados de espesor uniforme, conocidos como adoquines. Estos van colocados sobre una capa de arena compactada, la misma que se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta, magnitud y frecuencia de las cargas que circulan por el pavimento.

Para la presente investigación se pondrá más énfasis en los pavimentos rígidos y pisos industriales, ya que estos son de trascendental importancia para el desarrollo de la presente investigación.

## **1.1.2 Pavimento Rígido**

### *1.1.2.1 Reseña Histórica*

El primer pavimento de hormigón de cemento portland que se usó fue en el año de 1891, en la ciudad Bellefontaine, Ohio, EEUU, por el Ing. George Bartholomew, donde se construyó sin previos diseños. Los primeros pavimentos se construyeron sin previos diseños, solamente con el buen criterio del ingeniero, debido a la falta total de algún método de análisis racional, para el diseño de la estructura vial.

En el año 1920, debido a la necesidad de obtener un método de análisis teórico, se inició con el estudio de un camino experimental en el estado de Illinois, EEUU, y empezaron a aparecer algunos métodos, y el primero fue: "El método de la fórmula de la esquina", con el que posteriormente comenzaron a perfeccionar técnicamente algunos métodos de diseño.

Desde entonces se comenzó a expandir esta nueva tecnología de construcción y diseño de pavimentos tanto en Estados Unidos, Europa y en América Latina.

Los Estados Unidos ha sido el pionero en este tipo de construcciones a más de ser el país con mayor experiencia, es también quien tiene el mayor número de kilómetros construidos en pavimento rígido, ya que las tres cuartas partes de sus autopistas y las dos terceras partes de sus carreteras son de pavimento rígido.

En el Ecuador se ha experimentado construcciones de pavimentos rígidos, como en la carretera: El Carmen-Pedernales, algunas carreteras principales en la provincia de Guayas, Pichincha, Manabí, Napo, etc.

### 1.1.2.2 Definición

El pavimento rígido es una estructura compuesta por una losa de hormigón, la cual se apoya sobre una capa de material granular seleccionado y compactado llamado sub-base, lo importante es que la losa de hormigón tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable. El pavimento rígido tiene como característica principal absorber en un gran porcentaje los esfuerzos compresión y medianamente los esfuerzos de flexión, producidas por las cargas de tráfico de la carretera, transmitiendo así, solo un pequeño porcentaje de este esfuerzo hacia el suelo.

De igual forma el pavimento rígido disimula algunas pequeñas irregularidades en la subrasante, ya que estas no se reflejan en la superficie del pavimento.

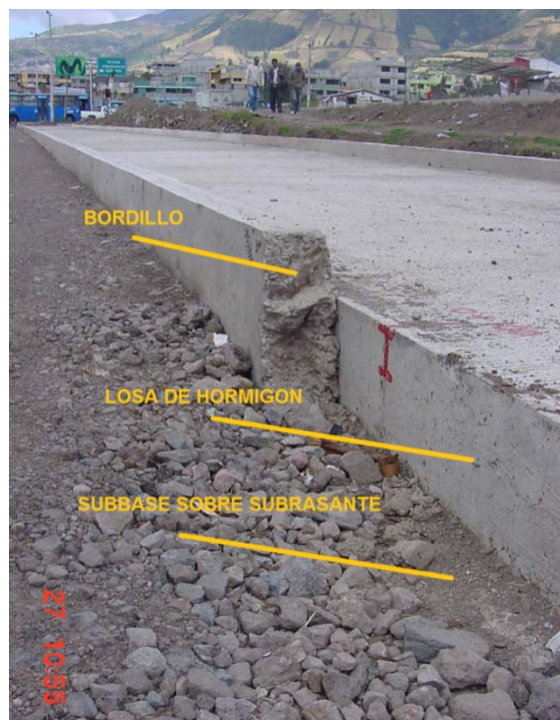


Ilustración 1.1: Estructura de un Pavimento Rígido, cerca de la Terminal Quitumbe  
Fuente: Visitas realizadas a obras de Pavimentos en Quito

### *1.1.2.3 Características*

Una carretera moderna de pavimento rígido debe reunir un gran número de características para su buen funcionamiento. Mencionaremos las características principales que le interesan al usuario.

- Para el constructor, estas características deben obtenerse de la forma más económica posible de manera que se conserven por el mayor tiempo sin necesidad de reparaciones.
- La seguridad está garantizada, si el conductor puede frenar en cualquier momento con el máximo de adherencia al contacto de los neumáticos y la calzada, incluso en tiempo de lluvia.
- La comodidad será perfecta, si el perfil de la calzada está desprovisto de irregularidades, haciendo así que disminuyan las oscilaciones verticales incómodas de la carrocería de los automóviles.
- La carretera será durable, si bajo el efecto del tráfico, frenadas y giros, permanece en idénticas condiciones a las iniciales durante varios años, y si, bajo el efecto de la repartición de cargas el perfil de la calzada no sufre cambios, si no muy lentamente.
- La carretera resultará económica, si sus características se mantienen, sin necesidad de trabajos de mantenimiento o reparaciones costosas.

### *1.1.2.4 Aplicaciones*

El principal uso de este tipo de superficies es en la construcción de carreteras y calles de ciudades.

Otro de los usos importantes de este tipo de pavimentos, es en la construcción de aeropuertos, principalmente en la zona de estacionamientos de aviones, carga y descarga. También se los utiliza en pisos industriales, para almacenamiento de productos.

#### *1.1.2.5 Clasificación*

El pavimento rígido se clasifica en varios tipos tales como:

- Pavimentos de Hormigón Simple
- Pavimentos de Hormigón con Refuerzo de Acero
- Pavimentos de Hormigón con Refuerzo Continuo
- Pavimento de Hormigón Reforzado con Fibras

##### *1.1.2.5.1 Pavimentos de Hormigón Simple*

Este tipo de pavimento no contiene armadura de refuerzo y el espaciamiento entre juntas es de 2.5 a 4.5 m. Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas.

##### *1.1.2.5.2 Pavimentos de Hormigón con Refuerzo de Acero*

Este tipo de pavimento contiene armadura de refuerzo para resistir sollicitaciones por contracción, agrietamiento, compresión y tracción, lo cual permite reducir el peralte de la losa de hormigón. El espaciamiento de las juntas pueden ser entre 7 a 30 m.

#### *1.1.2.5.3 Pavimentos de Hormigón con Refuerzo Continuo*

Este tipo de pavimento contiene armadura longitudinal continua asumiendo todo tipo de deformaciones en especial de temperatura, eliminando así las juntas por contracción, quedando solo las juntas por construcción y de dilatación.

#### *1.1.2.5.4 Pavimento de Hormigón Reforzado con Fibras*

Este pavimento puede contener cualquier tipo de fibras ya sean de metal, polipropileno, carbón, sintéticas estructurales, polímeros, etc. Que pueden llegar a mejorar las características mecánicas del hormigón.

#### *1.1.2.6 Ventajas y Desventajas de los pavimentos rígidos*

Las ventajas de este tipo de pavimentos son:

- a. Economía a largo plazo: Debido a su gran duración, el costo anual de mantenimiento es completamente reducido; aunque si bien es cierto el costo inicial es considerablemente mayor que el de otras alternativas sin embargo, este pavimento mantiene un elevado valor residual ya que es posible ahorrar hasta el 40% del costo de repavimentación, utilizando la losa existente como cimiento para un sello de hormigón.
- b. Durabilidad: Este pavimento tiene una vida útil mucho mayor que cualquier otro tipo, por las características de resistencia a altas temperaturas, deterioros por gasolina y diesel, efectos de la intemperie.
- c. Comportamiento satisfactorio: El hormigón es un material fabricado por el hombre, y su tecnología está tan desarrollada que le permite realizar un riguroso control de calidad, logrando como resultado la obtención de altas

resistencias a la compresión, flexión, al desgaste, y se logra una distribución uniforme de la carga, con la consiguiente disminución de esfuerzos sobre el suelo.

- d. Seguridad: Un pavimento correctamente terminado ofrece una superficie con una rugosidad que garantiza la seguridad contra el deslizamiento de los vehículos.
- e. Comodidad: La utilización de técnicas avanzadas ha perfeccionado tanto el sistema de transferencia de cargas a través de las juntas, que en muchos casos ha permitido la eliminación de estos sistemas, con lo que se ha obtenido que las vibraciones del vehículo sean reducidas notablemente.

Entre las desventajas del pavimento rígido, se pueden enumerar:

- a. EL alto costo inicial hace que el pavimento rígido sea restringido, sobre todo en los países en desarrollo, donde los presupuestos que los gobiernos asignan a este tipo de proyectos no cubren la inversión inicial de los mismos.
- b. Cuando se diseña este tipo de pavimento se deberá estimar las cargas futuras probables que pueden actuar sobre este, ya que una vez construido este pavimento no se podrá superponer nuevas capas como sucede en los pavimentos flexibles.

### *1.1.2.7 Propiedades mecánicas y físicas de los pavimentos rígidos*

#### *1.1.2.7.1 Propiedades Mecánicas*

En lo que respecta a las propiedades mecánicas de los pavimentos rígidos, las propiedades más fundamentales son las siguientes:

##### *1.1.2.7.1.1 Resistencia a la Compresión*

En pavimentos rígidos juega un papel muy importante la resistencia a la compresión, ya que el hormigón es uno de los componentes principales en este tipo de pavimentos, por lo que el hormigón debe endurecerse a través del tiempo para poder adquirir la capacidad máxima de resistir cargas, que serán transmitidas por tráfico durante la vida útil del pavimento. Esta resistencia a la compresión ( $f'c$ ) se la determina mediante el ensayo de una probeta cilíndrica a los 28 días, la que deberá cumplir las especificaciones de las normas MOP.

##### *1.1.2.7.1.2 Resistencia a la Flexión*

La resistencia a la flexión para pavimentos rígidos es el dato más importante para su diseño, ya que el diseño de un pavimento rígido se basa en la resistencia a la flexión, de acuerdo a eso se diseña el peralte de la losa de hormigón. La resistencia a la flexión o módulo de ruptura (MR) se la determina mediante el ensayo de una probeta tipo viga a los 28 días, de tal manera que cumplan con las especificaciones de las normas MOP.

#### *1.1.2.7.2 Propiedades Físicas*

Las propiedades físicas que presentan los pavimentos rígidos son varias, por lo que se mencionará las principales y más representativas de los mismos:

- **Indeformabilidad:** en las zonas de frenado y arranque de vehículos pesados, el hormigón no se deforma.
- **Textura:** la superficie del pavimento de hormigón se puede hacer tan segura (antiderrapante) como se quiera, gracias a las diversas técnicas disponibles para darle textura, ya sea durante la construcción o una vez que el pavimento ha estado en servicio y requiera de una mayor resistencia al deslizamiento.
- **Visibilidad:** la superficie clara de hormigón es tres veces más reflejante que la de asfalto. Se brinda mayor seguridad durante la noche, debido a que los faros de los vehículos, reflejan mejor la luz en el hormigón.
- **Juntas:** las juntas es una propiedad física del pavimento rígido que pueden ser juntas de construcción y / o de dilatación. Las juntas de construcción son las que se hacen al final de la jornada de trabajo o por imposibilidad de continuar con el hormigonado. Mientras que las juntas de dilatación sirven para controlar el agrietamiento natural que se produce en el hormigón.

### **1.1.3 Pisos Industriales**

#### *1.1.3.1 Introducción*

En la Industria, la seguridad e higiene, es la pieza clave para llegar a la máxima eficiencia. En ella recae la responsabilidad de vigilar el buen estado del lugar de trabajo; logrando que sus empleados y maquinaria desempeñen sus labores sin ningún riesgo.

Con el fin de que una planta cumpla con sus objetivos, es necesario lograr que la cadena de producción no se vea alterada por ningún imprevisto.

En la industria, al igual que todos los elementos estructurales que la conforman; los pisos son de gran importancia en la construcción ya que sobre ellos se desarrollan concentraciones intensas de tráfico de producción.

Los problemas más comunes que se pueden identificar en el piso de las industrias, se debe a causa de las continuas cargas que se manifiestan en la losa, vibraciones, derrames de sustancias químicas, etc. haciendo que la superficie de la losa se desgaste provocando el daño de toda la estructura del piso.

Las exigencias requeridas en pisos industriales, como bodegas, áreas de producción; la industria automotriz, química, farmacéutica, aeronáutica, etc. son extremas, para lo cual la mayoría de las industrias utilizan pisos de hormigón, ya que al estar bien diseñados y contruidos son soluciones durables, económicas, resistentes y con escasas labores de mantenimiento.

#### *1.1.3.2 Definición*

Los pisos industriales de hormigón están formados por una losa de hormigón de cemento Portland; estas son estructuras de hormigón con características muy definidas, puesto que al ser muy parecidos a un pavimento rígido; su análisis y diseño son diferentes debido a las condiciones de carga, tipo, funciones y condiciones.

Los pisos industriales son diseñados en diversos espesores, de acuerdo a las especificaciones técnicas en cuanto a tráfico, normas legales y requerimientos de uso; pues existen varias alternativas de pisos; con y sin refuerzo continuo;

superficies resistentes a cierto tipo de agresiones físicas o químicas; pisos diseñados para cargas puntuales, cargas dinámicas y así otras posibilidades

Frecuentemente, los revestimientos también deben ofrecer otras funciones, además de una simple protección, deben presentar cualidades de resistencia mecánicas y químicas muy significativas. También debe realizarse procedimientos complementarios, para generar superficies muy planas, así también como superficies con gran conductividad eléctrica, impermeables, etc.

Un piso industrial óptimo debe ser eficiente, durable y rentable, además de poseer cualidades como resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, al impacto y a los ataques químicos, entre otros.

### *1.1.3.3 Características y Necesidades de servicio en Pisos Industriales.*

#### *1.1.3.3.1 Resistencia a esfuerzos por carga, impacto y vibración.*

El piso debe ser altamente resistente a la compresión y flexión por efecto de sobrecarga por m<sup>2</sup>, en áreas donde se almacenan grandes cargas, las cuales muchas veces son cargas puntuales o es un lugar donde hay maquinaria pesada estacionaria.

En algunos casos se pueden producir grandes impactos directos, debido a choques bruscos o malas maniobras con las cargas, para lo cual hay que ofrecer ductilidad al piso, permitiendo que pueda soportar estos esfuerzos sin fallar, ni ondularse.

Las vibraciones de máquinas y maquinaria en general, puede producir daños en la estructura del piso, ya que se producen movimientos que dan lugar a fenómenos de compresión y reacomodo del suelo, lo cual hace que el piso pierda apoyo.

#### *1.1.3.3.2 Resistencia a la abrasión y desgaste.*

Este aspecto es muy importante, ya que todo piso debe tener una superficie fuerte y densa, soportando distintas clases de desgastes generados por el tráfico de maquinaria, personas, equipos haciendo los cuales pueden dañar la superficie del piso y por consiguiente el desprendimiento de polvo. Si el piso está bien diseñado para la abrasión y desgaste, reducirá los costos de limpieza y mantenimiento así también como la contaminación del ambiente en general.

#### *1.1.3.3.3 Resistencia a la Corrosión Química*

En algunas industrias hay riesgo de exposición constante de sustancias químicas diluidas y concentradas, las mismas que pueden atacar la superficie del suelo o que si bien el suelo resiste a su ataque, debe ser capaz de resistir los productos de limpieza.

Los pisos deben ser a su vez densos y tener una baja porosidad y así evitar la absorción de sustancias, las mismas que una vez que ingresan a la estructura del hormigón, puedan dañarlo y disgregarlo.

#### *1.1.3.3.4 Impermeabilidad*

Existen procesos, donde el piso está en contacto permanente con el agua, para lo cual es necesario tener un superficie impermeable la cual impida que el agua pase a las capas del suelo y así evitar asentamientos y el daño de las capas interiores del suelo o impedir que el nivel freático pase del suelo al interior y se generen problemas por humedad.

#### 1.1.3.3.5 *Seguridad*

En este caso las superficies deben tener propiedades antideslizantes capaces de evitar, problemas y accidentes por resbalones en el tráfico de la maquinaria y de las personas.

Así mismo, existen áreas en la industria donde se manufactura y almacena productos inflamables y explosivos, donde se generan cargas estáticas por procesos continuos, por lo cual los pisos deben eliminar estas cargas y así evitar chispas que puedan generar una explosión o incendios.

#### 1.1.3.3.6 *Facilidad de limpieza y comodidad*

En cuanto a la limpieza y como se mencionó antes, los pisos deben ser capaces de soportar el ataque de químicos agresivos necesarios para remover otras sustancias químicas. En donde además se busca que las superficies sean lisas, bien niveladas y fáciles de acceder.

Existen otras características que hacen referencia al aspecto estético; todas las superficies influyen en el aspecto global del entorno, el color, acabado, cualidades térmicas y acústicas, para llegar a tener y brindar una atmósfera de bienestar y comodidad para los trabajadores y personas en general.

#### 1.1.3.4 *Diseño de un piso Industrial*

Para el diseño de los pisos industriales de hormigón, como para el caso de los pavimentos rígidos, se necesita definir primeramente la calidad del suelo sobre el que se va a construir dicho piso, de manera muy completa, puesto que además de definir la capacidad de soporte, también se requiere definir la compresibilidad del

suelo en los diferentes estratos, puesto que las altas cargas distribuidas pueden generar asentamientos o consolidaciones.

La determinación de las solicitaciones, que son un factor importante en el diseño de pavimentos, incluye la definición de la magnitud y forma de almacenamiento de las cargas, la configuración de las ruedas y la frecuencia del tránsito de los vehículos más pesados que puedan utilizar el pavimento.

Sin embargo existen notables diferencias en el tipo, aplicación de solicitaciones y diseño geométrico; que impiden que los métodos tradicionales para el diseño de los pavimentos rígidos viales se utilicen en el caso de un piso industrial.

## **1.2 Tecnologías en la Construcción**

### **1.2.1 Introducción**

A partir de la revolución industrial, se empezaron a dar grandes avances tecnológicos e ingenieriles, ya que la disponibilidad de nuevos materiales como el acero, el hormigón y el vidrio entre otros llevaron a la invención y desarrollo de nuevos materiales y técnicas constructivas.

Mantenerse continuamente informado acerca de los adelantos y nuevos materiales disponibles para la construcción, es indispensable para el campo de la ingeniería civil y en general para cualquier profesión.

Precisamente en los últimos años; se han mejorado, desarrollado y ensayado nuevos Sistemas Constructivos, Materiales Compuestos, Tecnologías del Hormigón, Métodos y Equipos para la Construcción, etc.

### **1.2.2 Las fibras**

Desde la antigüedad las fibras fueron usadas en la construcción para disminuir la fragilidad de los materiales. Los antiguos egipcios así, como los aborígenes del Ecuador, empleaban la paja para reforzar los ladrillos y paredes de adobe. Los romanos usaban las cerdas de los caballos para hacer enlucidos y morteros. Recientemente, en 1898, se introdujo el uso de las fibras de asbesto que se han empleado de manera generalizada hasta nuestros días. Sin embargo, debido a su peligrosidad se han estudiado nuevas fibras que han sido introducidas en el sector de la construcción a partir de los años sesenta.

Las fibras que comúnmente se emplean son:

- a. Fibras naturales: estas fibras se usan por su bajo costo. Pero, por motivo de protección del medio ambiente, puesto que estas fibras derivan de vegetales, su uso a nivel industrial es muy limitado.
- b. Fibras metálicas: este tipo de fibra ha sido introducida en los materiales para la construcción desde los años cincuenta. Estas fibras presentan buenas características mecánicas en el hormigón, su uso se está limitando ya que, a través de las macro y micro fisuras, muchas sustancias contaminantes, como anhídrido carbónico, lluvias acidas, aguas con sulfatos, productos químicos, etc., penetran al hormigón provocando la corrosión de estas fibras y a su vez propagándose a todas las fibras. Además como las fibras se encuentran esparcidas por todo el hormigón, estas se corroen fácil y rápidamente. Su baja resistencia a la corrosión, implica una baja durabilidad del hormigón.
- c. Fibras sintéticas: son el resultado de investigaciones tecnológicas de varios campos, petroquímicas y textiles. Las fibras que más se utilizan tienen

longitudes de 0,5 a 6 cm. y son: acrílicas, de carbono, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno.

Las propiedades mecánicas y de durabilidad de las fibras sintéticas se modifican en función del polímero que se utiliza. Es así que se pueden emplear diferentes tipos de fibras para obtener hormigones con prestaciones específicas, siendo la fibra una de las innovaciones más relevantes en el campo de los hormigones especiales.

Las fibras sintéticas estructurales a diferencia de las fibras metálicas, son químicamente inertes, esto nos dice que las fibras no se deterioran, por muy agresiva que sea la sustancia o ambiente químico. Las prestaciones mecánicas y de durabilidad de un hormigón con fibra sintética estructural son superiores a la de los hormigones tradicionales con fibras de acero.

### **1.2.3 Hormigón Fibro Reforzado.**

El hormigón está formado por una adecuada mezcla de diferentes proporciones de agregados pétreos, cemento y agua, llegando a formar un elemento macizo de propiedades físicas y mecánicas altamente resistentes. El hormigón es un material que tiene buena resistencia a la compresión pero una baja resistencia a la tracción y una limitada resistencia a la fisuración, con lo cual, bajo la acción de una fuerza, las micro fisuras se propagan rápidamente dando como resultado la baja resistencia a la tracción del hormigón.



Ilustración 1.2: Hormigón con fibra RFX54 elaborado para la investigación  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

Estas características se obtienen utilizando las fibras sintéticas estructurales que, si se distribuyen homogéneamente en la mezcla del hormigón, de manera que se forme un refuerzo tridimensional, estas fibras son capaces de aliviar eficazmente las tensiones internas que se desarrollan en la deshidratación y tensiones externas debidas a cargas.

Vale indicar que las fibras sintéticas estructurales, pueden realzar significativamente las características del hormigón, de entre las principales, podemos mencionar:

- Reducir la fisuración y agrietamiento que se produce en la retracción plástica
- Aumento del índice de tenacidad y disminución de la permeabilidad
- Refuerzo secundario cuando existe una presencia importante de grietas por retracción
- Evitar el desarrollo de micro fisuras

A pesar de que la fibra presenta una gran cantidad de beneficios para el hormigón y su comportamiento, la fibra no puede ser utilizada en los siguientes casos:

- Para controlar el agrietamiento de la losa generado por tensiones externas muy altas
- Reemplazar cualquier tipo de armadura primaria de acero

#### *1.2.3.1 Acción de la Fibra Sintética Estructural adicionada a la losa del pavimento rígido.*

En el pavimento rígido, la losa de hormigón, es una estructura rígida capaz de absorber aproximadamente un 90% de las solicitaciones de carga por su buena resistencia a la compresión. Sin embargo durante la elaboración y vida útil del pavimento rígido, este puede estar expuesto a solicitaciones de tracción que produzcan macro y micro fisuras que pueden ser dañinas para la estructura del pavimento.

Como ya se mencionó antes, adicionando la fibra sintética estructural en el hormigón de la losa del pavimento rígido se puede mejorar la resistencia a compresión, tracción y durabilidad, permitiendo realizar diseños de pavimentos rígidos donde se puede reducir el peralte. Las fibras sintéticas estructurales, utilizadas para reducir la fisuración por contracción del hormigón, ofrecen otros beneficios.

Las fibras sintéticas estructurales, no sustituyen el refuerzo estructural principal en el hormigón porque adicionan poca o ninguna resistencia. Pero el refuerzo estructural principal no suministra sus beneficios hasta que el hormigón se haya endurecido.

Es así que la adición de fibras sintéticas estructurales en el hormigón puede respaldar y hasta reemplazar el refuerzo secundario, las fibras sintéticas proporcionan beneficios mientras el hormigón está aún en estado plástico; de igual forma, vale indicar que las fibras aumentan algunas de las propiedades del hormigón endurecido.

La contracción del hormigón genera pequeñas fisuras irregulares que pueden desarrollarse durante las primeras 24 horas después de su colocación, no deben confundirse con las fisuras superficiales, dado que las fisuras por contracción usualmente pasan a través de todo el espesor de la losa; las fisuras son generalmente causadas por cualquier contracción plástica o por secado.

La contracción plástica del hormigón, se produce durante el fraguado, es decir ocurre antes de alcanzar su endurecimiento inicial; la contracción por secado ocurre durante el endurecimiento del hormigón.

Todo hormigón se contrae después de ser colocado debido a un cambio de volumen causado por pérdida de humedad. Si la contracción se produjo sin ninguna restricción, el hormigón pudo o no agrietarse. Pero los elementos de hormigón están siempre sujetos a alguna restricción por la fundación, otra parte de la estructura, o por acero de refuerzo. Para controlar este proceso de contracción, se debe realizar un buen curado.

El confinamiento además desarrolla retracción diferencial, cuando el hormigón de la superficie se retrae más rápido que el hormigón subyacente, si las tensiones de tracción causadas por confinamiento exceden la resistencia a tracción del hormigón, el hormigón se fisura.

Los fabricantes de fibras sintéticas afirman que sus productos pueden ser usados para minimizar la fisuración por contracción plástica o por secado prematuro.

Mezclando las fibras en el hormigón en dosificaciones recomendadas; se obtiene una mezcla en la que hay millones de fibras dispersas uniformemente en la matriz del hormigón. Este refuerzo multidimensional ayuda al hormigón a tener mayor capacidad de resistencia a tracción. Si se forman las fisuras por retracción, las fibras unen estas fisuras, ayudando a reducir su desarrollo en cuanto a longitud y anchura se refiere.

Los efectos de las fibras sobre el comportamiento del hormigón plástico y endurecido varían dependiendo de los materiales del hormigón, proporciones de la mezcla, tipo y longitud de la fibra, y cantidad de fibra agregada.

## **CAPITULO II**

### **2. DEFINICION Y DESCRIPCION DE LOS AGREGADOS PÉTREOS, CEMENTO Y FIBRA SINTETICA.**

#### **2.1 Agregados Pétreos**

##### **2.1.1 *Granulometría de los agregados***

La granulometría se define como la distribución porcentual en masa de las partículas de acuerdo a su tamaño. Se la obtiene realizando un ensayo de tamices especificado en la norma ASTM C136.

Las especificaciones de límites y rangos de gradación son normalmente expresados como el porcentaje de material que pasa en cada tamiz en una serie.

Con una buena granulometría se puede llegar a obtener un óptimo acomodo de las partículas durante la vibración de la mezcla, y de esta manera se puede lograr un hormigón de buenas propiedades mecánicas con una menor pasta cementante.

Unos de los parámetros importantes para una buena dosificación del hormigón son la granulometría y el tamaño máximo de los agregados, ya que estos tienen una gran influencia en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del hormigón.

El complemento del análisis granulométrico de los agregados es el módulo de finura, el cual nos ayuda como un indicativo del grosor del agregado, se lo calcula dividiendo la suma de los porcentajes retenidos acumulados en la serie de Tyler, para cien. Para el agregado fino que vaya a ser utilizado en la fabricación del hormigón, las normas ASTM e INEN nos dan un rango del módulo de finura que debe variar entre 2,3 y 3,1.

El tamaño máximo del agregado grueso es la abertura del tamiz inmediatamente superior al que retiene el 15% o más según la norma ASTM; también considera, como el tamiz que retiene hasta el 10%, de los dos se debería considerar el mayor.

### **2.1.2 Humedad Natural**

La humedad está definida por el contenido de agua que los agregados tienen en estado natural. Los agregados en su estructura interior tienen partículas sólidas y/o vacías que pueden estar llenas o no de agua. La humedad natural es la relación que hay entre la masa de agua y la masa de sólidos, y se la expresa en porcentaje.

En una mezcla de hormigón es de suma importancia la cantidad de agua que contenga un agregado ya que esta afecta al contenido total de agua de la misma. Los cambios de clima y almacenamiento del agregado hacen que su humedad natural sufra variaciones, por lo que se recomienda que conservar la humedad natural del agregado para que no haya mucha variación en la elaboración del hormigón.

### **2.1.3 Material Fino que pasa el tamiz # 200**

En un mezcla de hormigón hay que tomar en cuenta que la presencia de limos y arcillas es perjudicial debido a los efectos negativos, tales como el incremento de agua de mezcla y los cambios volumétricos del hormigón, siendo aun mas perjudicial la arcilla por su alta plasticidad.

Según la norma ASTM C 33, se establece que el material que pasa el tamiz # 200 debe ser del 3 % para hormigones sometidos a abrasión y 5 % para hormigones de otro tipo, como máximo para agregados finos; y en el caso, que el material fino que

pasa el tamiz #200, no sea natural, sino obtenido por trituración de la piedra, los valores especificados pueden aumentarse en un 2 % es decir hasta un 5 y 7 % respectivamente.

Para el caso de agregado grueso, la misma norma establece como porcentaje máximo el 1 % para todo tipo de hormigón.

#### **2.1.4 Gravedad Especifica del agregado**

La gravedad específica de un agregado se define como la relación entre su masa y la masa de un volumen igual de agua.

Estos valores de gravedad específica varían entre 2,4 y 2,9. Las normas utilizadas para realizar estos ensayos son; la norma ASTM C128 para el agregado fino y ASTM C127 para el agregado grueso.

#### **2.1.5 Absorción**

Los agregados por su estructura interna son capaces de absorber agua. La absorción es la cantidad de agua en porcentaje que el agregado puede asimilar para llegar al estado saturado con superficie seca.

Los agregados tienen esta propiedad por su estructura interna y externa, la cual es capaz de albergar líquidos dentro de sus poros permeables. El grado de absorción se lo determina luego de sumergir la muestra en agua por un lapso de 24 horas, siguiendo la norma ASTM C127 y C128 para agregado grueso y fino respectivamente.

### **2.1.6 *Peso Unitario***

El peso unitario de un agregado se lo define como la cantidad de masa de agregado necesaria para llenar un recipiente que corresponda a una unidad de volumen determinada. El agregado ocupa este volumen con vacíos entre sus partículas por su granulometría, el grado de compactación, y de la forma de compactación.

Es de suma importancia conocer el valor de peso unitario tanto en estado suelto como en estado compactado. Según la norma ASTM C29 existen 2 métodos para la compactación, en nuestro caso fue el de varillado.

### **2.1.7 *Peso Unitario Suelto***

Como ya se mencionó anteriormente el peso unitario es la relación entre masa y el volumen del recipiente como unidad de volumen, esta relación es la densidad del material. Este valor es de suma importancia para la dosificación del hormigón en obra.

### **2.1.8 *Peso Unitario Compactado***

Así también el peso unitario compactado se lo define como la relación entre la masa compactada dividida para el volumen del recipiente como unidad de volumen, este es mayor que el peso unitario suelto y es utilizado para determinar la dosificación en volumen del hormigón compactado en obra. El peso unitario será menor que la gravedad específica.

### **2.1.9 Vacios en el agregado**

El agregado por su estructura, tiene huecos en su interior. El volumen total de estos vacios expresado como un porcentaje del volumen de sólidos de un agregado se conoce como la relación de vacios.

### **2.1.10 Contenido Orgánico**

El agregado como proveniente del medio ambiente, puede tener en su superficie materia orgánica, que es un material contaminante para los agregados, este se presenta en forma de humus, pedazos de madera, etc. Todos estos componentes se presentan especialmente en la arena y grandes cantidades de material; en donde todo este material afecta al proceso de fraguado e hidratación del cemento y por lo tanto en su resistencia. Otro de los daños que produce el material orgánico es la oxidación del acero y por efecto de putrefacción ocasiona vacios en el hormigón.

El ensayo de contenido orgánico se lo realiza según la norma ASTM C 40, y se lo conoce también como “Ensayo Colorimétrico”, este ensayo consiste en comparar un color patrón con el que adquiere la muestra luego de permanecer 24 horas sumergidas en una solución de hidróxido de sodio.

### **2.1.11 Abrasión Del Agregado Grueso**

Como parámetro de calidad del agregado grueso, se tiene la resistencia a la abrasión, este valor se lo representa por el porcentaje en peso del agregado grueso que por efecto de la acción abrasiva, pasa a través de un tamiz de abertura menor a la que originalmente retenía el mismo tamiz. La norma ASTM C131 o C135,

determina la resistencia a la abrasión de los agregados, mediante la Máquina de los Ángeles.

El porcentaje de material que pasa el tamiz No. 12 después del ensayo de abrasión deberá ser menor al 50 %, según la norma ASTM.

#### ***2.1.12 Durabilidad a la acción de los sulfatos***

Como otro parámetro de calidad, se tiene la resistencia al desgaste a la acción de los sulfatos que representa el porcentaje de material desgastado por los sulfatos con respecto a la masa de la muestra inicial antes del ensayo.

En lo que respecta a agentes agresivos existen dos grupos, los internos que se añaden al mismo tiempo en el momento de mezclado, y los externos que están en el medio ambiente que rodean al hormigón.

Entre los agentes agresivos internos tenemos a los sulfatos, que mediante reacciones químicas con componentes del cemento causan expansiones capaces de dañar y disgregar en la parte interna del material; y, agente agresivo externo, los sulfatos dañan la superficie del hormigón y lo agrietan.

El porcentaje máximo de durabilidad del agregado grueso sometido a cinco ciclos de inmersión, según la norma ASTM, es:

- Sulfatos de sodio: 12 % para agregado grueso y 10% agregado fino.
- Sulfato de magnesio: 18% para agregado grueso y 15% agregado fino.

## **2.2 ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO**

### **2.2.1 Generalidades**

Como otro componente para la elaboración del hormigón se tiene al cemento, que como material cementante es el que tiene propiedades de adhesión y cohesión necesarias para pegar agregados inertes y así llegar a tener una masa sólida y confinada de resistencia y durabilidad requerida.

Mediante la incorporación de materiales calcáreos y arcillosos en una mezcla se llega a obtener el cemento portland puzolánico, la materia prima utilizada en la mezcla se dosifica para obtener las cantidades adecuadas de cal, sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro.

En este proceso la materia prima pasa a lo largo de un horno rotario el cual permanece a una temperatura promedio de 1500 grados centígrados, durante su proceso de calcinación sufre reacciones químicas y forma nódulos duros, dando un nuevo material llamado clínker.

Este material llamado clínker es sometido a un proceso de trituration junto con la puzolana, en el cual se agrega generalmente una pequeña cantidad de yeso para controlar la velocidad de fraguado, para finalmente obtener así un polvo fino; durante el triturado se agrega un retardante. El polvo fino resultante es el cemento Portland Puzolánico. El contenido de puzolana está entre el 7% y 30% de la mezcla en masa.

La puzolana es un material natural o artificial de silíceo o sílico aluminoso que, por sí solo no tiene propiedades hidráulicas, pero dividido y en presencia de agua reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando compuestos con propiedades hidráulicas.

### **2.2.2 Clasificación**

Como clasificación del cemento Portland Puzolánico se tiene lo siguiente:

- El cemento Portland Puzolánico tipo IP, se emplea en las construcciones de hormigón en general.
- El cemento Portland Puzolánico tipo I (PM), producto resultante de la pulverización conjunta de clínker y puzolana, con la posible adición de sulfato de calcio, el contenido de puzolana es menor del 15% de la mezcla en masa.

El cemento Puzolánico como tal tiene la siguiente clasificación:

- Tipo IP, para uso en la construcción de hormigón en general.
- Tipo IP-A, con incorporador de aire para uso en la construcción en general.
- Tipo P. para uso en la construcción con hormigones que requieren altas resistencias.
- Tipo PA, para hormigones de altas resistencias con incorporador de aire.

### **2.2.3 Propiedades**

#### *2.2.3.1 Consistencia normal*

Es la cantidad de agua que demanda el hormigón para una correcta hidratación del cemento, en estado plástico.

#### *2.2.3.2 Tiempo de fraguado*

Una de las propiedades muy significativa del cemento en presencia de agua, es el fraguado que es un proceso químico en el cual la pasta cementante de consistencia

normal pasa de un estado plástico a un estado sólido. Se tiene dos estados de fraguado, el inicial y final.

Antes de tiempo del fraguado inicial el hormigón deberá ser transportado, colocado y vibrado, y después del fraguado final se procederá al curado del hormigón para evitar que este sufra agrietamiento por el excesivo desprendimiento de calor.

#### *2.2.3.3 Resistencia*

Otra de las características importantes, es la resistencia, que depende de la unión de las partículas de cemento (pasta cementante) con los agregados finos y gruesos. Por otra parte es de gran importancia adherencia de los agregados finos y gruesos con dicha pasta cementante.

#### *2.2.3.4 Permeabilidad*

Un hormigón en cuanto más resistente sea, la permeabilidad disminuye. La permeabilidad de un hormigón es la rapidez con que un líquido lo atraviesa. La permeabilidad aumenta a medida que disminuye la proporción de cemento en la mezcla.

#### **2.2.4 Resumen de las especificaciones de los materiales**

DESCRIPCION	ASTM	INEN
Especificaciones para agregados para hormigón	C33	152
Contenido de impurezas orgánicas en arenas	C40	855
Gravedad específica y absorción de agregado grueso	C127	857
Gravedad específica y absorción de agregado fino	C128	856
Granulometría para agregados para hormigón	C136	696
Desgaste por abrasión de agregados gruesos	C131	850
Masa unitaria y vacíos en los agregados	C29	858
Contenido de humedad de agregados por secado	C566	862

Tabla 2.1: Resumen de las Especificaciones para los Ensayos de los materiales  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### 2.2.5 Resumen de los Ensayos de los materiales de las canteras de Pintag y Guayllabamba

Todo el análisis y resultados de los materiales se encuentran en el Capítulo 8, Anexo A: Ensayos de los materiales.

ENSAYO	NORMA	RESULTADOS			
		Pintag		Guayllabamba	
		Ag. Fino	Ag Grueso	Ag. Fino	Ag Grueso
Granulometría	ASTM C136, C33	Buena	Buena	Regular	Regular
Gravedad Específica Seca	ASTM C128, C127	2.36	2.23	2.58	2.44
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	ASTM C128, C127	2.45	2.32	2.63	2.48
Gravedad Específica Aparente	ASTM C128, C127	2.59	2.46	2.72	2.55
Porcentaje de Absorción (%)	ASTM C128, C127	3.81	4.07	2.04	1.71
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	1456	1288	1620	1426
Peso Unitario Compacto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	1678	1327	1734	1566
Material fino que pasa el tamiz #200	ASTM C33	10.73	-	2.09	-
Contenido Orgánico	ASTM C40	ok	-	ok	-
Equivalente de Arena (%)		80.63	-	97.3	-
Humedad Natural (%)		6.69	0.5	5.09	0.57
Durabilidad al sulfato de sodio (%)	ASTM 088, C33	10.87	8.59	11.95	7.27
Abrasión del Agregado Grueso (%) =	ASTM C131	25.38	-	28.38	-

Tabla 2.2: Resumen de los Resultados de los Ensayos de los materiales  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### 2.2.6 Introducción de la Fibra Sintética Estructural

Ruredil Italia, es una empresa italiana que se ha empeñado en investigar y desarrollar materiales compuestos, principalmente las fibras sintéticas estructurales con las que se quiere mejorar las propiedades mecánicas de morteros y hormigones.

Todas estas investigaciones son hechas para sustituir las fibras de acero, las mismas que a pesar de sus buenas características mecánicas, presenta problemas con la corrosión, pero a la vez se busca un material que remplace a las fibras de carbono y así reducir los costos manteniendo inalteradas las prestaciones mecánicas.

Después de muchas mejoras y trabajando conjuntamente con otras empresas internacionales, Ruredil, presenta al mercado una fibra sintética estructural RUREDIL X FIBER 54, la misma que se utiliza para generar hormigones fibrosos estructurales, los cuales tienen prestaciones mecánicas superiores a las de los hormigones tradicionales con fibras de acero y por ende de un hormigón tradicional.

#### *2.2.6.1 Descripción de la fibra RUREDIL X FIBER 54 (RXF 54)*

La Fibra RXF 54, es una fibra sintética estructural diseñada para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón y el hormigón proyectado.

RXF 54 es una fibra híbrida, compuesta por un monofilamento no fibrilado a base de una mezcla especial de polímeros poliolefínicos y de una fibra fibrilada de polipropileno capaz de reducir y, en algunos casos, eliminar completamente, la retracción plástica.

Además la fibra RXF 54 aumenta la resistencia a la flexión, la ductilidad, la resistencia a la fatiga, al impacto y la durabilidad del hormigón.<sup>1</sup>

En relación a las fibras metálicas, RXF 54 no se corroe, no tiene carga y es resistente en general, a todos los agentes agresivos, es decir es químicamente inerte.

---

<sup>1</sup> Ficha Técnica, Ruredil X Fiber RXF54



Ilustración 2.1: Fibra Sintética Estructural RXF54  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

#### 2.2.6.2 Características físico-químicas de las fibras RXF 54.

Material	Mezcla de fibras de un copolímero poliolefínico y una fibra fibrilada de polipropileno
Peso específico	0,91 kg/dm <sup>3</sup>
Largo	54mm
Diámetro equivalente	0,069mm
Relación largo/diámetro	782
Denier	3020
Resistencia a tracción	620-758 MPa.
Resistencia a los ácidos, las bases y las sales	Total Conformidad ASTM C-1116

Tabla 2.3: Características de la Fibra RXF54  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### *2.2.6.3 Tipos de aplicación*

Se puede utilizar la fibra RXF 54 en cualquier tipo de hormigón y clase de exposición, ya que al ser químicamente inerte, puede ser utilizado en hormigones para ambientes muy agresivos como el marino o en la industria química, donde no se puede usar hormigones con fibras metálicas por los problemas de corrosión.

Se recomienda el uso de la fibra sintética estructural RXF 54 en hormigones destinados a los siguientes empleos:

- Prefabricados: Tuberías de alcantarillado, paneles para la construcción, elementos prefabricados para galerías, pozos negros, cabinas para servicios (electricidad, teléfono, etc.), contenedores para la recolección de agua, tanques de agua potable, canaletas para cables (tradicionales, fibras ópticas, etc.), cámaras con sifón para agua de lluvia, elementos para canalización, elementos de sostén para la construcción, para techado y juntas, pilotes de concreto de fabricación centrífuga, tanques para contener sustancias contaminantes.
- Pavimentaciones industriales y exteriores: Estacionamientos, depósitos de materiales, pavimentaciones sujetas a cargas pesadas y/o elevadas cargas dinámicas, pavimentaciones sin juntas, estaciones de servicio y oficinas, cámaras frigoríferas, áreas de almacenamiento, bloques de espesor reducido, muelles, pistas de aeropuerto.
- Túneles y obras subterráneas: recubrimiento interior de túneles, muros de sujeción, hormigón proyectado.
- Construcción residencial: Losas de fundación, pisos, refuerzo de pisos con hormigón, columnas, cimientos.

#### *2.2.6.4 Tipo de envase, almacenaje, dosificación*

Cada bolsa es hidrosoluble y contiene 1 Kg. De fibra. La dosificación mínima que recomienda el fabricante es de 1,5 Kg. RXF 54 por cada m<sup>3</sup> de hormigón y se puede variar de acuerdo al rendimiento que se desea obtener para el hormigón fibroreforzado, variando la dosis 0.5 % en volumen.

#### *2.2.6.5 Recomendaciones para su aplicación*

Las fibras se agregan directamente en el aparato mezclador de la planta, mezcladora o en el camión mezclador o mixer.

Normalmente se agregan en la cinta transportadora conjuntamente con el árido, el cemento, la arena, y una primera parte de la grava; nunca se deben agregar las fibras primero.

Una vez que las fibras han sido agregadas, es necesario mezclar por lo menos 5 minutos a velocidad máxima (10 - 17 revoluciones por minuto).

Si no se dispone de cintas transportadoras, la fibra se debe añadida en último lugar.

Para mezcladores pequeñas, que máximo manejan cantidades de hasta 3 m<sup>3</sup> aproximadamente, se necesita de más tiempo de mezclado puesto que la fibra debe esparcirse uniformemente en toda las masa de hormigón.



Ilustración 2.2: Disgregado de la Fibra Sintética Estructural RXF54  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE



Ilustración 2.3: Colocación de las fibras disgregadas  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

#### *2.2.6.6 Comportamiento en presencia de fuego*

La fibra RXF54 al igual que todas las fibras sintéticas, se deterioran al alcanzar su temperatura de fusión en el caso de incendios. Al parecer esto es una desventaja con respecto a las fibras metálicas, pero cuando se produce un incendio, las fibras llegan al punto de fusión sin producir gases nocivos, transformando el volumen que

ocupaban en el hormigón en espacios vacíos interconectados que sirven como canales de fuga para el calor y vapor, haciendo que el hormigón fibroreforzado no explote violentamente; lo cual no sucede con la fibras de acero o de un hormigón tradicional.

#### *2.2.6.7 Propiedades del hormigón con RXF 54*

Los atributos de un hormigón fibroreforzado dependen en gran medida de las características de la fibra, principalmente en lo que refiere a geometría, rigidez y capacidad de la fibra de combinarse con la pasta del cemento.

Hay una proporcionalidad directa entre longitud de la fibra y las prestaciones mecánicas del hormigón fibroreforzado, ya que cuanto más larga es la fibra, mayor es la superficie de contacto con la matriz del cemento, haciendo que las propiedades mecánicas del hormigón fibroreforzado como la compresión y flexión incrementen. Además, si la fibra es más fina, más elevado es su número por unidad de volumen; por lo cual, cuanto más elevado es la relación entre aumento de longitud y disminución del diámetro (relación de aspecto) de la fibra, más fuerte es la unión entre la fibra y el hormigón, limitando y hasta en algunos casos eliminando completamente la retracción plástica, ya que las fibras bloquean la formación de las grietas de retracción durante las primeras horas del curado del hormigón. De igual forma, la fibra actúa después de la retracción plástica, donde se crean micro fisuras, las mismas que con el tiempo se pueden transformar en grietas cada vez más amplias y largas; y es ahí donde interviene la fibra absorbiendo estas tensiones, con lo que interrumpirá la evolución de la formación de grietas de mayores dimensiones en el hormigón.

Todas estas funciones de la fibra, repercuten en la durabilidad del hormigón fibroreforzado, ya que al mejorar sus características mecánicas y físicas, este hormigón tendrá una vida útil más larga y no necesitara de mucho mantenimiento, ya que su aspecto físico y mecánico será mejorado con la fibra.

## **CAPITULO III**

### **3. HORMIGON Y DISENO**

#### **3.1 Introducción**

El hormigón es un material que está compuesto por áridos, cemento, agua y generalmente aditivos o adiciones, los mismos que mezclados en cantidades correctas (técnicamente), le permiten adquirir al hormigón ciertas propiedades físicas y mecánicas resistentes con el pasar del tiempo.

El comportamiento físico, mecánico y durabilidad de este material en servicio, depende de diferentes aspectos, como la calidad de los agregados y su capacidad de resistir los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio, selección adecuada del cemento y su relación agua/cemento, y así cumplir con las resistencias especificadas en normas.

#### **3.2 Características del Hormigón**

En el diseño de un hormigón, se desea obtener una mezcla que conserve ciertas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, buscando en lo posible el menor costo de producción.

Las propiedades del hormigón, parten de un diseño inicial teórico el cual se ha realizado con los datos de los ensayos de los materiales, así también como de las condiciones de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y fraguado.

### **3.2.1 Trabajabilidad**

Es la facilidad con la que se puede mezclar, transportar, colocar y alisar una muestra fresca de hormigón, conservando su homogeneidad y características propias del hormigón. Esta propiedad es muy importante para muchas aplicaciones del hormigón pero a su vez muy difícil de evaluarla. Sus características, parten de un diseño teórico en donde principalmente la relación agua/cemento es la que nos puede dar una idea del comportamiento del hormigón, las proporciones físicas de los materiales también intervienen en la mezcla del hormigón. Aunque no se puede tener una receta exacta de un hormigón, si este presenta una baja trabajabilidad, es muy difícil de manejar, ya que no se mezcla bien y no se puede compactar de la mejor forma con lo que se obtienen hormigones de menor calidad. Existe un ensayo de la norma ASTM C360, el cual nos permite evaluar la Trabajabilidad de un hormigón fresco, consiste en medir la penetración de una bola de acero, para lo cual primeramente se toma una muestra hormigón fresco en una envase, se lo enraza y se deja caer la bola de acero hasta que deje de penetrar en el hormigón, este procedimiento debe repetirse dos veces más en otros sitios de la muestra.

### **3.2.2 Consistencia**

Es la facilidad que tienen los hormigones frescos para deformarse por la acción de su propio peso. La medida del asentamiento se mide en función del asentamiento con el cono de Abrahams según la Norma ASTM C143, la cual consiste en colocar la mezcla del hormigón en un molde en forma de un cono truncado de 30cm. de altura, el mismo que tienen un diámetro de 20cm. en su base y 10 cm. en su parte superior. Se realizan 3 capas, cada capa se compacta dando 25 golpes con una varilla de 1,6 cm. de diámetro y 60cm. de largo; después de compactar la última

capa se enraza, se retira el molde y se mide el asentamiento con el mismo molde, midiendo desde el centro de la muestra al borde del molde.



Ilustración 3.1: Preparación para obtener un asentamiento  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE



Ilustración 3.2: Medición del Asentamiento de una muestra de Hormigón con material de Pintag sin fibra RXF54  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

### **3.2.3 Contenido de Aire**

Este ensayo se realiza para determinar la cantidad de aire que puede contener el hormigón recién mezclado, sin tomar en cuenta cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados y donde requieran la determinación del factor de corrección del agregado. Por lo tanto, este ensayo es aplicable para hormigones con agregados relativamente densos y no hormigones de agregados ligeros, escorias, agregados con alta porosidad, hormigones no plásticos de albañilería, etc.

Las normas ASTM C138 y C173 el procedimiento para realizar los ensayos de presión, gravimétrico y volumétricos, para la determinación del contenido de aire de una mezcla fresca de hormigón. El procedimiento de presión de este ensayo da sustancialmente los mismos resultados del contenido de aire con respecto a los otros ensayos para hormigones con agregados densos.

La cantidad de aire en la mezcla del hormigón debe ser mínima, a pesar que se realizan diseños donde se incluye aire a la mezcla todo esto debe ser regido bajo las normas ACI y ASTM, ya que por lo general las mezclas de hormigón que se requieren para los pavimentos rígidos deben ser muy densas y compactas por lo que se mide el aire en la mezcla para saber en cantidad hay y además que no se requieren espacios vacíos en la estructura del hormigón.

### **3.2.4 Sangrado**

Es un tipo de segregación, en la cual parte del agua de la mezcla, tiende a subir a la superficie del hormigón recién fundido, esto se debe a que el peso específico del agua es menor que los otros componentes, y los sólidos no pueden impedir que parte del agua desplace; la velocidad del proceso de sangrado disminuye

uniformemente conforme se va endureciendo la pasta del hormigón, cuando finaliza el proceso de endurecimiento de igual manera finaliza el proceso de sedimentación de los áridos. Para cuantificar esta propiedad, se lo hace expresando el asentamiento total por unidad de altura de una muestra normada de hormigón, o como porcentaje del agua de mezcla.

### **3.2.5 Compacidad**

Es la capacidad que tiene el hormigón de acomodarse y compactarse, depende principalmente del método de consolidación empleado. La compacidad del hormigón, tiene una relación directa con su resistencia mecánica, ya que esta aumenta el volumen de materias sólidas que forman la mezcla en relación de agua y aire. Una buena compacidad puede aumentar la resistencia física y química frente a las acciones agresivas del medio ambiente, ya que al contener una cantidad mínima de porosidad los caminos de penetración de agentes externo es mínima.

### **3.2.6 Permeabilidad**

Es la capacidad que tiene el hormigón de ser atravesado por líquidos o gases. La impermeabilidad de este material es sumamente importante para su resistencia a los ataques químicos. Esta propiedad puede mejorarse reduciendo la cantidad de agua de la mezcla, ya que el exceso de agua puede originar vacíos y cavidades después de la evaporación y, los mismos que al estar interconectados, el agua puede penetrar o atravesar el hormigón. La inclusión de aire, así como un curado cuidadoso por un tiempo prolongado pueden mejorar la impermeabilidad.

### **3.2.7 *Peso Especifico***

Es el peso por unidad de volumen de una muestra de la masa de hormigón. Este dato se lo utiliza como un índice de uniformidad del hormigón, es así que su variación incide en la consistencia, indica una alteración de la granulometría de los agregados, del contenido del cemento o del agua de mezcla, para lo cual se puede hacer una reestimación de la dosificación y así obtener hormigones de mejores calidades. Aunque el hormigón fresco se dosifique por peso, se suministra por volumen, por lo cual el peso unitario se emplea para calcular el rendimiento volumétrico.

### **3.2.8 *Durabilidad***

La durabilidad del hormigón puede ser entendida como la habilidad del material para resistir las acciones mecánicas, ataques físicos, químicos u otros procesos de deterioro durante el ciclo de vida para el cual fue diseñado el hormigón, realizando un mínimo mantenimiento.

Los factores que más influyen en la durabilidad del hormigón son los materiales componentes, métodos empleados en la elaboración, colocación y las propiedades físicas del hormigón endurecido.

La durabilidad es una característica importante del hormigón endurecido, ya que debe resistir constantemente ataques físicos y químicos, y un hormigón durable es el que resiste todos estos ataques a lo largo del tiempo sin sufrir daños graves.

Para esto el hormigón debe ser diseñado como una estructura que cumpla con todas las especificaciones y normas en lo que refiere a características, calidad y afinidad de los agregados, dimensiones de los elementos, espesores de

recubrimientos, calidad de hormigón y en ciertas ocasiones, protecciones adicionales cuando el grado de agresividad resulta muy importante.

### **3.2.9 Retracción Plástica**

La retracción se manifiesta durante el estado fresco o endurecido de la masa de hormigón, en donde la masa del hormigón disminuye de volumen debido a una pérdida paulatina de agua, la misma que muchas veces es provocada por una evaporación muy rápida del agua en la superficie del hormigón y también por la succión de agua por parte del encofrado. Por lo tanto, la retracción es una deformación que produce micro tensiones de tracción, y por consiguiente grietas cuando se encuentra restringido el libre acortamiento del hormigón vertido, generalmente la retracción plástica ocurre en las primeras horas después de que el hormigón es vertido, ocurre durante el fraguado; mientras que la contracción por secado ocurre durante el endurecimiento del hormigón.

Para evaluar a la retracción, hay que tomar en cuenta las diversas variables que influyen en este fenómeno, en especial: el grado de humedad del medio ambiente, cantidad de finos, relación agua-cemento, el espesor y dimensión de la pieza, composición del hormigón, cantidad de armaduras y tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca el inicio del fenómeno.

#### *3.2.9.1 Factores que influyen sobre la retracción.*

##### **a. Factores relacionados con la dosificación de la mezcla**

Los factores que tienen más influencia son: el contenido de árido, tamaño y distribución de los áridos, relación agua-cemento, aditivos y adiciones, de todos

estos el que más influencia tiene es el contenido de áridos, aunque la retracción es un fenómeno que se da en la pasta, el árido tiene la propiedad de reducir estas deformaciones ya que a mayor volumen de árido menor volumen de pasta.

#### **b. Factores relacionados con el ambiente**

En donde la pérdida de humedad es el factor más influyente, pero las condiciones atmosféricas con elevada temperatura y vientos importantes pueden favorecer fisuras superficiales.

#### **c. Factores relacionados con el método de ejecución y tamaño**

De los cuales se puede destacar: el periodo y tipo de curado en donde si no se realiza un buen curado se pierde rápidamente la humedad lo cual produce agrietamientos; el tamaño y forma del elemento son otros factores importantes.

El tamaño del elemento influye a la retracción porque en elementos pequeños la velocidad de desarrollo de la retracción es mayor que en elementos grandes y el efecto de la forma del elemento estructural también influye sobre la retracción, pero al parecer su influencia es secundaria.

### **3.2.10 Resistencia a la Compresión**

Es la máxima medida de resistencia del hormigón cuando está sometido a una carga axial. Esta resistencia es expresada generalmente en MPa. ó en  $Kg./cm^2$ . Para llevar a cabo este ensayo se debe recurrir a las normas ASTM C39. En donde se mide el grado o calidad del hormigón de acuerdo a su resistencia máxima

definida por  $f'c$ . Generalmente se puede medir esta resistencia a diferentes edades del hormigón pero, la medida estándar se la realiza a los 28 días después de que el hormigón ha sido vertido. Para obtener estos datos se determinan las resistencias sacando muestras de hormigón en probetas cilíndricas, las mismas que serán ensayadas a diferentes edades.



Ilustración 3.3: Ensayo de Compresión de cilindros, en el Laboratorio de la PUCE  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

La resistencia del hormigón depende de varios factores, los mismos que trabajando en conjunto generan mejores resultados aumentando la resistencia del hormigón; calidad de los agregados, gradación adecuada, cemento, vibración, curado y la relación agua/cemento, es el factor más importante ya que si mayor es la relación se tendrán menores resistencias del hormigón.

Existen fórmulas y correlaciones que nos permiten, calcular la resistencia última del hormigón a partir de la resistencia a los siete días. Pero vale indicar, que estas fórmulas nos dan valores muy aproximados y además estas fórmulas varían según el cemento y calidades de los materiales.

Fórmulas propuesta por W.A. Slater ("Proceedings of the American Concrete Institute", 1926):

$$S_{28} = S_7 + 30\sqrt{S_7} ; \text{ Donde:}$$

$S_{28}$  = es la resistencia a la compresión a los 28 días ( $lb/ plg^2$ )

$S_7$  = es la resistencia a los 7 días ( $lb/ plg^2$ ).<sup>2</sup>

### **3.2.11 Resistencia a la Flexión**

Es una medida de la resistencia a la falla por el momento de una viga o losa de hormigón no reforzada. Para ello se hace ensayos en los que se aplican cargas a vigas de hormigón de 150 x 150 mm. (6x6 pulgadas) de sección transversal y con una luz de cómo mínimo tres veces el espesor. Generalmente la resistencia a la flexión se expresa como módulo de rotura (MR) expresada en MPa. (Libras por pulgada cuadrada).

Los métodos de ensayo que determinan la resistencia a la flexión son ASTM C78 (carga en los tercios medios) el mismo que es un ensayo de flexo-tracción se utilizan vigas de hormigón simple, sometidas a dos cargas puntuales actuando en los tercios medios a lo largo de la viga ó ASTM C293 (carga en el punto medio).

---

<sup>2</sup> LARREA Pablo, SAMANIEGO José, Hormigones con fibras de Polipropileno, Tesis, Pontificia Universidad del Ecuador, Quito 2002

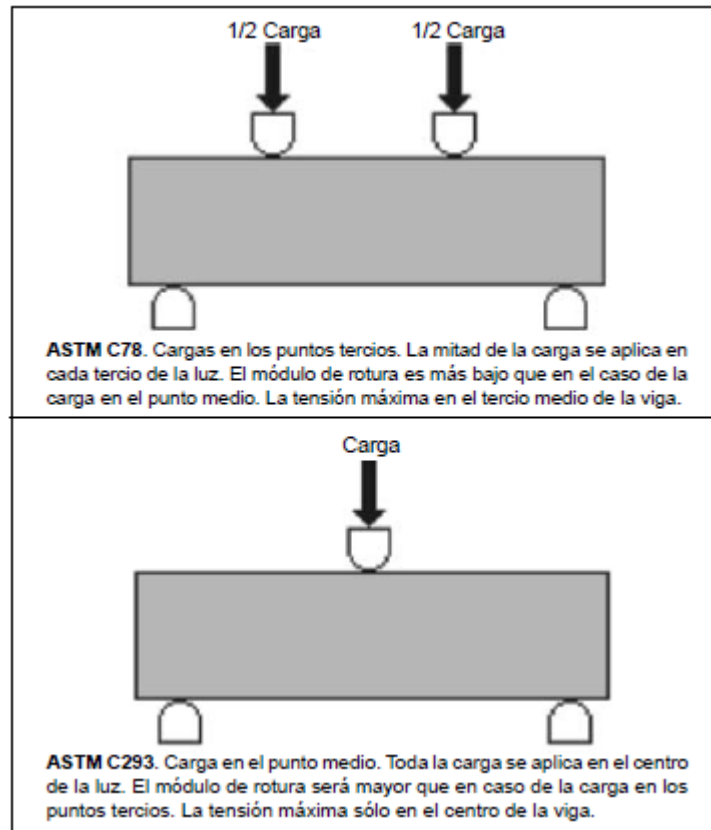


Ilustración 3.4: Normas para Ensayo de Viguetas,  
 Fuente: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>

La resistencia a la flexión se la mide mediante el ensayo de flexo-tracción y a flexo-compresión en vigas, y es aproximadamente de 2 a 2.7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

En una viga, cada sección esta en equilibrio debido a que sus fuerza internas actúan para evitar el movimiento, esto se puede analizar en una sección transversal de la viga, en donde las fuerzas externas causan un desequilibrio y las fuerzas internas reaccionan con la misma magnitud y en sentido contrario para dar equilibrio.

Estas fuerzas generan momentos; el momento interno de la sección se origina con un par de fuerzas en compresión C provenientes de los esfuerzos de compresión y

una fuerza de tracción  $T$  resultante de los esfuerzos de tensión de la misma magnitud pero de sentido contrario. Lo cual produce una combinación de los esfuerzos de compresión y tensión y estos son los esfuerzos de flexión.

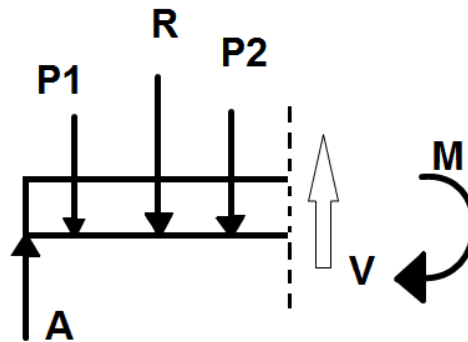


Ilustración 3.5: Diagrama de una viga en la que se identifica el corte y momento interno  
Fuente: Apuntes cuaderno de hormigón Ing. Civil, PUCE

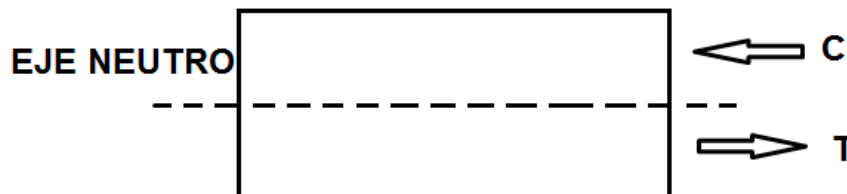


Ilustración 3.6: El momento interno de la sección se origina con un par de fuerzas en compresión  $C$  provenientes de los esfuerzos de compresión y una fuerza de tracción  $T$  resultante de los esfuerzos de tensión de la misma magnitud pero de sentido contrario.  
Fuente: Apuntes cuaderno de hormigón Ing. Civil, PUCE

Para el cálculo de los esfuerzos de flexión se deben considerar las siguientes suposiciones:

→ En cualquier punto de la viga, el esfuerzo unitario paralelo al eje de flexión es proporcional a la deformación unitaria en la misma dirección en ese punto, con lo que la fórmula, solo es válida dentro del límite de proporcionalidad.

→ El módulo de elasticidad en tensión es el mismo que en compresión.

→ Las secciones transversales permanecen planas antes y después de la flexión.

→ Las cargas actúan perpendicularmente en el plano que contiene al eje centroidal de la viga y la superficie neutral es perpendicular al plano de las cargas, por tanto, el plano de las cargas debe contener un eje de simetría en cada sección transversal de la viga.

→ La viga debe estar proporcionada para impedir la falla previa o una seria deformación por torsión, pandeo local, corte o cualquier otra causa que no sea la flexión.

Para medir la resistencia a la flexión de las vigas que se van a ensayar se mide con el módulo de rotura:

$$R = \frac{P * L}{b * d^2} , \text{ donde:}$$

R = es el módulo de rotura (MPa.)

P = máxima carga aplicada (N.)

L = longitud entre los apoyos inferiores (mm.)

b = ancho promedio de la viga (mm.)

d = altura promedio de la viga (mm.)

Cuando la carga aumenta, hace que los esfuerzos internos de compresión y tensión del momento flector que actúa en el tercio medio de la luz entre apoyos aumenten, lo cual hace que el eje neutro se desplace desde la posición original a la cara

superior de la viga, con lo cual los esfuerzos de flexión llegan a valores tan altos hasta que hacen fallar la viga en la zona inferior.

Es por esto que se refuerzan con acero a las vigas de hormigón, ya que el acero absorbe los esfuerzos de tensión.

### **3.2.12 Resistencia a la Tracción**

La resistencia a la flexión es una medida indirecta de la resistencia a la tracción del hormigón, la resistencia a esfuerzos de tensión del hormigón es muy baja, ya que al ser una mezcla aglomerada de distintos agregados unidos por una pasta cementante que se separa muy fácilmente si se halan los extremos unidos.

La resistencia a la tensión axial del hormigón se encuentra dentro del rango aproximado del 10 al 15% de la resistencia final a la compresión. La resistencia a la tensión está muy relacionada con la capacidad resistente al esfuerzo cortante, adherencia y el deslizamiento de las armaduras, y en especial al fenómeno de fisuración, por lo tanto es sumamente importante conocer esta resistencia.

La resistencia a la tracción en elementos de hormigón que son utilizados para losas en pavimentos o pisos industriales, tiene más valor que la resistencia a la compresión, ya que el control de calidad del hormigón se lo mide con los ensayos para obtener el esfuerzo de tensión.

Los ensayos para determinar los esfuerzos de tensión en el hormigón los calculan de una forma indirecta, aplicando una carga compresiva a un cilindro de hormigón (método indirecto) a lo largo de su longitud, y no en la sección circular como es el

caso del ensayo de compresión, lo que provoca una falla de tensión en el área a lo largo del cilindro.

Otro método que se puede realizar, para determinar la resistencia a la flexión, es el módulo de rotura en una viga, la cual tiene una falla propiamente a tensión por el incremento de los esfuerzos en la parte inferior de la sección de la viga, que es donde la falla ocurre.



Ilustración 3.7: Ensayo de una vigueta de hormigón bajo la norma ASTM C78, dispuesta para la presente investigación  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

### **3.2.13 Resistencia al Impacto**

En las estructuras de hormigón, debe estimarse a más de las cargas de servicio; cargas adicionales, los mismos que no son previstas en un diseño normal como lo son: carga muerta, carga viva, sismo, etc. Estas cargas adicionales son las que pueden causar graves problemas en la estructura, este es el caso de cargas instantáneas, las mismas que afectan al hormigón ya que este no tiene una buena propiedad de dispersión de energía cinética, donde el material debe dispersar la energía de impacto; cuando la deformación que genera el choque, se disipa en

energía, ya sea en forma de calor, desprendimiento de sus partes, etc. A pesar de esto, en el diseño de las estructuras de hormigón si se toma en cuenta un factor de incremento para las cargas de impacto en las cargas vivas.

Estas cargas son producidas por varias causas; sismos continuos, choque de estructuras de diferentes tamaños, choque de un vehículo, aeroplanos, caída de objetos significativos, golpes de maquinaria, etc.

Generalmente las cargas de impacto que ocurren, son producidas por los vehículos, en carreteras, vías, estacionamientos y en obras civiles donde los vehículos pesados tienen mayor incidencia.

Los vehículos generan cargas dinámicas de manera violenta, al acelerar y avanzar, lo cual origina incrementos notables en las fuerzas internas de la estructura.

Existen varias fórmulas para estimar el impacto, una de ellas está dada por las normas AASHTO.

$$I = \frac{50}{L + 125} = \frac{15.24}{L + 38} \text{ Donde:}$$

I = porcentaje de impacto (%)

L = longitud del claro (m.)

Para este porcentaje no es necesario usar más del 30%, independientemente del valor que se obtiene. En las especificaciones ACI se indica que las cargas vivas deberán incrementarse en un porcentaje a menos que se indique lo contrario.

### **3.2.14 Desgaste a la Abrasión**

Es otro de los factores que sirven para producir estructuras de hormigones en condiciones de servicio, donde intervienen acciones de deterioro de carácter abrasivo.

También se mide las aptitudes del agregado para soportar daños y acciones de quebrantamiento que frecuentemente reciben en su manejo previo a la fabricación del hormigón.

Cuando se trata de pavimentos rígidos, pisos industriales y estructuras hidráulicas; el hormigón debe alcanzar una buena resistencia a la abrasión. Esta resistencia depende de la resistencia a la abrasión del agregado grueso y del mortero que liga estos agregados, en donde la relación agua cemento tiene mucha importancia.

La resistencia a la abrasión está relacionada con la resistencia a la compresión, por lo tanto, para lograr buenos resultados se debe llegar a tener diseños de hormigones con bajas relaciones de agua-cemento, mezclas adecuadas de agregados fino y grueso y curados adecuados.

Los materiales ensayados al desgaste por rozamiento se comportan de manera muy distinta según se trate de materiales quebradizos, alargados y aplanados.

En el hormigón el desgaste por abrasión se pueda dar de las siguientes formas:

Frotación: desgaste producido en pisos de hormigón a causa del tránsito peatonal, movimiento de camiones y objetos.

Frotación combinada con raspadura y percusión: es el desgaste de las superficies de carreteras de hormigón a causa de vehículos con o sin cadenas.

Frotación y raspadura: desgaste de estructuras acuáticas por la acción del material abrasivo acarreado por el agua en movimiento

Percusión: se produce el desgaste en estructuras hidráulicas en donde hay una alta gradiente hidráulica o erosión por cavitación.

### **3.2.15 Índice de Tenacidad**

Varios campos de la ingeniería exigen ciertas propiedades que el hormigón como tal no las puede ofrecer, es así, que los avances más recientes sobre la materia nos llevan al hormigón reforzado con fibras, el cual aumenta importantemente la capacidad de absorción de energía y permite una mejor distribución de tensiones sobre el material.

Para cuantificar las mejoras del comportamiento mecánico que aporta este refuerzo no se hace en base a la resistencia sino que debe analizarse el proceso post-pico y ver el incremento de tenacidad respecto al hormigón en ausencia de este.

La tenacidad puede definirse como un parámetro que cuantifica la capacidad de absorción de energía cuando se refuerza a la mezcla de hormigón con fibras, aditivos y materiales artificiales o naturales.

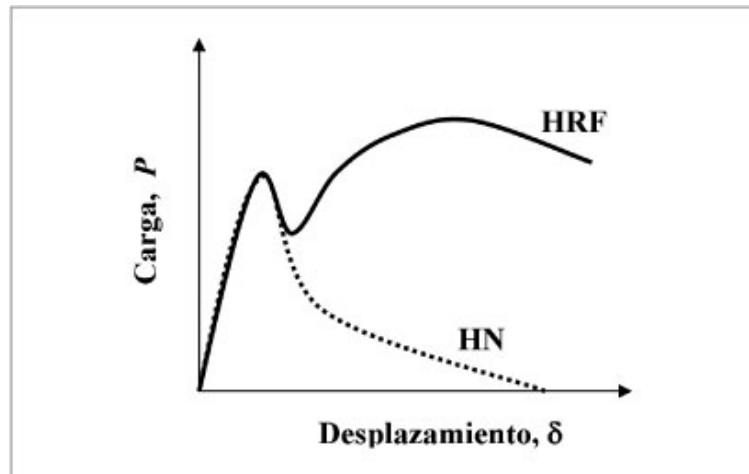


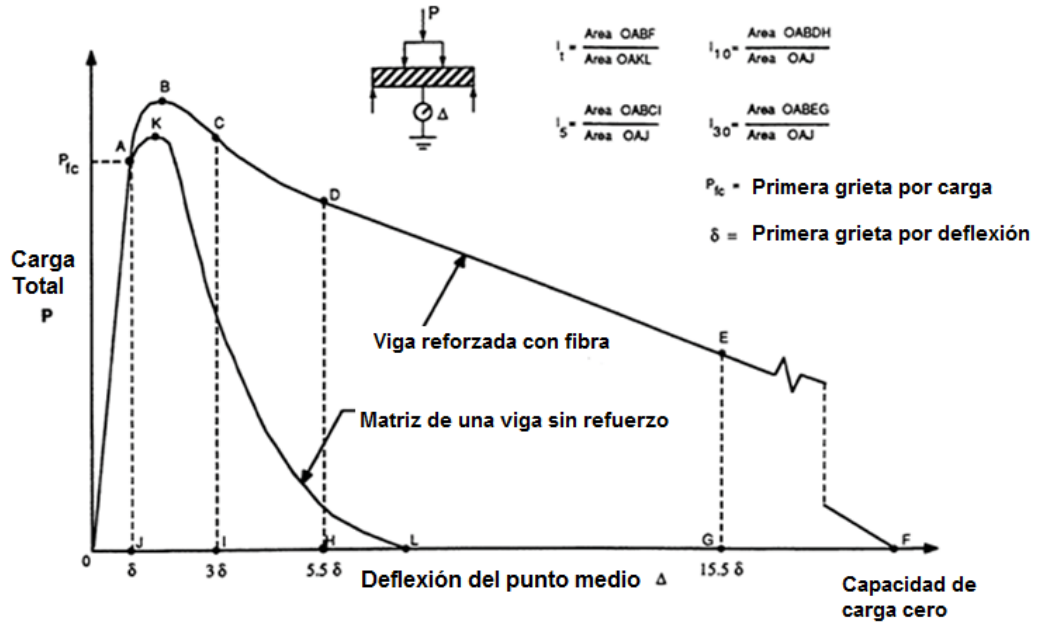
Ilustración 3.8: Curvas carga - desplazamiento típico del hormigón en masa (HN) y hormigones reforzados con fibras (HRF)

Fuente: Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero, [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732009000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732009000100004&script=sci_arttext)

Por lo tanto, es una propiedad de un material compuesto y su valor depende no sólo de la dosificación y del tipo de fibras, sino también de las características propias de cada elemento en este caso la fibra.

Para cuantificar el aumento de tenacidad que aportan las fibras, se recurre a las normas ACI 544.2R, en donde se define el índice de tenacidad el cual mide cuanto más resiste una muestra (viga) sometida a flexión, en base a la carga y la deflexión producida por la misma, y si esta es instantánea o permanente, es decir, mide la relación entre el área bajo la curva del diagrama carga-deflexión en la zona elástica, antes de la carga de crujido, y el área en la zona plástica desde el origen hasta 3, 5 y 10 veces la deflexión producida por la carga de crujido.

## PROPIEDADES DEL CONCRETO FIBRO REFORZADO



### Índices de la dureza del diagrama flexural de la desviación de la carga

Ilustración 3.9: Índices  $I_5$ ,  $I_{10}$ , e  $I_{30}$  para deflexiones de 3, 5,5 y 15,5 veces la deflexión de primera rotura, respectivamente, son ilustrados en el gráfico. Estos índices proveen información de: a) la resistencia relativa para estas deflexiones b) la forma aproximada de respuesta de la curva carga-deflexión después de la primera rotura.

Fuente: PYQ, <http://www.pyqsrl.com/pdf/ficha-tecnica.pdf>

Para llevar a cabo el ensayo es necesario calcular la energía absorbida por un hormigón no reforzado con fibras de iguales dimensiones e iguales componentes de la matriz, ensayado bajo las mismas condiciones que en los hormigones con fibras.

Se han desarrollado diversos métodos de ensayos de viga y placa empleando distintas configuraciones de carga como compresión, tracción uniáxica, flexo-tracción.

Existen normativas específicas que adoptan el ensayo de flexo-tracción para caracterizar el comportamiento y tenacidad del HRF, de ellas podemos mencionar:

Belga (NBN B 15-238, 1992), Europea (EFNARC, 1996), Americana (ASTM C-1018, 1997).

Aunque la mayoría de normativas de referencia se basa en ensayos en vigas, los ensayos sobre placas se están generalizando ya que sus resultados presentan menor dispersión, característica que los hace más idóneos para el control en obra.

### **3.2.16 Módulo de Elasticidad**

Se define por medio del símbolo E y se entiende como la relación entre esfuerzo unitario y la deformación unitaria correspondiente a esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. En el caso del hormigón su comportamiento se da en tres etapas, una etapa inicial durante la que se comporta como material elástico, la segunda etapa en la cual llega al valor máximo de la curva, y una tercera etapa en la cual se comporta como material inelástico y la curva desciende hasta llegar a la rotura.

Para hormigones de peso normal, E fluctúa entre 140600 y 422000  $kg/cm^2$ , y se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$E = \alpha * \sqrt{f'c} \text{ Donde:}$$

E = Módulo de elasticidad

$\alpha$  = Coeficiente de Elasticidad

$f'c$  = Esfuerzo máximo de compresión

La ecuación para calcular el módulo de elasticidad dado por el ACI 318, relaciona el módulo de elasticidad con la última resistencia a la compresión  $f'c$  y el peso unitario del hormigón W.

El módulo de elasticidad de uso general en los proyectos de hormigón es un módulo secante, en el código de la ACI 318-95 se define como:

$$E_c = 15100 \sqrt{f'c} , \text{ donde:}$$

$$E_c = \text{módulo de elasticidad } kg/cm^2$$

$$f'c = \text{resistencia a la compresión a los 28 días } kg/cm^2$$

$$E_c = w^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c} , \text{ donde:}$$

$$E_c = \text{módulo de elasticidad } kg/cm^2$$

$$w = \text{Peso del hormigón, comprendidos entre } 1440 \text{ y } 2480 \text{ } kg/m^3$$

$$f'c = \text{resistencia a la compresión a los 28 días } kg/cm^2$$

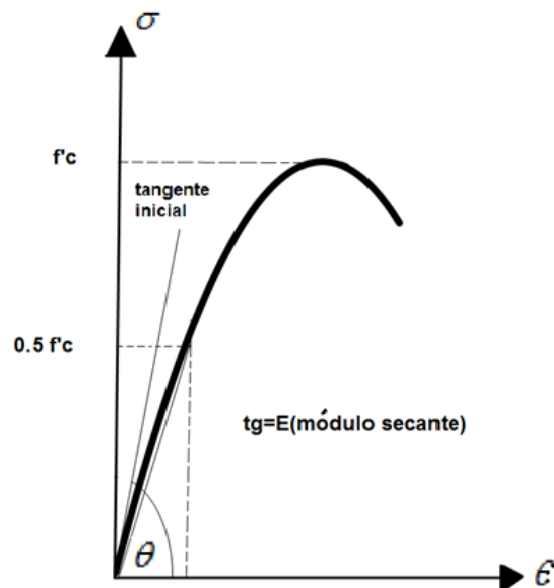


Ilustración 3.10: Diagrama de una Curva de Esfuerzo Vs. Deformación  
Elaborado: Miguel Rivera y José Sosa

Del grafico podemos deducir las siguientes fórmulas para calcular el módulo elástico:

$$E = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1}, \text{ donde:}$$

$E$  = módulo de elasticidad  $kg/cm^2$

$\sigma_1$  = límite de proporcionalidad  $kg/cm^2$

$\varepsilon_1$  = deformación unitaria en el límite de proporcionalidad

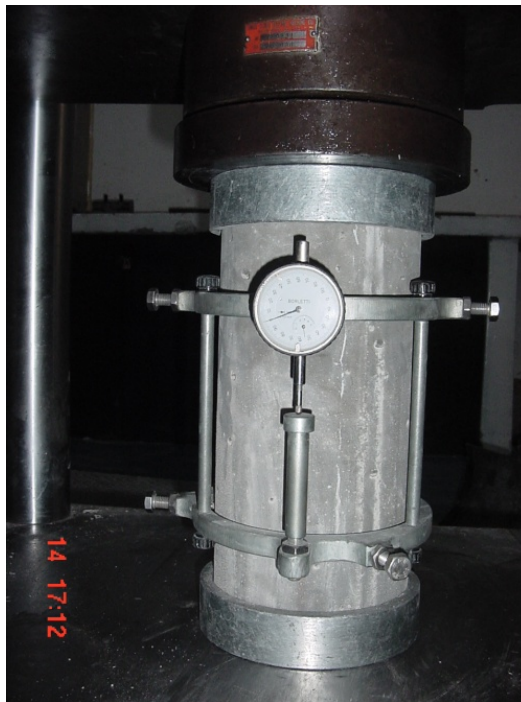


Ilustración 3.11: Ensayo de Módulo de Elasticidad a cilindros  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

### **3.3 Diseño del hormigón**

El hormigón es una mezcla de materiales, de entre estos materiales tenemos, el cemento, agregado fino, agregado grueso y finalmente el agua. El hormigón es una mezcla que en su estado plástico puede tomar la forma que se requiera antes de su proceso de fraguado, que es el cambio de estado plástico a un estado endurecido.

Con el fin de poder conseguir un hormigón manejable, resistente, durable, y barato, se puede manipular los materiales.

Cabe mencionar que en el hormigón, la relación agua/cemento tiene un papel muy importante, a menor relación agua/cemento, se consigue una resistencia mayor y viceversa.

#### ***3.3.1 Dosificación para el diseño del hormigón***

El objetivo principal de una dosificación es; que mediante las características de los materiales a utilizarse se pueda determinar la mejor combinación de estos para que el hormigón cumpla con los requerimientos y especificaciones, siempre y cuando, esta combinación de materiales sea la más económica posible.

La metodología de diseño que se llevó a cabo para nuestro estudio, es según la norma del Comité del ACI-211, realizando el siguiente procedimiento:

##### ***3.3.1.1 Selección del Asentamiento***

El asentamiento es una de las características del hormigón en estado plástico. El asentamiento sirve para medir el grado de consistencia de la mezcla, e influye notablemente en la porosidad del hormigón en estado seco. El asentamiento es un

factor importante en la trabajabilidad del hormigón. A este parámetro se lo puede determinar mediante la siguiente tabla que contiene valores recomendados:

RECOMENDACIONES ACI PARA ASENTAMIENTO		
Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción ACI 318		
Tipos de construcción	Máximo asentamiento (mm.)	Mínimo asentamiento (mm.)
Muros de fundación reforzados y zapatas	75.00	25.00
Zapatas aisladas, caissons y muros de subestructura	75.00	25.00
Vigas y muros reforzados	100.00	25.00
Columnas de edificios	100.00	25.00
Pavimentos y losas	75.00	25.00
Concreto masivo	75.00	25.00

Tabla 3.1: Resumen de las Especificaciones para los Ensayos de los materiales  
Elaborado por: ACI 318<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Tabla 3.1 Valores recomendados de asentamiento según ACI 318<sup>3</sup>

### 3.3.1.2 Estimación de la cantidad de agua neta requerida

El agua como componente principal en la mezcla de hormigón, tiene funciones muy importantes entre estas tenemos; mezclarse con absolutamente todas las partículas de cemento, e influir en la trabajabilidad del hormigón.

Revenimiento (cm.)	Agua, kg/m <sup>3</sup> para concreto de agregado de tamaño							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de contenido de aire total, por								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Tabla 3.2: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado  
Elaborado por: American Concrete Institute<sup>4</sup>

<sup>4</sup> American Concrete Institute, Comité ACI 211.1, Proporcionamiento de mezclas, pág. 23

### 3.3.1.3 Determinación de la relación agua/cemento en función de la resistencia deseada.

La resistencia del hormigón a elaborarse está relacionada con la funcionalidad, especificaciones, características físicas y ambientales, a las que el hormigón va a estar expuesto.

Para lograr obtener esta resistencia, se define una relación agua/cemento en función de la misma, mediante la siguiente tabla:

Relaciones agua-cemento y esfuerzos a la compresión		
Esfuerzo a la compresión a los 28 días MPa - (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación a/c Hormigón sin aire incluido	Relación a/c Hormigón con aire incluido
40 - (408)	0.42	.....
35 - (357)	0.47	0.39
30 - (306)	0.54	0.45
25 - (255)	0.61	0.52
20 - (204)	0.69	0.60
15 - (153)	0.79	0.70

Tabla 3.3: Correlación entre Resistencia a los 28 días ( $f'c$ ) y relación agua cemento (a/c)  
Elaborado por: American Concrete Institute<sup>5</sup>

### 3.3.1.4 Cantidad de cemento

La cantidad de cemento está en función de dos parámetros importantes: la relación agua/cemento y el agua neta; estos parámetros influyen significativamente en la cantidad de cemento requerida, ya que el costo de este puede llegar a ser alto. La

<sup>5</sup> American Concrete Institute, Comité ACI 211.1, Proporcionamiento de mezclas, pág. 23

cantidad de cemento para la elaboración del hormigón está dada por la relación entre el agua neta y la relación agua/cemento.

#### *3.3.1.5 Estimación de la cantidad de agregado grueso.*

Para la estimación de agregados a utilizarse en la mezcla, se deberá tomar en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de los áridos, de tal manera que se pueda obtener una buena proporción de agregados en la mezcla.

Una vez estimado las cantidades de agregados para la mezcla, se hacen probetas de muestra para realizar las respectivas correcciones y modificaciones de la dosificación.

#### *3.3.1.6 Resumen de parámetros para la dosificación.*

Para nuestra investigación de pavimentos rígidos, se necesita un hormigón que cumpla con los requisitos mínimos para realizar el diseño del pavimento. Se tomaron en cuenta algunos parámetros necesarios para cumplir con las normas MOP 405-8. Estos parámetros necesarios son:

- La resistencia a la flexión en el ensayo de carga sobre los 3 puntos en una viga de 15x15x50 cm, el MR no deberá ser menor a 4 MPa.
- La resistencia a la compresión en cilindros de 15 de diámetro y 30 de altura, el  $f'c$  no deberá ser menor a 28 MPa.

Estos parámetros necesarios por cumplir y mediante estimaciones relacionando la resistencia a la flexión y compresión se estimó, realizar el diseño de un hormigón de resistencia a la compresión ( $f'c$ ) de 29.4 MPa (300 kg/cm<sup>2</sup>).

En esta investigación se realizaron dos diseños patrones diferentes, cada uno con materiales pétreos de dos diferentes minas, los cuales se eligieron por su cercanía a la ciudad de Quito y por recomendaciones de buen comportamiento en hormigones para pavimentos rígidos.

3.3.1.6.1 Con material de la Mina de Pintag.

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Asentamiento	8 cm
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	25 mm
Estimación del contenido de aire	--
Estimación del contenido de agua de mezcla	293 kg/m <sup>3</sup>
Resistencia de diseño	f'c= 300 kg/cm <sup>2</sup> – 29.4 MPa
Selección de relación agua – cemento	0,441
Cantidad de cemento	664.40 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario Agregado grueso	Um = 1326.75 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario Agregado fino	Um = 1678.22 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica S.S.S. grueso	Ag s.s.s.= 2.32
Gravedad específica S.S.S. Fino	Af s.s.s.= 2.45
Porcentajes de participación de agregados	Ag. Fino= 50% Ag. Grueso= 50%
Gravedad específica ponderada	Ga = 2.39
Gravedad específica del cemento	Gc = 3.15
Peso unitario calculado Um	Um = 2105.02 kg/m <sup>3</sup>
Peso de los Agregados	1147.62 kg/m <sup>3</sup>
Peso del Agregado Grueso	573.81 kg/m <sup>3</sup>
Peso del Agregado fino	573.81 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 3.4: Resumen para la dosificación del material de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

3.3.1.6.2 Con el material de la Mina de Guayllabamba.

Parámetro	Resultado
Asentamiento	8 cm
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	50 mm
Estimación del contenido de aire	--
Estimación del contenido de agua de mezcla	269 kg/m <sup>3</sup>
Resistencia de diseño	f'c= 300 kg/cm <sup>2</sup> – 29.4 MPa
Selección de relación agua – cemento	0,441
Cantidad de cemento	609.98 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario Agregado grueso	Um = 1565.72 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario Agregado fino	Um = 1734.40 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica S.S.S. grueso	Ag s.s.s.= 2.48
Gravedad específica S.S.S. Fino	Af s.s.s.= 2.63
Porcentajes de participación de agregados	Ag. Fino= 50% Ag. Grueso= 50%
Gravedad específica ponderada	Ga = 2.56
Gravedad específica del cemento	Gc = 3.15
Peso unitario de los agregados Um	Um = 2240.64 kg/m <sup>3</sup>
Peso de los Agregados	1361.66 kg/m <sup>3</sup>
Peso del Agregado Grueso	680.83 kg/m <sup>3</sup>
Peso del Agregado fino	680.83 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 3.5: Resumen para la dosificación del material de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### 3.4 Resumen de dosificación

Una vez calculado todos los parámetros necesarios, se procedió al cálculo de cantidades finales de materiales para una dosificación de un hormigón por metro cúbico. A continuación el siguiente resumen de las dosificaciones con los materiales de las dos minas.

### 3.4.1 Con material de la Mina de Pintag.

RESUMEN Kg / metro cúbico		
	Ag. Grueso	Ag. Fino
% humedad	0.50	6.29
% absorción	4.07	3.81
Estado SSS (kg)	573.81	573.81
Estado seco (kg)	551.36	552.76
Estado natural (kg)	554.12	587.53
Cemento (kg)	664.40	
Agua neta (kg)	293.00	
Agua de mezcla (kg)	298.97	

Tabla 3.6: Dosificación del material de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### 3.4.2 Con material de la Mina de Guayllabamba.

RESUMEN Kg / metro cúbico		
	Ag. Grueso	Ag. Fino
% humedad	0.57	5.09
% absorción	1.71	2.04
Estado SSS (kg)	680.83	680.83
Estado seco (kg)	669.40	667.21
Estado natural (kg)	673.21	701.18
Cemento (kg)	609.98	
Agua neta (kg)	269.00	
Agua de mezcla (kg)	256.27	

Tabla 3.7: Dosificación del material de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### **3.5 Dosificación de la Fibra Sintética Estructural en el Hormigón.**

Analizando la prestación a la que el hormigón va a estar sometido, se decidió hacer una dosificación de la fibra RXF 54 en diferentes proporciones por metro cúbico de hormigón, tomando en cuenta las recomendaciones de los fabricantes, la cuales son:

- La mínima dosificación de la fibra será agregar el 1.5 kg / m<sup>3</sup>.
- Las variaciones de la dosificación de la fibra pueden variar en 0.5 kg / m<sup>3</sup>.

Con estos antecedentes se procedió hacer dosificaciones con los siguientes cantidades de fibra: 1.5, 2.0, 2.5 kg/m<sup>3</sup>.

### **3.6 Elaboración de Muestras de Hormigón**

Para la elaboración de las muestras de hormigón, se tomó en cuenta las especificaciones de las normas ASTM y MOP; y para la adición de las fibras se tomó en cuenta las indicaciones del fabricante de la fibra RXF 54.

Se planificó elaborar 6 vigas y 6 cilindros por día, con el fin de obtener muestras gemelas de hormigón, de tal manera que 3 cilindros y 3 vigas no contengan fibra y los otros 3 cilindros y 3 vigas contengan fibra, y así poder comparar su comportamiento a los 7 y 28 días de edad. Según la norma MOP nos dice se deben ensayar como mínimo 3 muestras a una determinada edad.



Ilustración 3.12: Moldeo de viguetas y cilindros  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

Para la elaboración de las muestras, se consideró que la concretera a utilizarse tenía una capacidad de 1 saco de cemento (50 kg) por parada. En cada parada obtuvo un volumen de hormigón equivalente a 4 vigas y 4 cilindros, de los cuales 2 vigas y 2 cilindros fueron elaborados sin fibra, y los restantes con fibra. De estas 2 muestras sean vigas o cilindros con o sin fibra, una de ellas sería ensayada a los 7 días y la otra a los 28 días.

Este proceso se repitió 3 veces, es decir se hizo 3 paradas, para así obtener la cantidad mínima de tres muestras de cilindros y vigas requeridas, para ensayarlas a las edades de 7 y 28 días.

En el método de adición de las fibras, se siguió la recomendación del fabricante, en la que para un volumen pequeño elaborado en una concretera se requiere de más tiempo de mezcla de un hormigón fresco con fibra a diferencia de un el hormigón fresco en un mixer.

El tiempo aproximado de mezcla que utilizamos fue de 15 min. Con todos estos argumentos se realizaron las dosificaciones de fibra de 1.5, 2.0, 2.5 kg/m<sup>3</sup> cada una por día respectivamente, es decir 3 días utilizando el material de Pintag y otros 3 días con el material de Guayllabamba.

De acuerdo a nuestra poca cantidad de hormigón necesaria para elaborar las muestras, se hizo una regla de tres para determinar la cantidad necesaria de fibra que sea equivalente a los valores de 1.5, 2.0, 2.5 kg/m<sup>3</sup>, obteniéndose así, que para un volumen de hormigón por parada de 0.04 m<sup>3</sup>, los valores equivalentes en gramos son de: 60 gr., 80 gr., 100 gr. respectivamente.

Para el moldeo de las muestras, se siguió la norma ASTM, las probetas tienen que estar debidamente armadas y aseguradas.

Para el moldeo de muestras cilíndricas, se vierte el hormigón mediante capas de acuerdo a su altura en la probeta cilíndrica. Para este caso en el cilindro de 150 mm y 300 mm de diámetro y altura respectivamente, se realizaron 3 capas de 100 mm de altura, y en cada capa se compactó con 25 golpes repartidos uniformemente con la barra de compactación. Finalmente, se realizó un buen acabado de la superficie de la muestra para que esta quede totalmente lisa. Luego del lapso de 24 horas, se procedió a retirar las muestras de los moldes y se las sumergió en agua hasta la fecha de ensayo.

Para el moldeo de muestras rectangulares llamadas viguetas, se utilizaron probetas con dimensiones de 150 mm de ancho, 150 mm de altura, y 550 mm de largo. Se colocó el hormigón en 2 capas de 75 mm, y en cada capa se compactó mediante 66 golpes repartidos uniformemente con la barra de compactación, para terminar el proceso se enrazó y se realizó un buen acabado de la superficie de la muestra para

que esta quede totalmente lisa. Luego del lapso de 24 horas, se procedió a retirar las muestras de sus moldes y se las sumergió en agua hasta la fecha de su ensayo.



Ilustración 3.13: Moldeo de las viguetas  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

El proceso de curado de las muestras, el cual es un factor muy significativo en el hormigón, debido a que incide notablemente en la resistencia final y propiedades físicas, se procedió a sumergir los cilindros en una piscina de agua, mientras que a las viguetas se las colocó en un cámara de humedad a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C.

## **CAPITULO IV**

### **4. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA**

Todos resultados de los ensayos se encuentran en el Capítulo 8, Anexo B: Determinación de la Resistencia a Compresión y Flexión.

#### **4.1 Ensayos de Compresión**

El ensayo a la compresión de cilindros es la característica más importante del hormigón, debido a que con esta se puede cuantificar la resistencia del mismo. La resistencia a la compresión es una característica muy importante del hormigón, ya que con esta resistencia se puede determinar si el hormigón elaborado cumple con las solicitaciones para las que fue diseñado. Esta resistencia a compresión del hormigón se la determina a los 28 días de edad, desde su fecha de creación, pero se puede hacer un seguimiento de la evolución de la resistencia de acuerdo a su edad, por lo que en nuestra investigación, se hizo ensayos de compresión a los 7 y 28 días de edad.

##### **4.1.1 Procedimiento**

Luego del proceso y tiempo de curado de las muestras hasta su edad en que deben ser ensayadas, ya sea a los 7 o 28 días, se tomaron las medidas reales de los cilindros, su altura y su diámetro, y finalmente su peso, para luego ensayarlas en la máquina de compresión de cilindros siguiendo la norma ASTM C39.



Ilustración 4.1: Medición de los cilindros  
Fuente: Ensayos de Laboratorio para la investigación PUCE

#### **4.1.2 Cálculos**

Una vez terminado con el ensayo de compresión de cilindros, se procedió hacer los respectivos cálculos de resistencia de cada una de las probetas cilíndricas, mediante la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{4 P}{\pi d^2}$$

Donde:

P = Carga Máxima aplicada (KN.)

d = Diámetro promedio del cilindro (mm.)

Para nuestra investigación, se procedió a realizar un resumen promedio de los cilindros ensayados que no tienen fibra y así obtener un valor promedio de la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) que será adoptado y servirá para realizar el diseño de una losa por el método Ruredil.

#### 4.1.3 Resumen de los Ensayos de Compresión de las Muestras de Pintag

Para la cantera de Pintag se presenta a continuación: los resultados de los ensayos de compresión a los 28 días.

Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A COMPRESION $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
		Sin Fibra	Prom.	Cantidad Fibra	Con Fibra	PROM.
1	28	418.58	413.66	1.5 kg/m <sup>3</sup>	451.22	414.27
2	28	408.16			434.19	
3	28	295.70			357.41	
4	28	461.23		2.0 kg/m <sup>3</sup>	466.21	467.29
5	28	437.81			443.34	
6	28	420.49			492.31	
7	28	445.32		2.5 kg/m <sup>3</sup>	486.88	455.58
8	28	414.05			443.23	
9	28	421.56			436.63	

Tabla 4.1: Resumen de los Ensayos de Compresión de las Muestras de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Para facilidades de cálculo, en el caso de Pintag, la resistencia a compresión adoptada para el diseño del pavimento para el programa Ruredil RXF54 es de

$$f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$$

#### 4.1.4 Resumen de Muestras de Guayllabamba

Para la cantera de Guayllabamba se presenta a continuación: los resultados de los ensayos de compresión a los 28 días.

Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A COMPRESION $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
		Sin fibra	Prom.	Cantidad Fibra	Con fibra	PROM.
1	28	368.02	373.52	1.5 kg/m <sup>3</sup>	397.22	399.43
2	28	405.43			408.78	
3	28	329.52			392.28	
4	28	347.75		2.0 kg/m <sup>3</sup>	396.68	402.03
5	28	470.59			409.28	
6	28	384.03			407.38	
7	28	372.57		2.5 kg/m <sup>3</sup>	387.71	360.25
8	28	385.26			342.83	
9	28	298.49			332.78	

Tabla 4.2: Resumen de los Ensayos de Flexión de las Muestras de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Para el hormigón fabricado con los materiales Guayllabamba, la resistencia adoptada para el diseño del pavimento para el programa Ruredil RXF54 es de

$$f'c = 350kg / cm^2 .$$

## **4.2 Ensayos de flexión**

El ensayo a flexión en vigas es un ensayo que nos permite conocer la resistencia a la flexión del hormigón, a pesar que este tenga una pobre resistencia a la flexión, este dato es muy importante e indispensable para el diseño de pavimentos rígidos. Este ensayo se lo determina por el método de dos cargas puntuales en los tercios medios de la viga, este ensayo se lo realizó a los 7 y 28 días de edad, desde su fecha de elaboración.

### **4.2.1 Procedimiento**

Luego del proceso y tiempo de curado de las muestras hasta su edad en que deben ser ensayadas, ya sea a los 7 o 28 días, se tomaron las medidas reales de las vigas, su altura, ancho, largo, y finalmente su peso, para luego ensayarlas en la máquina de flexión de vigas siguiendo la norma ASTM C78.

### **4.2.2 Cálculos**

Una vez terminado con el ensayo de flexión de vigas, se procedió hacer los respectivos cálculos de resistencia. La falla producida en las vigas fue en el tercio medio entre los apoyos, por lo que se utilizó la siguiente fórmula para calcular en módulo de rotura:

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

Donde:

MR = módulo de rotura (MPa)

P = Carga máxima aplicada (KN)

L = Longitud entre apoyos inferiores (mm)

b = Ancho de la viga (mm)

d = Altura de la viga (mm)

#### 4.2.3 Resumen de los Ensayos de Flexión de las Muestras de Pintag

Para la cantera de Pintag se presenta a continuación: los resultados de los ensayos de flexión a viguetas a los 28 días.

Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
		SIN FIBRA	PROM.	CANT. FIBRA	CON FIBRA	PROM.
1	28	5.47	5.71	1.5 kg/m <sup>3</sup>	5.90	5.98
2	28	5.95			6.05	
Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
		SIN FIBRA	PROM.	CANT. FIBRA	CON FIBRA	PROM.
1	28	4.98	5.33	2.0 kg/m <sup>3</sup>	5.93	6.11
2	28	5.68			6.29	
Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
		SIN FIBRA	PROM.	CANT. FIBRA	CON FIBRA	PROM.
1	28	6.09	5.35	2.5 kg/m <sup>3</sup>	5.60	5.80
2	28	4.60			5.95	

Tabla 4.3: Resumen de los Ensayos de Flexión de las Muestras de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

#### 4.2.4 Resumen de los Ensayos de Flexión de las Muestras de Guayllabamba

Para la cantera de Guayllabamba se presenta a continuación: los resultados de los ensayos de flexión a viguetas a los 28 días.

Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
		SIN FIBRA	PROM.	CANT. FIBRA	CON FIBRA	PROM.
1	28	4.68	4.56	1.5 kg/m <sup>3</sup>	5.19	5.05
2	28	4.44			4.92	
Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
		SIN FIBRA	PROM.	CANT. FIBRA	CON FIBRA	PROM.
1	28	4.26	4.58	2.0 kg/m <sup>3</sup>	5.02	4.92
2	28	4.89			4.81	
Muestra No.	EDAD	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
		SIN FIBRA	PROM.	CANT. FIBRA	CON FIBRA	PROM.
1	28	4.78	4.87	2.5 kg/m <sup>3</sup>	5.09	5.14
2	28	4.95			5.18	

Tabla 4.4: Resumen de los Ensayos de Flexión de las Muestras de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

#### 4.3 Ensayo de Módulo de Elasticidad del Hormigón en Compresión

En el caso del hormigón, el módulo de elasticidad corresponde a la relación de deformaciones producidas en el hormigón debido a la aplicación de una carga constante. El módulo de elasticidad también se lo puede definir por la pendiente de la recta del diagrama de deformaciones elásticas. Este módulo de elasticidad califica la rigidez del material. Este ensayo se lo realizó con los cilindros a los 28 días de edad.

#### **4.3.1 Procedimiento**

Luego del proceso y tiempo de curado de las muestras hasta a los 28 días, se tomaron las medidas reales de los cilindros, su altura, su diámetro, y finalmente su peso. Se marcan las muestras a una distancia de 7.5 cm de los extremos para colocar el compresómetro en estas marcas. Es necesario determinar la carga máxima a compresión simple del hormigón, para lo cual el 40% de este valor cargar y descargar, hasta estabilizar el deformímetro en cero. Una vez encerado, la muestra está lista para ensayarse. Se procede a cargar la muestra y a tomar lecturas del deformímetro cada que la carga aumenta cada 25 KN, hasta llegar a la carga máxima de falla.

#### **4.3.2 Cálculos**

Una vez terminado con el ensayo de compresión de cilindros con módulo de elasticidad y con los datos obtenidos, se procedió hacer los respectivos cálculos para determinar el módulo de elasticidad del hormigón de cada una de las probetas cilíndricas, mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$\sigma$  = Esfuerzo de compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga aplicada (KN)

A = Área de la sección transversal (cm<sup>2</sup>)

$$\varepsilon = \frac{e}{L}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación Unitaria

$e$  = Deformación longitudinal producida (cm)

L = Longitud entre tornillos del compresómetro antes de empezar el ensayo

Con los datos de esfuerzo y deformación unitaria se procede a dibujar el gráfico de esfuerzo vs deformación y así se determina el módulo de elasticidad del hormigón.

#### **4.4 Elección de la Cantidad Óptima de Fibra**

Una vez que se realizaron todos los ensayos de rotura de las viguetas por flexión, se procedió a hacer un resumen de las resistencias a la Flexión en MPa., identificando las muestras sin fibra y sus muestras gemelas con fibras para encontrar la cantidad óptima de fibra.

Para llevar esto a cabo, se identificó las proporciones de fibra que arrojaron los resultados más altos en cuanto a su resistencia a la tracción (MR), y se procedió a compararlos entre sí para encontrar la cantidad óptima de fibra, lo cual significa que se debe identificar los mejores resultados a la tracción (MR) con el porcentaje de fibra mínimo.

Si se presentan resultados muy similares en lo que refiere al MR, la cantidad óptima de fibra será la menor de las cantidades de fibra propuestas.

Es así que, para el hormigón diseñado con materiales de la Cantera de Pintag, la cantidad óptima de fibra es de 1.5 kg/m<sup>3</sup>, ya que con esta cantidad se obtuvo una resistencia a la tracción de 5.98 MPa., la cual es muy parecida a la resistencia de la siguiente cantidad de fibra de 2.0 kg/m<sup>3</sup>, en donde la resistencia a la tracción es de 6.11 MPa., con lo cual la al ser estos valores muy similares, la cantidad óptima es la que tiene menor cantidad de fibra porque esta repercute en el valor final del hormigón que tiene fibra.

<b>MÓDULO DE ROTURA DE LAS MUESTRAS DE PINTAG (MPa)</b>			
<b>SIN FIBRA</b>	<b>PROMEDIO SIN FIBRA</b>	<b>CANTIDAD FIBRA</b>	<b>CON FIBRA</b>
5.71	5.46	1.5 kg/m <sup>3</sup>	5.98
5.33		2.0 kg/m <sup>3</sup>	6.11
5.35		2.5 kg/m <sup>3</sup>	5.80

Tabla 4.5: Cantidad Óptima de fibra RXF54 para materiales de la cantera de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Para la cantera de Guayllabamba la cantidad óptima es de 1.5 kg/m<sup>3</sup>., en donde la resistencia a la tracción es de 5.05 MPa. y cuyo valor es muy similar a la resistencia de la cantidad de fibra de 2.5 Kg/m<sup>3</sup> el cual es de 5.14 MPa.; con lo cual teniendo resistencias muy similares se elige la cantidad menor de fibra.

<b>MÓDULO DE ROTURA DE LAS MUESTRAS DE GUAYLLABAMBA (MPa)</b>			
<b>SIN FIBRA</b>	<b>PROMEDIO SIN FIBRA</b>	<b>CANTIDAD FIBRA</b>	<b>CON FIBRA</b>
4.56	4.67	1.5 kg/m <sup>3</sup>	5.05
4.58		2.0 kg/m <sup>3</sup>	4.92
4.87		2.5 kg/m <sup>3</sup>	5.14

Tabla 4.6: Cantidad Óptima de fibra RXF54 para materiales de la cantera de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

## **CAPITULO V**

### **5. DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO**

#### **5.1 Introducción del diseño del pavimento rígido**

El diseño de pavimentos rígidos para vías, carreteras, aeropuertos, etc. requiere de un estudio exhaustivo y preciso de los materiales empleados en las capas de su estructura así como de la losa de hormigón. Además se debe analizar el comportamiento del mismo bajo cargas y todo tipo de condiciones climatológicas del sitio en el cual se desea diseñar el pavimento.

Cualquier diseño depende esencialmente de normas y especificaciones, donde se indican los materiales, procedimientos y recomendaciones que deben realizarse en el diseño del hormigón, del material de base o sub-base, resistencia, acomodo de capas, acero de refuerzo, localización de juntas, etc.

#### **5.1 Aspectos a considerar en el diseño de pavimentos**

##### ***5.1.1 Carga del Tránsito***

Es uno de los aspectos más importante, pero no el único. Las cargas del tránsito varían en su configuración, magnitud y repeticiones.

##### ***5.1.2 Vehículo Y Tráfico Variable***

El Tráfico y el Vehículo son considerados individualmente, pero no es necesario asignar un factor de equivalencia para cada eje. Las cargas se dividen por número

de grupos, los esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones de cada grupo pueden ser evaluadas con el fin de ser empleados en el diseño.

### ***5.1.3 Datos de Ingeniería de Tránsito Requeridos en el Diseño de Pavimentos***

- El tránsito promedio diario anual, TPDA (vehículos/día): es el promedio del tránsito total diario (24 horas) que cruza por la sección transversal de una vía durante los 365 días del año. Este valor puede ser proporcionado por el Ministerio de Transporte u otros organismos como los municipios y prefecturas.
- La distribución vehicular por tipo de vehículo: especifica cada vehículo.
- El crecimiento vehicular a lo largo del período de análisis: el objetivo es calcular el número acumulado de vehículos o ejes equivalentes que circularán por el carril de diseño, durante el período de análisis.

### ***5.1.4 Materiales de Terracerías***

Todos los materiales que intervienen en la construcción deben cumplir con normas y especificaciones, principalmente verificando que se cumpla con: granulometría, límites de Atterberg, valor relativo de soporte, CBR, módulo de reacción de la subrasante k, etc.

### **5.1.5 Condiciones Climatológicas**

Al emplearse diferentes materiales en la construcción del pavimento y de las terracerías, hay que tener en cuenta la presencia de agentes climatológicos que pueden influir en la durabilidad de los mismos.

## **5.2 Métodos de diseño**

Para el diseño de los pavimentos rígidos existen varios métodos de diseño, pero los más utilizados a nivel mundial son; la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) y el de la Portland Cement Association (PCA) que corresponden a los métodos de diseño de espesores de pavimentos comúnmente utilizados.

Estos métodos no son utilizados para el diseño de pavimentos rígidos con refuerzos de fibras metálicas, polipropileno, propileno, o polietileno, por lo que actualmente no existe un método de diseño estándar en el que se considere este tipo de refuerzos con fibras.

Con la tecnología actual se ha de desarrollado un sin número de tipos de fibras de diferentes materiales que actúan como refuerzo secundario en el hormigón de los pavimentos rígidos. Cada fabricante de fibras desarrolla su propio sistema de cálculo para el diseño de los pavimentos rígidos y pisos industriales, basados en un sinnúmero de ensayos realizados en sus laboratorios, recomendaciones y especificaciones que se mencionan en las normas ACI y ASTM.

En nuestro caso, se determinó que el método a utilizarse para el diseño del pavimento rígido sin fibras será el método de la PCA el cual está especificado en la Norma ACI-360.

Como ya se menciono antes, y al no contar con un método estándar para el diseño del pavimento rígido con fibras, se utilizará el método de cálculo dado por la PCA, solo como referencia, con el fin de analizar únicamente lo que sucede con el factor de fatiga, ya que uno de los objetivos de esta investigación es mejorar la resistencia a la flexión del hormigón o MR (Módulo de Rotura) con la adición de la fibra RXF54; con lo cual, para los diseños que se van a realizar con la fibra RXF54, solo se tomara en cuenta el MR del hormigón y la variación del peralte.

Al mejorar el MR, el porcentaje de fatiga del hormigón será menor, de tal manera que se puede disminuir el peralte de la losa de hormigón del pavimento rígido; pero la disminución del peralte afecta directamente al factor de erosión, por lo cual, no se va a tomar en cuenta el factor de erosión en los diseños PCA que tienen fibra.

Es por esto que los diseños con fibra, solo servirán como una referencia en cuanto refiere a peralte y MR.

Como otro método de diseño de pavimentos rígidos se tomará en cuenta el sistema de cálculo del fabricante de la fibra Ruredil RXF54 el cual nos servirá para poder hacer una comparación con el método de la PCA, en cuanto a peralte de la losa y reducción de las cantidades de hormigón.

## **5.2.1 Método de la Asociación de Cemento Portland PCA**

### *5.2.1.1 Aspectos generales.*

La Asociación de cemento portland (P.C.A.), fundada en 1916 con el objetivo de mejorar y expandir el uso del cemento portland y hormigón, publicó en 1966 un procedimiento para el diseño de espesores de pavimento, basado en el concepto

de "consumo de resistencia". En este método se calculan las tensiones que produce el tránsito en cada rango de carga, comparándolas con la resistencia de diseño adoptada denominando la relación de ellas como "razón de esfuerzos". De acuerdo a este valor se establece el número de repeticiones permitidas en cada rango de carga, que comparado con el número de repeticiones esperadas, permite establecer un porcentaje de consumo de resistencia por cada rango de carga, cuya suma debe exceder el valor de 100%.

Después de muchos años de aplicación y revisión se publicó en 1984, una nueva versión del método cuyo autor es Robert G. Packard. Este procedimiento permite cuantificar la influencia que significa colocar una berma con hormigón adyacente al pavimento.

#### *5.2.1.2 Criterios*

En el método P.C.A. (1984), considera dos criterios fundamentales:

##### *5.2.1.2.1 Criterio de Fatiga*

Este criterio sirve para mantener un aceptable esfuerzo del hormigón, debido a las repeticiones de carga dentro del límite aceptable y para prevenir el agrietamiento por fatiga.

##### *5.2.1.2.2 Criterio de Erosión*

Este criterio toma en cuenta los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes y esquinas, y con ello controlar la erosión del material de fundación.

### 5.2.1.3 Parámetros

Además de los criterios fundamentales que analiza este método, tenemos los parámetros requeridos para el diseño. Los parámetros básicos de diseño en este método son:

- Tránsito de diseño.
- Resistencia de diseño del hormigón MR (módulo de rotura).
- Módulo de reacción de la subrasante y suelo.
- Tipo de berma y junta transversal.

#### 5.2.1.3.1 Tránsito de diseño y factor de seguridad

El tránsito está clasificado de acuerdo al tipo de vehículo de carga. El tránsito de diseño se expresa como número de ejes que pasan, en la pista de diseño, en cada rango de carga y recibe el nombre de "repeticiones esperadas en cada rango de carga". Este es el factor más importante en el cálculo del espesor del pavimento. Su determinación se hace basándose en los siguientes antecedentes:

- Distribución del número de ejes solicitantes por cada 1000 vehículos.
- Tasas de crecimiento de cada tipo de vehículos.
- Factor Pista de Diseño, factor de distribución del tránsito pesado en la pista de diseño.

Con esta información se determina el tránsito solicitante para la vida de diseño elegida.

El factor de seguridad se aplica al valor mayor del rango de carga considerado, según el siguiente criterio:

- Autopistas con flujo continuo, alto contenido de vehículo pesado, multicarriles (F.S. = 1,2)
- Autopistas o arterias con moderado volumen de tráfico pesado (F.S. = 1,1)
- Caminos y calles residenciales con bajos volúmenes de tráfico (F.S. = 1,0)

#### 5.2.1.3.2 Resistencia de diseño del hormigón

En este método la resistencia de diseño a utilizarse es la resistencia al flexo tracción a 28 días o módulo de rotura (MR), determinada a través del ensayo AASHTO T-97.

#### 5.2.1.3.3 Módulo de reacción de la subrasante

Un factor de mucha importancia en el diseño de espesor de un pavimento de hormigón, es la calidad del suelo que conforma la subrasante. Este valor se refiere al módulo de reacción de la subrasante K, que representa la presión de una placa circular rígida de 76 cm. de diámetro dividida por la deformación que dicha presión genera. Su unidad de medida es el Kg/cm<sup>2</sup>/cm (Kg/cm<sup>3</sup>).

Debido a que el ensayo correspondiente, (Norma AASHTO T 222-78) es lento y caro de realizar, generalmente se calcula correlacionándolo con otro tipo de ensayos más rápidos de ejecutar, tales como la clasificación de suelos o el ensayo CBR.

Para fines prácticos se proponen las siguientes categorías de subrasante:

Categorías de Subrasante:

<b>Categoría Subrasante</b>	<b>Clasificación U.S.C.S.</b>	<b>de suelos AASHTO</b>	<b>Características del suelo CBR%</b>	<b>Características del suelo K (Kg/cm<sup>3</sup>)</b>
Muy Buena	GW, GP	A1-a, A1-b	> 25	> 8
	GM, GC	0		
Buena	SC - SM	A2-6, A2-7	6 a 25	4 a 8
Deficiente	ML, CL, MH	A-5, A-6	2 a 6	2 a 4
	CH, OH, OL	A7-5, A7-6		

Tabla 5.1: Categoría de Subrasante  
Elaborado por: Ing. Gustavo Yáñez

#### 5.2.1.3.4 Tipo de berma y junta transversal

Se presentan 4 alternativas de acuerdo a si la berma es pavimentada y si se colocan pasadores en las juntas transversales.

#### 5.2.1.3.5 Metodología de cálculo

Los pasos que se deben seguir para el cálculo de espesores son los siguientes:

- Definición de los datos básicos de entrada:
  - Tipo de berma y pasadores.
  - Resistencia de diseño MR (módulo de rotura) a los 28 días.
  - Valor del módulo de reacción del suelo
  - Factor de seguridad adoptado.
  - Número de ejes esperados en cada rango de carga para la vida de diseño adoptada.
- Colocar tentativamente un espesor de pavimento.

- Con la información contenida en (1) y (2) determinar los valores de "Esfuerzo Equivalente" y "Factor de Erosión" en las tablas correspondientes.
- Calcular el "Factor de Razón de Esfuerzo", dividiendo el valor del esfuerzo equivalente por la resistencia de diseño. Con el "Factor de Erosión" y "Razón de Esfuerzo", se determinan las repeticiones permitidas utilizando los ábacos correspondientes a continuación. Las repeticiones permitidas se expresan finalmente como por un porcentaje de las repeticiones esperadas. La suma de la columna fatiga y erosión permite establecer si el espesor de la losa cumple los requerimientos. Estos son tales que, cada uno por separado debe estar entre el 35% y 85%.

Los ábacos y tablas que se utilizan para este método de cálculo de espesores de la losa de hormigón se los indica a continuación:

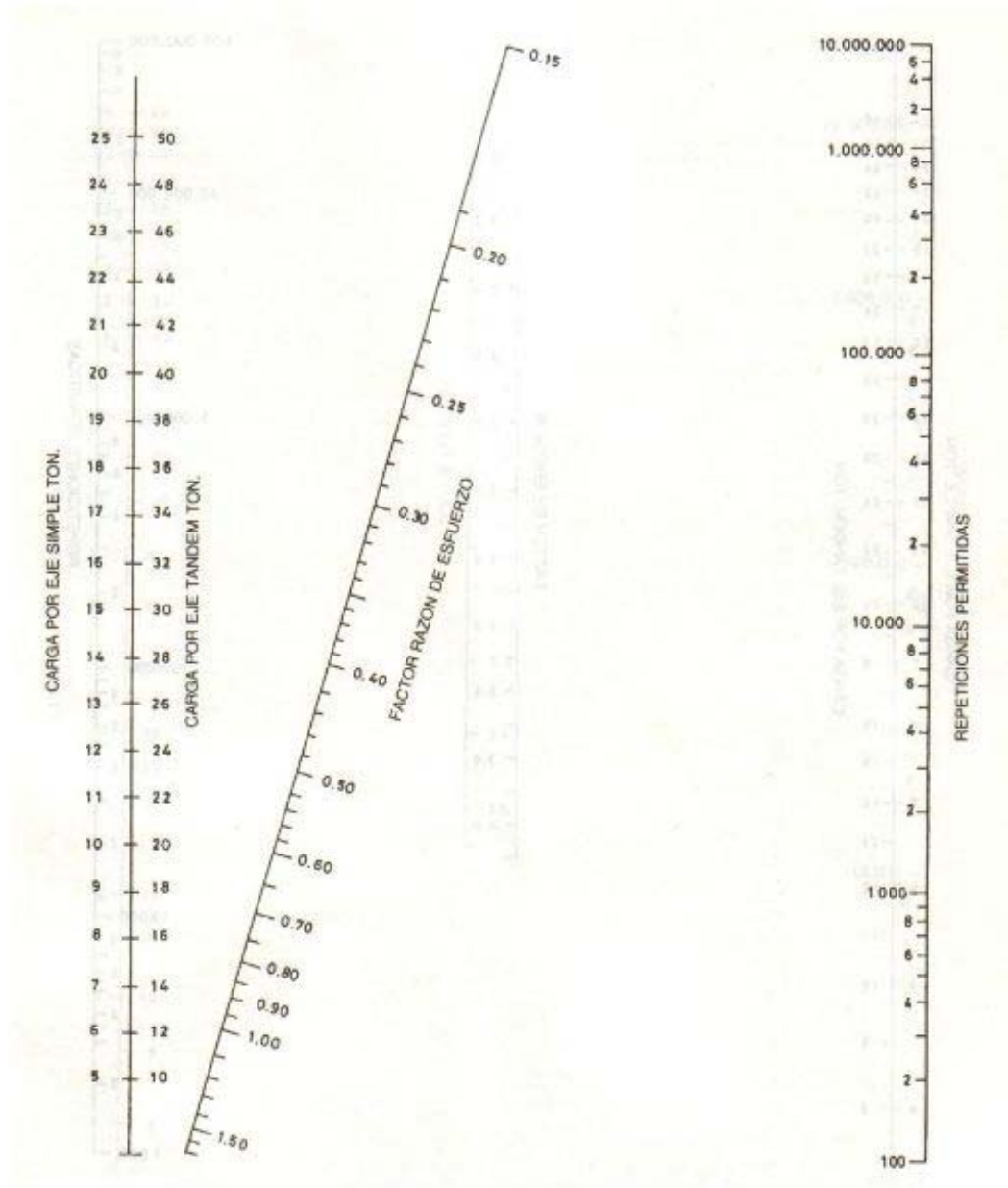


Ilustración 5.1: Análisis por Fatiga, Berma si pavimento  
Elaborado por: Método PCA

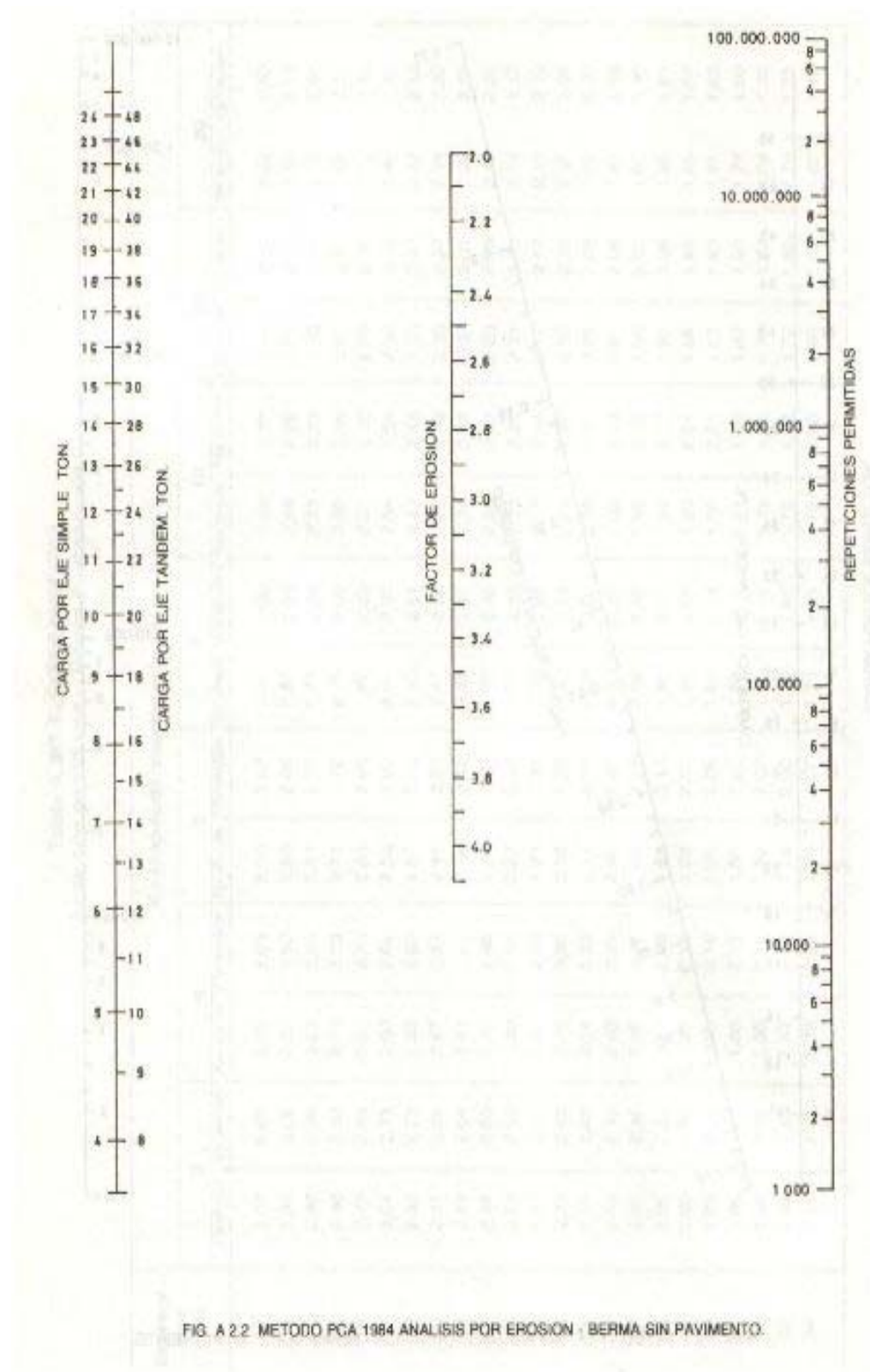


FIG. A 2.2 METODO PCA 1984 ANALISIS POR EROSION - BERMA SIN PAVIMENTO.

Ilustración 5.2: Análisis por Erosión, Berma si pavimento  
Elaborado por: Método PCA

Con esta metodología de cálculo, se determinaron los peraltes de la losa de hormigón del pavimento rígido, en donde se debe evaluar si los porcentajes totales de los factores de Fatiga (%F) y Erosión (E%) se encuentra dentro de los siguientes límites:  $35\% < (%F, \%E) > 85\%$ , en donde, los dos factores deben estar dentro de estos límites, pero que, si los factores son menores al 35%, la losa esta sobre dimensionada y son mayores del 85% están sobrepasando los límites y significa que no va a cumplir con uno de esos factores y el diseño no es correcto; es decir los 2 factores deben estar entre estos límites.

5.2.1.3.6 *Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Pintag sin la adición de Fibra RXF54*

<b>DESCRIPCION</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Espesor de tanteo (mm):</b>	250	OK
<b>Kcombinado (MPa/m):</b>	80	OK
<b>Módulo de rotura (MPa):</b>	5.46	OK
<b>F.S.C.:</b>	1.2	OK
<b>Juntas con pasadores</b>	SI	OK
<b>Berma de concreto</b>	NO	OK
<b>Periodo de diseño</b>	20 años	OK
<b>Capa de de subbase para alcanzar K combinado de la subrasante con la base granular</b>	30.00 cm	OK
<b>TOTAL FATIGA %</b>	<b>0.00</b>	PCA: 35< % >85 / OK
<b>TOTAL EROSION%</b>	<b>85.38</b>	PCA: 35< % >85 / OK

Tabla 5.2: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Pintag sin la adición de Fibra RXF54  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

5.2.1.3.7 *Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Pintag sin la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que el porcentaje de erosión sobrepase los límites establecidos*

DESCRIPCION		OBSERVACIONES
Espesor de tanteo (mm):	210	OK
Kcombinado (MPa/m):	80	OK
Módulo de rotura (MPa):	5.46	OK
F.S.C.:	1.2	OK
Juntas con pasadores	SI	OK
Berma de concreto	NO	OK
Periodo de diseño	20 años	OK
Capa de de subbase para alcanzar K combinado de la subrasante con la base granular	30.00 cm	OK
TOTAL FATIGA %	<b>15.64</b>	PCA: 35< % >85 / OK
TOTAL EROSION%	<b>167.93</b>	PCA: 35< % >85 / NO CUMPLE

Tabla 5.3: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Pintag sin la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que el porcentaje de erosión sobrepase los límites establecidos  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

5.2.1.3.8 *Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Pintag con la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que solo cumpla en porcentaje de fatiga*

DESCRIPCION		OBSERVACIONES
Espesor de tanteo (mm):	200	OK
Kcombinado (MPa/m):	80	OK
Módulo de rotura (MPa):	5.98	OK
F.S.C.:	1.2	OK
Juntas con pasadores	SI	OK
Berma de concreto	NO	OK
Periodo de diseño	20 años	OK
Capa de de subbase para alcanzar K combinado de la subrasante con la base granular	30.00 cm	OK
<b>TOTAL FATIGA %</b>	<b>10.95</b>	PCA: 35< % >85 / OK
<b>TOTAL EROSION%</b>	<b>474.32</b>	PCA: 35< % >85 / NO CUMPLE

Tabla 5.4: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Pintag con la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que solo cumpla en porcentaje de fatiga

Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

5.2.1.3.9 *Resumen del Diseño de la losa de hormigón del pavimento rígido con material de Guayllabamba sin la adición de Fibra RXF54*

DESCRIPCION		OBSERVACIONES
Espesor de tanteo (mm):	260	OK
Kcombinado (MPa/m):	80	OK
Módulo de rotura (MPa):	4.67	OK
F.S.C.:	1.2	OK
Juntas con pasadores	SI	OK
Berma de concreto	NO	OK
Periodo de diseño	20 años	OK
Capa de de subbase para alcanzar K combinado de la subrasante con la base granular	30.00 cm	OK
<b>TOTAL FATIGA %</b>	<b>57.63</b>	PCA: 35< % >85 / OK
<b>TOTAL EROSION%</b>	<b>83.09</b>	PCA: 35< % >85 /OK

Tabla 5.5: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Guayllabamba sin la adición de Fibra RXF54  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

5.2.1.3.10 *Resumen del Diseño de la losa de hormigón del pavimento rígido con material de Guayllabamba sin la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que el factor de erosión sobrepase los límites establecidos*

DESCRIPCION		OBSERVACIONES
Espesor de tanteo (mm):	230	OK
Kcombinado (MPa/m):	80	OK
Módulo de rotura (MPa):	4.67	OK
F.S.C.:	1.2	OK
Juntas con pasadores	SI	OK
Berma de concreto	NO	OK
Periodo de diseño	20 años	OK
Capa de de subbase para alcanzar K combinado de la subrasante con la base granular	30.00 cm	OK
TOTAL FATIGA %	<b>57.63</b>	PCA: 35< % >85 / OK
TOTAL EROSION%	<b>180.03</b>	PCA: 35< % >85 / NO CUMPLE

Tabla 5.6: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Guayllabamba sin la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que el porcentaje de erosión sobrepase los límites establecidos  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

5.2.1.3.11 *Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Guayllabamba con la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que solo cumpla en porcentaje de fatiga*

DESCRIPCION		OBSERVACIONES
Espesor de tanteo (mm):	220	OK
Kcombinado (MPa/m):	80	OK
Módulo de rotura (MPa):	5.06	OK
F.S.C.:	1.2	OK
Juntas con pasadores	SI	OK
Berma de concreto	NO	OK
Periodo de diseño	20 años	OK
Capa de de subbase para alcanzar K combinado de la subrasante con la base granular	30.00 cm	OK
<b>TOTAL FATIGA %</b>	<b>31.29</b>	PCA: 35< % >85 / OK
<b>TOTAL EROSION%</b>	<b>273.69</b>	PCA: 35< % >85 / NO CUMPLE

Tabla 5.7: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Guayllabamba con la adición de Fibra RXF54, reduciendo el peralte hasta que solo cumpla en porcentaje de fatiga

Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

## **5.3 Método de diseño según el fabricante de la fibra**

### **Ruredil RXF54**

Este método de cálculo fue desarrollado por el fabricante de la fibra Ruredil, este es utilizado para pisos industriales. Los pisos industriales están constituidos por losas de hormigón unidas entre sí, sometidos a cargas móviles, estáticas, agentes externos y ataques agresivos de sustancias químicas.

El pavimento rígido está conformado por losas de hormigón unidas mediante pasadores, y de igual manera sometido a cargas móviles, estáticas, y agentes externos de la naturaleza.

Siguiendo las recomendaciones de fabricante de la fibra y al entender a la losa de un piso industrial como una losa de un pavimento rígido y teniendo las mismas relaciones y similitudes, se realizó un diseño según el fabricante.

Este método de cálculo se basa en el comportamiento de la post-fisura y toma en cuenta las cargas como cargas puntuales sobre un área equivalente a la huella de una llanta de un vehículo pesado, situada lejos de los bordes de la losa. Determinando así el porcentaje de fibra que se requiere para un peralte de losa impuesto inicialmente.

Las posibilidades de cálculo de este método son dos:

1. Una carga puntual sobre un área equivalente a la huella de una rueda de un vehículo pesado.
2. Dos cargas puntuales aplicadas cada una sobre su área equivalente a la huella de una rueda de un vehículo pesado, a una distancia (L) entre sí.

Los parámetros que interviene en el diseño de la losa del pavimento rígido son según este método de cálculo son:

1. Diámetro (área equivalente de la huella del vehículo pesado) D.
2. Distancia entre cargas P
3. Carga puntual P
4. Resistencia a Compresión del hormigón.
5. Módulo de reacción del suelo.
6. Espesor tentativo.

Una vez determinado los parámetros a utilizarse, se procede a calcular el porcentaje de fibra que se requiere para el espesor impuesto.

Se realizaron varias iteraciones con diferentes espesores de losa de hormigón, hasta llegar a obtener la cantidad óptima de fibra de 1.5 kilogramos por metro cúbico de hormigón, determinada en el capítulo 4.

Este procedimiento de cálculo se realizó con los resultados del hormigón elaborado con material de Pintag y Guayllabamba, obteniéndose los siguientes resultados:

### **5.3.1 Diseño Ruredil para una losa de hormigón del pavimento rígido con material de Pintag**

DESCRIPCION		OBSERVACIONES
Carga (kgf)	9000	OK
Clase Hormigón (kgf/cm <sup>2</sup> ):	400	OK
Módulo Young del terreno (Kgf/cm):	8	OK
Espesor deseado (cm)	16	OK
Porcentaje de fibras (kg/m <sup>3</sup> )	1.5	OK

Tabla 5.8: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Pintag con el programa de Ruredil RXF54  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

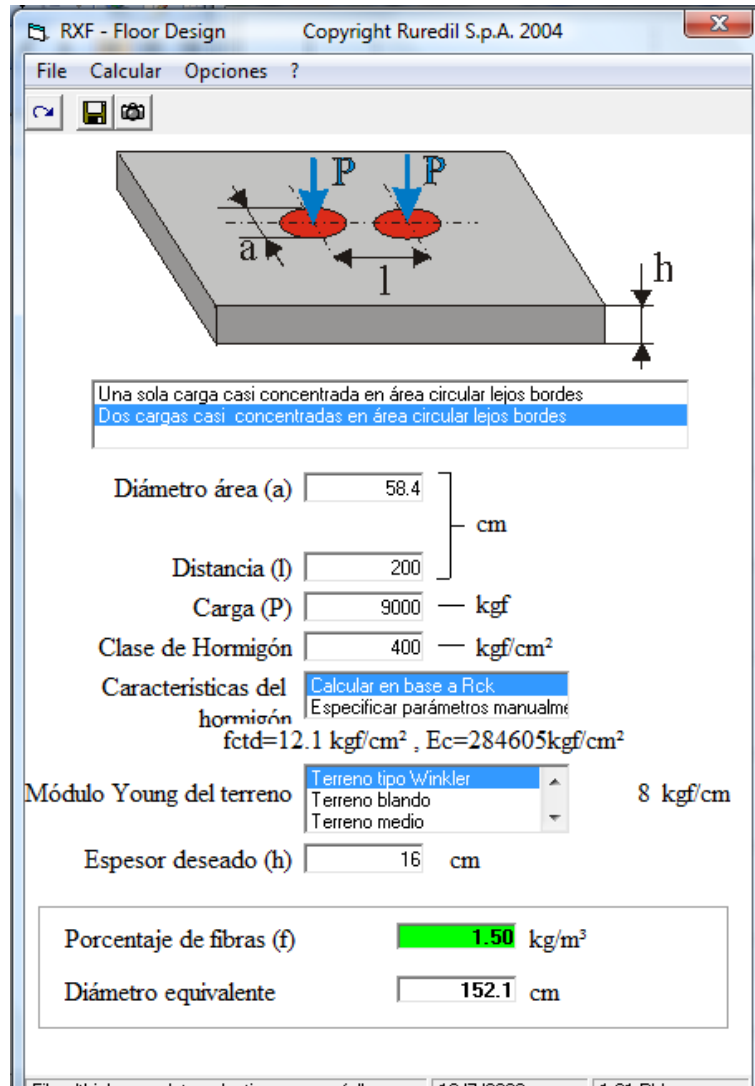


Ilustración 5.3: Diseño de una losa de hormigón de la cantera de Pintag con la adición de fibra RXF54  
 Elaborado por: Ruredil RXF54

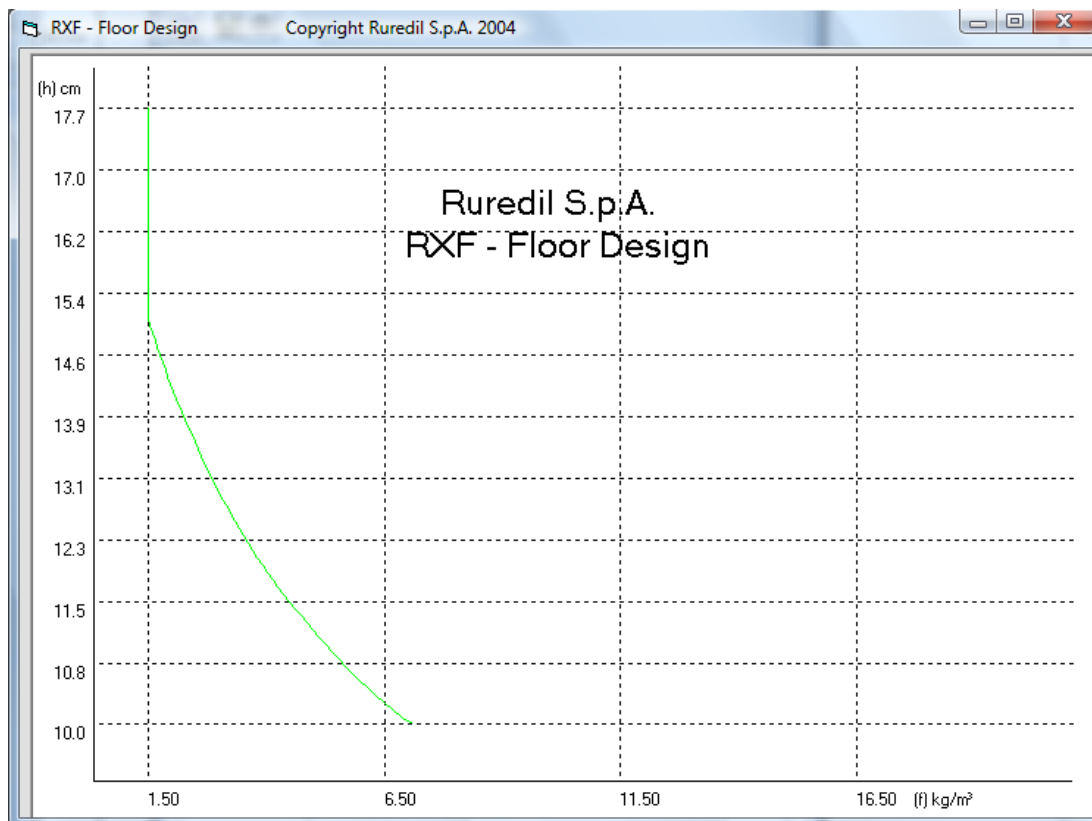


Ilustración 5.4: Diagrama para verificar el peralte de la losa de hormigón de la cantera de Pintag con la adición de fibra RXF54  
Elaborado por: Ruredil RXF54

### 5.3.2 Diseño Ruredil para una losa de hormigón del pavimento rígido con material de Guayllabamba

DESCRIPCION		OBSERVACIONES
Carga (kgf)	9000	OK
Clase Hormigón (kgf/cm <sup>2</sup> ):	350	OK
Módulo Young del terreno (Kgf/cm):	8	OK
Espesor deseado (cm)	17	OK
Porcentaje de fibras (kg/m <sup>3</sup> )	1.5	OK

Tabla 5.9: Resumen del Diseño de la losa de hormigón del Pavimento Rígido con material de Guayllabamba con el programa de Ruredil RXF54  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

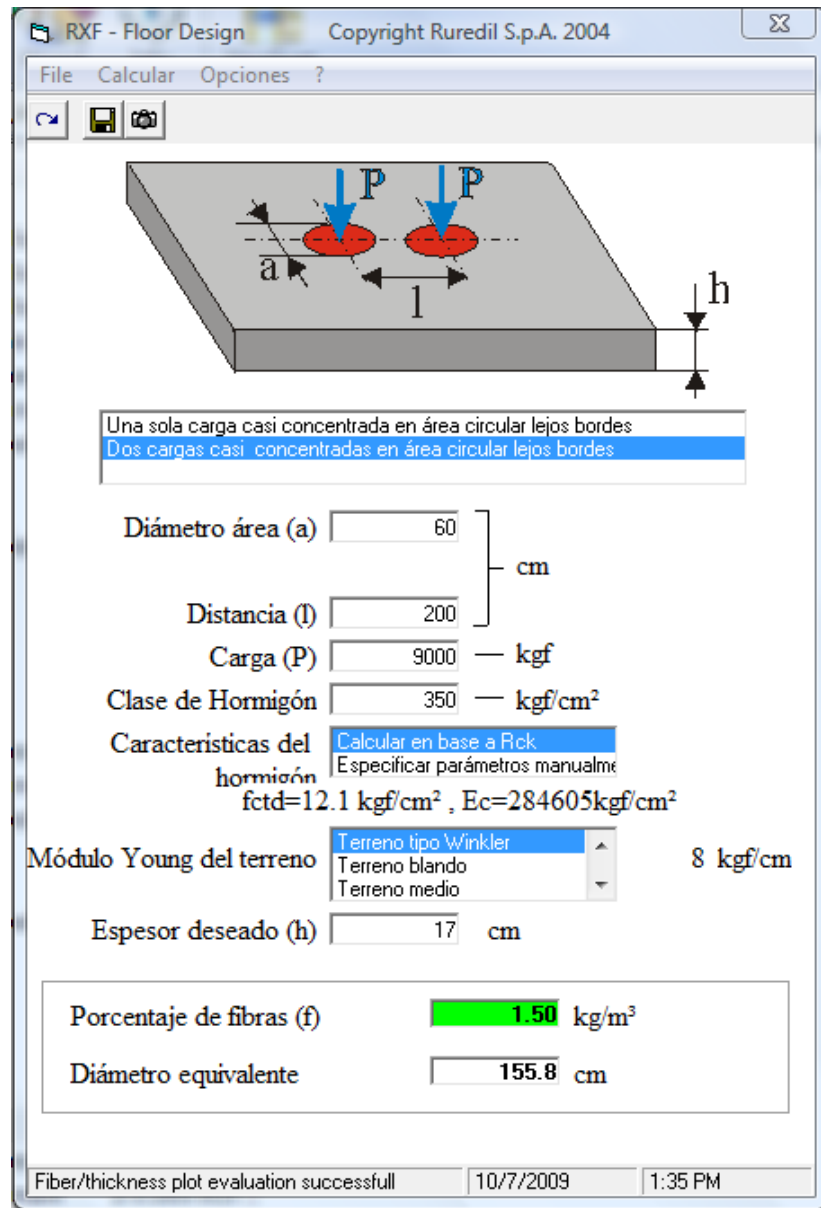


Ilustración 5.5: Diseño de una losa de hormigón de la cantera de Pintag con la adición de fibra RXF54  
 Elaborado por: Ruredil RXF54

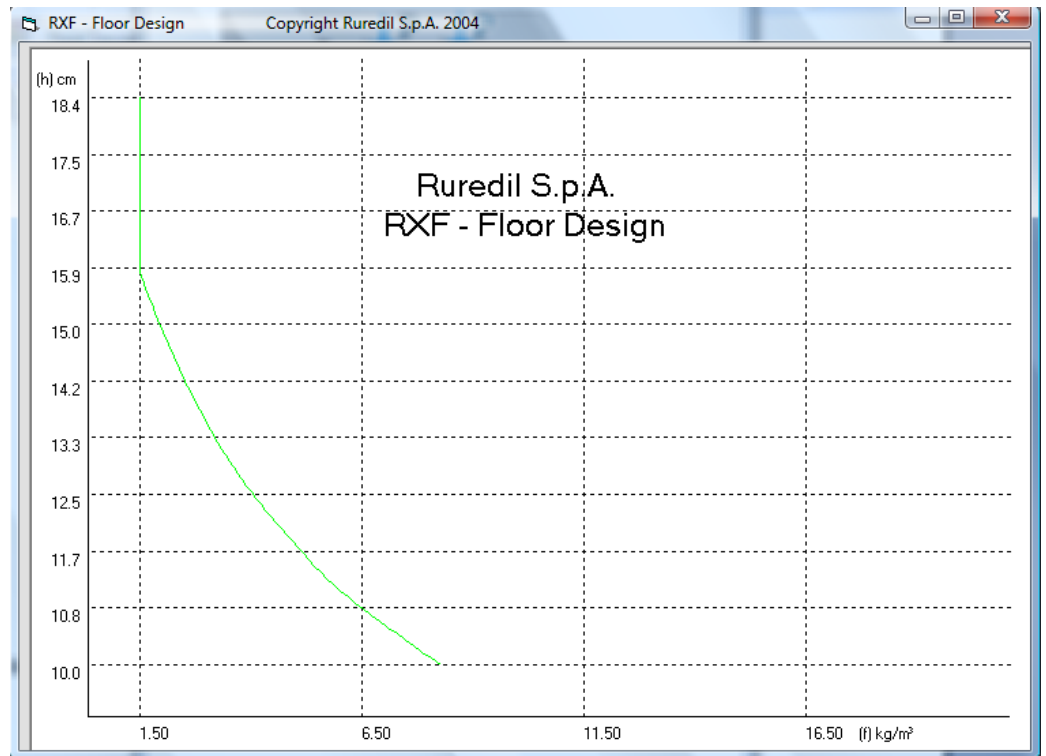


Ilustración 5.6: Diagrama para verificar el peralte de la losa de hormigón de la cantera de Pintag con la adición de fibra RXF54  
Elaborado por: Ruredil RXF54

## 5.4 Estimación de Costos

### 5.4.1 Introducción

El tema de los costos de un pavimento rígido o piso industrial es muy importante, en el que interviene principalmente el costo de los materiales a utilizarse para la elaboración del pavimento rígido o piso industrial. Generalmente, estos costos suelen ser muy altos, por lo que se ha visto necesario la utilización de nuevas tecnologías en la construcción de pavimentos rígidos o pisos industriales, con el fin de reducir volumen de material.

Los pavimentos rígidos y pisos industriales se caracterizan por ser elaborados de hormigón, el cual es un material artificial costoso. La cantidad de hormigón utilizado

en este tipo de proyectos es grande, por lo que el hormigón es uno de los rubros más significantes en el costo directo de este tipo de proyectos.

Una de las nuevas tecnologías a utilizarse en la elaboración de hormigón son las fibras sintéticas estructurales Ruredil RXF 54, que tienen como fin mejorar las características mecánicas del hormigón y reducir la cantidad de hormigón a utilizarse en los pavimentos rígidos o pisos industriales, y por lo tanto reducir los costos.

La estimación de costos que se realizará en esta investigación se basa directamente en el costo final del hormigón por metro cúbico sin y con la fibra Ruredil RXF 54. Para este análisis se considerara losas de hormigón (6 x 3.6 mts<sup>2</sup> de área por carril) a lo largo de 1 km de vía, en la que se determinará el volumen necesario de hormigón sin y con la fibra Ruredil RXF 54.

#### **5.4.2 Costo del hormigón y de la fibra Ruredil RXF54**

El costo del hormigón por metro cúbico es un dato muy importante en este análisis, ya que mientras se requiera mayor resistencia del hormigón para un proyecto mayor será el costo del hormigón por metro cúbico, porque la resistencia esta comandada por la relación agua/cemento, a mayor resistencia mayor cantidad de cemento. Por lo tanto, si en un proyecto de pavimento rígido se requiere mucha cantidad de hormigón mediante la utilización de la fibra Ruredil RXF 54 se puede reducir la cantidad de hormigón y por lo tanto reducir el costo total del hormigón.

El valor del costo del hormigón sin fibra por metro cúbico se lo obtuvo de las hormigoneras de la ciudad de Quito, las cuales utilizan materiales pétreos de las canteras de Pintag, Guayllabamba, Pifo, San Antonio, y Pomasqui para la

elaboración del mismo. Estos precios están en función de las resistencias obtenidas en esta investigación, que se indican en el siguiente cuadro:

Hormigonera	Costo (Usd.)		Agregado Procedente
	f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>	f'c = 400 kg/cm <sup>2</sup>	
Del Valle	100	112	Pintag, Pifo
Equinoccial	93	130	Pifo, Guayllabamba
Holcim	116	125	Guayllabamba, Pifo
Metrohorm	116	123	San Antonio
Mezclalista	115	120	Guayllabamba
Quito	112	123	Pomasqui, San Antonio

Tabla 5.10: Resumen de las hormigoneras y precios del hormigón  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

La presentación de la fibra Ruredil RXF54 viene en una bolsa hidrosoluble. El contenido de fibra que dispone esta bolsa es de 1.0 kilogramo. El costo de esta bolsa con la fibra Ruredil RXF54 es de 26 dólares americanos.

#### **5.4.3 Resumen de costos**

Toda esta información obtenida de costos de hormigón y fibra se presenta en los cuadros de resultados, en los que se indican los costos para un kilómetro de vía (2 carriles 7.20 mts. de ancho) de hormigón con y sin fibra, de acuerdo a los peraltes calculados según los dos métodos planteados que son el de la PCA y el del Fabricante.

**Hormigoneras que utilizan agregados pétreos de la cantera de Pintag y sus costos.**

Hormigonera	Costos (Usd)			
	Hormigón f'c=400 kg/cm <sup>2</sup>	Sin Fibra PCA	Con Fibra Ruredil	Diferencia Costos (Usd)
		Peralte (mm)		
		250	160	
Del Valle	112.00	201600.00	173952.00	27648.00
Equinoccial	130.00	234000.00	194688.00	39312.00

Tabla 5.11: Costo del hormigón que utilizan materiales de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

**Hormigoneras que utilizan agregados pétreos de la cantera de Guayllabamba y sus costos.**

Hormigonera	Costos (Usd.)			
	Hormigón f'c=350 kg/cm <sup>2</sup>	Sin Fibra PCA	Con Fibra Ruredil	Diferencia Costos (Usd.)
		Peralte (mm.)		
		260	170	
Holcim	116.00	217,152.00	189,720.00	27,432.00
Metrohorm	116.00	217,152.00	189,720.00	27,432.00
Mezclalista	115.00	215,280.00	188,496.00	26,784.00
Quito	112.00	209,664.00	184,824.00	24,840.00

Tabla 5.12: Costo del hormigón que utilizan materiales de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

## **CAPITULO VI**

### **6. DURABILIDAD DEL PAVIMENTO RIGIDO**

#### **6.1 Introducción**

La durabilidad del hormigón puede entenderse como la capacidad de resistir las acciones del medioambiente, ataques físicos, químicos u otros procesos de deterioro durante el ciclo de vida para el cual fue proyectado, con un mínimo mantenimiento. Con lo cual, es evidente que una estructura deba mantener condiciones adecuadas de servicio durante el período de diseño.

Es por eso que es muy importante hacer un meticuloso estudio durante la etapa del diseño y construcción del proyecto, donde se analizarán las cargas actuantes sobre la estructura y las condiciones de agresividad a las que estará expuesta, incluyéndose dentro de éstas la erosión, la acción del ambiente, el ataque químico y todos aquellos otros procesos de deterioro que puedan afectar al hormigón y la armadura. Una vez conocidas las condiciones de agresividad, se deberá diseñar una estructura que posea las dimensiones, espesores de recubrimientos, calidad de hormigón y, en ocasiones, protecciones adicionales cuando el grado de agresividad es muy importante.

En la construcción de un pavimento rígido, si se quiere llegar a obtener los más altos estándares de diseño y construcción, mayor durabilidad del mismo, y un ciclo de vida entre los 30 y 40 años; es necesario considerar en las especificaciones de diseño y construcción, algunos factores que inciden en gran medida en estas características del pavimento y son: el impacto del ambiente, el tipo de suelo

existente, los materiales componentes y el hormigón, así como los tipos y magnitud de carga.

Si bien la losa del pavimento es capaz de soportar adecuadamente el impacto de las cargas de los vehículos, distribuyendo los esfuerzos a la capa subrasante, de forma que se eviten deformaciones perjudiciales; todas y cada una de las partes de un pavimento rígido tienen igual importancia y están relacionadas entre sí.

Cabe indicar que el destino de la obra, es el que define todos los parámetros de la dosificación de los componentes del hormigón, en donde resultados de los ensayos que son sometidos en laboratorio los agregados, cemento y aditivos en laboratorio permiten prever cuál será el comportamiento del hormigón a futuro, cuando se encuentre sometido a las exigencias de la obra.

A pesar de esto, todos los estudios en laboratorio, no son suficientes para predecir y evitar algún grado de deterioro, una vez que la estructura se encuentre en servicio, ya que no se puede simular con exactitud las mismas condiciones de servicio que se producen en la obra y laboratorio.

En la actualidad, uno de los medios empleados para el análisis del comportamiento de una estructura en determinadas condiciones ambientales, es la observación de obras ya existentes donde se analiza el tipo de deterioro, el nivel de gravedad alcanzado y el tiempo transcurrido.

Es interesante señalar la existencia de construcciones de hormigón que datan de las primeras décadas del siglo veinte, las que no muestran señales de deterioro, a diferencia con otras, realizadas en estos últimos años, con evidentes problemas de durabilidad.

## **6.2 Procesos de deterioro del pavimento rígido y sus componentes**

En cualquier tipo de obra de hormigón no solamente se deben estudiar sus componentes sino que también se debe incorporar métodos de diseño y controles estrictos en los procedimientos constructivos, mantenimiento continuo de la estructura y un constante monitoreo.

A pesar de esto es difícil llegar a una predicción del comportamiento real de las propiedades de los componentes de la estructura, y es allí cuando se aplican coeficientes de seguridad para evitar que las cargas excedan a las resistencias máximas admisibles.

Los principales procesos de deterioro a los que están expuestas las estructuras de hormigón: fisuras, grietas y otros defectos, ataque físico, ataque químico, corrosión de armaduras, reacción álcali agregado y otros procesos internos de deterioro.

Si el deterioro sufrido por algunos los pavimentos es excesivo, se atribuye generalmente a fallas en el diseño, control de calidad, escasa capacitación del personal dedicado a la construcción de este tipo de pavimentos, lo cual ha inducido a producirse defectos en el proceso constructivo, influencia de la temperatura, sistemas de juntas deficientes, curado y texturizado escaso o no uniforme, etc.

La atribución de fallas, se ha basado muchas veces en experiencias y conocimientos empíricos, sin que se haya desarrollado una metodología detallada que permita dictar recomendaciones tendientes a aumentar la durabilidad en los pavimentos de hormigón, sobre la base de la detección de las causas reales de los problemas observados.

Para nuestra investigación fue necesario realizar varias visitas a diversas obras donde se construyeron pavimentos rígidos, parqueaderos y pisos industriales; se procedió a tomar fotos, y así identificar de forma visual deterioros como fisuras y algunas deformaciones, las mismas que se van a comparar de forma visual con obras de similares características que en su mayoría son pisos industriales y parqueaderos que hacen uso de las Fibras RXF 54, con lo cual se pretende únicamente diferenciar de forma visual diferencias entre estos tipos de estructuras con y sin fibras y verificar si la fibra interviene de alguna forma en las estructuras.

### **6.3 Características de durabilidad en pavimentos de hormigón y pisos industriales**

La durabilidad del hormigón depende en gran medida en función de la influencia de algunos factores, entre los que podemos destacar:

#### **6.3.1 Soporte del Suelo o Subrasante**

En donde el piso recibe directamente las cargas de flexión y corte, transfiriendo estas acciones hacia la sub-base que se encuentra por debajo (suelo y base). Además, en aquellos casos que así lo requieran el proyecto se puede aumentar la capacidad de carga y modificar la sección respectiva. Por lo tanto, la determinación de  $k$  es el primer paso y el más importante para realizar el proyecto de un piso o un pavimento rígido.

Hay que poner cuidado en todas las características del suelo principalmente en la granulometría, límites de Atterberg, valor relativo de soporte CBR (California Bearing Ratio), módulo de reacción de Westergaard ( $k$ ).

El módulo de reacción, representa el soporte del terreno (natural o terraplén) y puede ser calculado por medio del ensayo de la placa (ASTM D1195 y D1196) o puede ser estimado mediante el CBR.

El método de correlación CBR-k da una buena apreciación de k, donde cambios leves no afectan a los valores de espesor requerido.

También existe una correlación establecida entre el módulo de reacción (k) con el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS y el CBR. Encontrando en los suelos su CBR o clasificándolos por SUCS podemos determinar el valor de k, en Psi ó Kg/cm<sup>2</sup>.

### **6.3.2 Capa de la sub-base**

Si el valor de k no fuera adecuado para las cargas previstas para la losa, será necesario aumentar la capacidad portante de la sub-base para evitar que cualquier carga excesiva haga que el piso ceda y en el peor de los casos falle. Existen tablas, donde se puede determinar los incrementos de k cuando sobre la subrasante se coloca una sub-base granular o una sub-base estabilizada con cemento Portland.

### **6.3.3 Materiales constituyentes del pavimento y del hormigón**

Donde se debe realizar todos los ensayos pertinentes para identificar todas las características de los agregados de la base así como los agregados, cemento y aditivos del hormigón.

Resulta fundamental en los análisis de durabilidad del hormigón, conocer las propiedades de los materiales componentes por lo que se analizarán los materiales de las zonas cercanas si es el caso y de todo material con el objeto de conocer su

calidad, la posible reactividad álcali-agregado, la contaminación con sulfatos o cloruros que puedan afectar la durabilidad de los hormigones empleados en el pavimento.

#### **6.3.4 Procesos de construcción a los que se somete el hormigón**

Es un factor muy importante, ya que incide directamente en la durabilidad de las mezclas de hormigón, más aún en la relación agua/cemento: cuanto más baja es esta relación más resistente es el hormigón y más densa e impermeable es la mezcla.

Los compuestos químicos que se encuentran en la base pueden contener elementos reactivos con el pavimento de hormigón. Si estos compuestos ascienden por capilaridad pueden llegar al pavimento y ocasionarle deterioros.

El estudio de dosificaciones adecuadas de mezclas y el empleo de aditivos se analizarán con el fin de determinar las más adecuadas de acuerdo con los materiales de la región.

#### **6.3.5 Tipos de carga**

Se debe tomar en cuenta los volúmenes vehiculares máximos, así como los datos del TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual), dimensiones y peso máximo de los vehículos que circulan por los pavimentos.

Todos estos datos deben ser considerados en los análisis de durabilidad. Esta información puede obtenerse mediante una recopilación de datos existentes en las dependencias correspondientes, esto se hace con el fin de contar con una información confiable y segura.

### **6.3.6 Naturaleza del ambiente al que es expuesto el pavimento**

Las condiciones del medio ambiente en que se encuentran las estructuras son tan importantes como lo es el cemento, los agregados, el material de base, etc.

Es importante el estudio de los mecanismos que inducen el agrietamiento por contracción plástica del hormigón, agrietamiento por cargas de servicio, deterioro de la superficie, daños a la estructura por sustancias químicas. Esto requiere información relacionada con el gradiente térmico, la humedad relativa y datos de contaminación por sulfatos, CO<sub>2</sub> y cloruros.

El conocimiento del gradiente térmico de la losa así como de la humedad relativa interna del pavimento es muy importante para cada región y en cada caso de particular de interés.

La permeabilidad de un hormigón es un buen indicador de su durabilidad frente a agresiones físicas y químicas. La baja permeabilidad y una mejora sustancial de la microestructura de su pasta implicarán una reducción de la permeabilidad y así impedir el ataque de sustancias químicas, aceites, detergentes, etc.

### **6.3.7 Juntas de construcción**

Permiten el movimiento en el mismo plano de la losa de hormigón e inducen el agrietamiento natural de contracción causado por el secado y los cambios de temperatura, en sitios preseleccionados donde se hacen cortes en la losa proporcionando un plano de debilidad en el que se iniciará el agrietamiento.

Otra función de estas juntas, es el permitir la transferencia de cargas perpendiculares al plano de la losa; los cortes realizados deberán ser limpiados cuidadosamente para el relleno y sellado de las juntas con material asfáltico

flexible. Este sellado tiene como finalidad evitar el paso de agua a la sub base o estructura de soporte de las losas.

## **6.4 Evaluación de losa de Hormigón**

Por lo tanto para realizar una evaluación del deterioro de los pavimentos se debe primeramente observar todos los posibles deterioros que presenta la estructura; los que se definen como defectos de la superficie, agrietamientos, deformaciones, asentamientos, deficiencias de las juntas, estabilidad de la estructura de apoyo y problemas en el tránsito.

Para llevar a cabo este análisis se debe identificar la obra, se tomará fotografías de todos estos posibles deterioros y así tener una primera idea de la situación de la vía, para después si es el caso o si se desean realizar análisis más exhaustivos, se realicen extracción de núcleos y así ver si el hormigón y el suelo tienen las resistencias especificadas.

A continuación se presenta las imágenes de algunas obras que se visitaron:

### **6.4.1 Condado Shopping (Parqueaderos)**

Esta obra está ubicada en la Av. Mariscal Sucre y Av. La Prensa, Sector El Condado, tiene ya dos años de funcionamiento, en general la obra tiene un área del 96000  $m^2$  aproximadamente, de los cuales unos 20000  $m^2$  son parqueaderos, en donde una pequeña parte están ubicados en el exterior y la gran parte están en los subsuelos.

Los parqueaderos fueron construidos con un hormigón de resistencia de 240  $Kg./cm^2$  y en el último subsuelo, es decir el contrapiso el cual tiene un área aproximada de 9800  $m^2$  se hizo uso de la fibra RXF54 en el hormigón.

Las cargas presentes en estos parqueaderos son de automóviles y camiones pequeños, los mismos que circulan constantemente por todos sus alrededores.



Ilustración 6.1: Parqueaderos del Condado Shopping  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.2: Presencia constante de automóviles en los parqueaderos del Condado Shopping  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

En general, el aspecto del parqueadero que tiene incorporada la fibra RXF54, es de un buen estado, después de dos años de funcionamiento se puede notar el desgaste de las losas, principalmente en la juntas, además se encontró fisuras superficiales, más no, fisuras grandes o grietas que puedan poner en peligro a la estructura por filtraciones.



Ilustración 6.3: Desgaste de las rampas y parqueaderos del Condado Shopping  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Estas fisuras no son continuas, y están dispuestas a lo largo de toda el área, más aun en el área de circulación y no donde los automóviles están estáticos.



Ilustración 6.4: Identificación de fisuras en un m<sup>2</sup>. De parqueadero  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.5: Fisuras en los parqueaderos  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.6: Parquaderos de hormigón con fibra RXF54  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Se pudo también identificar, pequeños baches, en los cuales se pudo ver a la fibra, los mismos que parecen pequeños “pelos” que sobresalen en la superficie, pero estos baches de igual forma no afectan a la estructura.

Pequeño bache producido por el impacto de una carga, en el mismo se puede apreciar a la fibra.



Ilustración 6.7: Bache en el que se puede identificar a la fibra  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

#### **6.4.2 Supercines (Parqueadero)**

Este proyecto se inauguró en julio del 2009, solo tiene pocos meses de funcionamiento, está ubicado en la Av. 6 de Diciembre y Pasaje el Jardín, tiene un área aproximada de 12000  $m^2$  de parqueaderos, los cuales están dispuestos en dos subsuelos.

En el último subsuelo, se hizo uso de la fibra RXF54 para su losa de hormigón. Las cargas que se presentan en estos parqueaderos son de automóviles, y camiones pequeños.



Ilustración 6.8: Parqueadero de Supercines, Quito  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.9: Superficies en perfecto estado de los parqueaderos de Supercines  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

En general, el área considerada, no presenta ningún tipo deterioro, todas sus superficies son lisas, y no presentan fisuras, aunque en algunos tramos se notó pequeños daños en las juntas debido al tránsito de los automóviles.



Ilustración 6.10: Parqueaderos sin fisuras, Supercines Quito  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

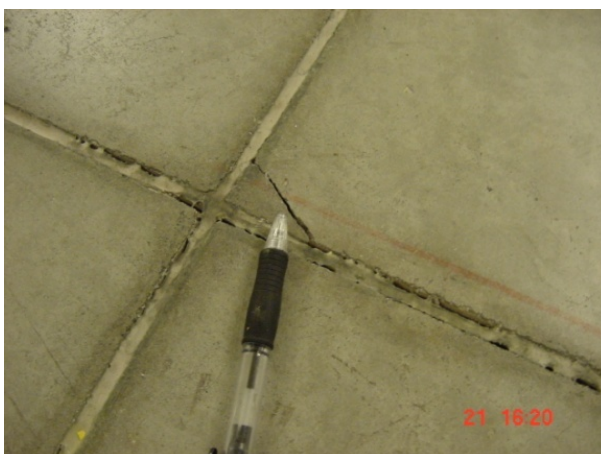


Ilustración 6.11: fisuras en las Esquinas de las losas  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Después de circular por toda el área del parqueadero, se pudo encontrar cerca del área de bodegas, un pequeño bache en el que se pudo identificar a la fibra. Este bache parecía haber sido causado por el impacto de alguna pieza, es decir que se despostilló la losa por la caída de algún objeto, sin embargo, este hueco no presentaba alrededor de él ninguna fisura o daños más graves.



Ilustración 6.12: Identificación de un bache donde se puede apreciar a la fibra RXF54  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

#### **6.4.3 Tramo desde el Redondel de la Miraflores hasta Terminal Quitumbe (Pavimento Rígido)**

Desde el 2008, empezó la Prolongación del Corredor Sur Occidental, el cual cubre diferentes sectores al sur del Distrito Metropolitano de Quito.

Este corredor conjuntamente con el corredor Sur Oriental formará parte del denominado Sistema de Transporte Sustentable del Sur, los cuales en su etapa final, operarán con buses articulados, que circularán en carriles centrales de pavimento rígido.

La vía de 13 km irá desde la Terminal interprovincial de Quitumbe hasta Miraflores. El Tramo 1, a cargo de la Constructora BUENO & CASTRO que va desde el redondel de Miraflores hasta la Av. Rodrigo de Chávez, ya se encuentra en funcionamiento y presenta algunos baches y desgaste normal en la superficie, se pudo identificar fisuras superficiales en los filos y las uniones de las juntas, y también se pudo apreciar fisuras en las tapas de alcantarillado y desgaste en las uniones.



Ilustración 6.13: Pavimento rígido del Tramo 1, que va desde el redondel de Miraflores hasta la Av. Rodrigo de Chávez  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.14: Circulación constante de Buses, Camiones y vehículos  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.15: Desgaste normal de la superficie del pavimento rígido  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.16: Daños producidos en las esquinas de las juntas  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

El Tramo 2, a cargo de COANDES, va por la Av. Rodrigo de Chávez hasta la Av. Cóndor Ñan; y la prolongación de la Av. Mariscal Sucre, desde la Av. Cóndor Ñan hacia la “Y” de la Ecuatoriana. Este tramo está por terminarse, con lo cual, solo por ciertos tramos del mismo circulan automóviles y buses, el pavimento rígido esta vía está en perfecto estado, no presenta ni fisuras y deterioros.



Ilustración 6.17: Pavimento Rígido, Tramo 2, Av. Rodrigo de Chávez hasta la Av. Cóndor Ñan; y la prolongación de la Av. Mariscal Sucre, desde la Av. Cóndor Ñan hacia la "Y" de la Ecuatoriana  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.18: Construcción de un pavimento rígido, Sector Quitumbe  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 6.19: Detalle de la estructura de un Pavimento rígido, Sector Quitumbe  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

## CAPITULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Propiedades de los agregados

Los materiales utilizados para esta investigación pertenecen al sector de Pintag y de Guayllabamba, los mismos que, fueron seleccionados por su cercanía a la ciudad de Quito. Todos los ensayos realizados para determinar las características de los agregados se los comparó con los rangos mínimos especificados en las normas ASTM y MOP.

##### 7.1.1 Material de Pintag

##### Agregado Fino

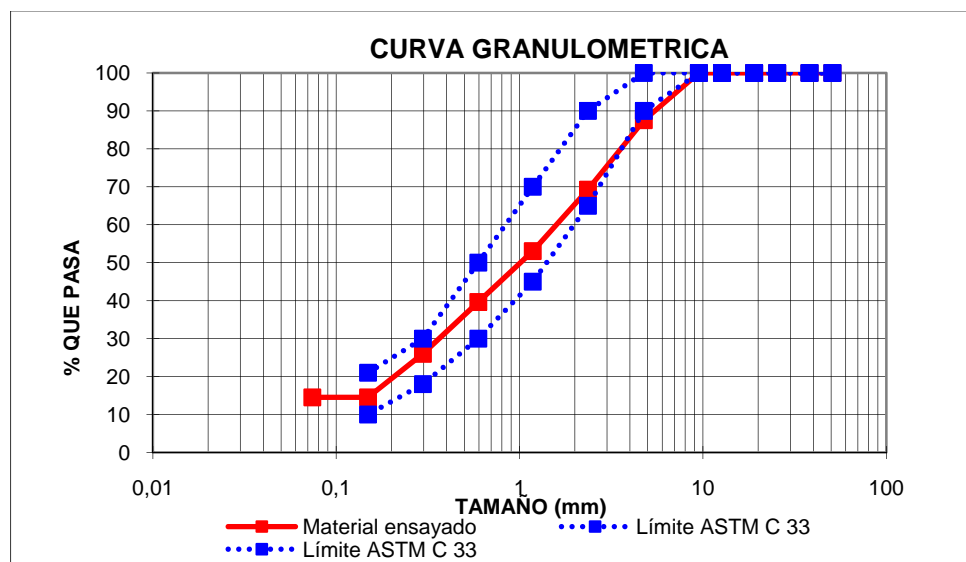


Diagrama 7.1: Diagrama del agregado Fino de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Agregado Fino				
ENSAYO	NORMA	Límites	Resultado	Cumple
Granulometría	ASTM C33	-	Buena	Si
Gravedad Específica Seca	ASTM C128	-	2.36	-
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	ASTM C128	-	2.45	-
Gravedad Específica Aparente	ASTM C128	-	2.59	-
Porcentaje de Absorción (%)	ASTM C128	-	3.81	-
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	ASTM C29	-	1456	-
Peso Unitario Compacto (kg/m3)	ASTM C29	-	1678	-
Material fino que pasa el tamiz #200 (%)	ASTM C33	Max 7%	10.73	No
Contenido Orgánico	ASTM C40	Max 3	0	Si
Equivalente de Arena (%)	AASHTO T176	> 45 %	80.63	Si
Módulo de Finura	ASTM C33	2.3 - 3.1	3.1	Si
Durabilidad a los sulfatos (%)	ASTM C33	Max 15%	10.87	Si

Tabla 7.1: Resumen de las características del agregado fino de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### Agregado Grueso

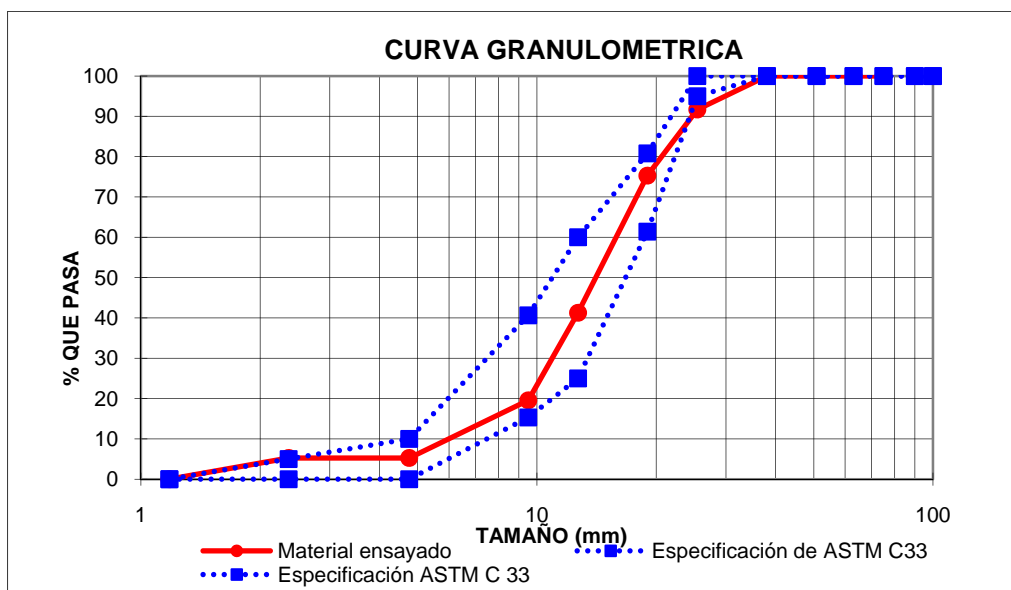


Diagrama 7.2: Diagrama del Agregado Grueso de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

<b>Agregado Grueso</b>				
<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>	<b>Límites</b>	<b>Resultado</b>	<b>Cumple</b>
Granulometría	ASTM C33	-	Buena	Si
Gravedad Específica Seca	ASTM C127	-	2.23	-
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	ASTM C127	-	2.32	-
Gravedad Específica Aparente	ASTM C127	-	2.46	-
Porcentaje de Absorción (%)	ASTM C127	-	4.07	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	-	1288	-
Peso Unitario Compacto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	-	1327	-
Módulo de Finura	ASTM C33	> 5	7	Si
Durabilidad a los sulfatos (%)	ASTM C33	Max 18%	8.59	Si
Abrasión (%)	ASTM C131	Max 50%	25.38	Si

Tabla 7.2: Resumen de las características del agregado grueso de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Se observó que, tanto el agregado fino como el agregado grueso cumplen con casi todas las especificaciones normadas en la ASTM y MOP, excepto el ensayo del material fino que pasa el tamiz #200 (%), el mismo que sobrepasa el límite especificado, lo cual no influye en la elaboración de las muestras de hormigón; sin embargo se debe tomar en cuenta para las correcciones pertinentes.

Finalmente se puede concluir que el agregado fino y el agregado grueso del sector Pintag son aptos para la elaboración del hormigón por sus buenas propiedades.

## 7.1.2 Material Guayllabamba

### Agregado Fino

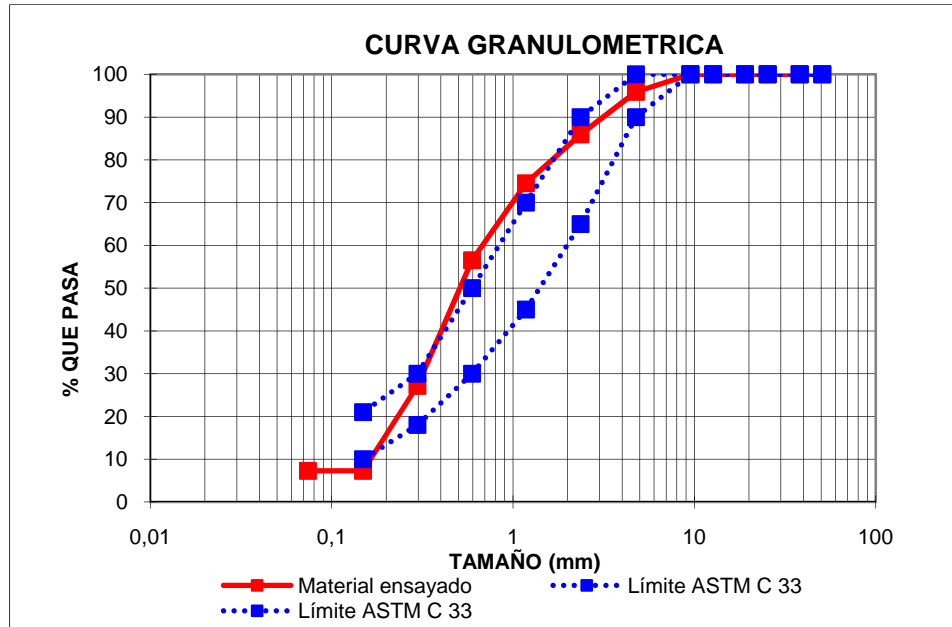


Diagrama 7.3: Diagrama del agregado Fino de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Agregado Fino				
ENSAYO	NORMA	Límites	Resultado	Cumple
Granulometría	ASTM C33	-	Regular	No
Gravedad Específica Seca	ASTM C128	-	2.58	-
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	ASTM C128	-	2.63	-
Gravedad Específica Aparente	ASTM C128	-	2.72	-
Porcentaje de Absorción (%)	ASTM C128	-	2.04	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	-	1620.00	-
Peso Unitario Compacto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	-	1734.00	-
Material fino que pasa el tamiz #200 (%)	ASTM C33	Max 7%	2.09	Si
Contenido Orgánico	ASTM C40	Max 3	< 3	Si
Equivalente de Arena (%)	AASHTO T176	> 45 %	97.30	Si
Módulo de Finura	ASTM C33	2.3 - 3.1	2.53	Si
Durabilidad a los sulfatos (%)	ASTM C33	Max 15%	11.95	Si

Tabla 7.3: Resumen de las características del agregado fino de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

## Agregado Grueso

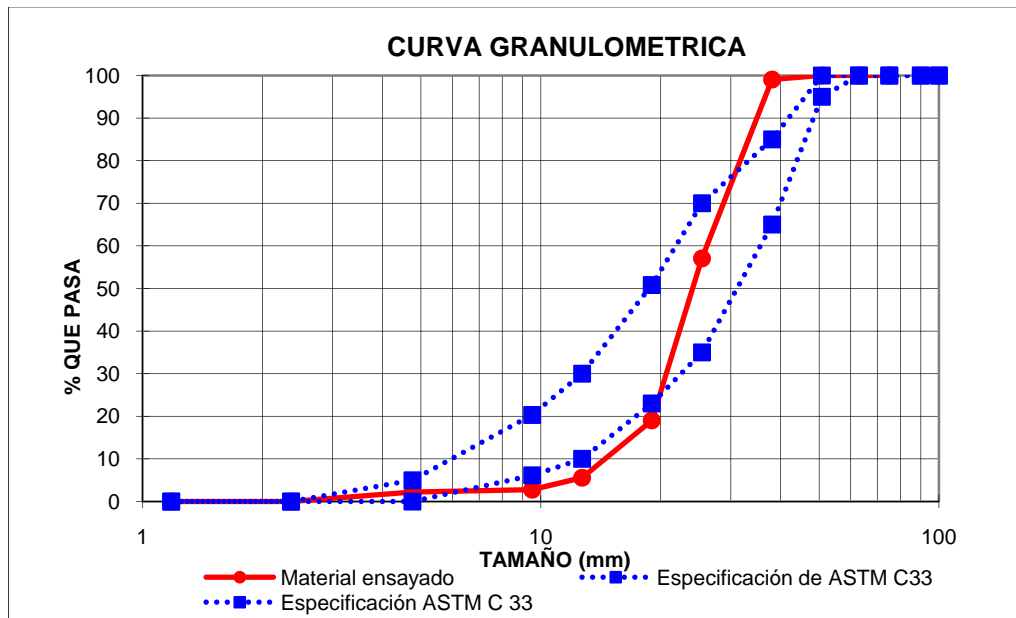


Diagrama 7.4: Diagrama del Agregado Grueso de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Agregado Grueso				
ENSAYO	NORMA	Límites	Resultado	Cumple
Granulometría	ASTM C33	-	Regular	No
Gravedad Específica Seca	ASTM C127	-	2.44	-
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	ASTM C127	-	2.48	-
Gravedad Específica Aparente	ASTM C127	-	2.55	-
Porcentaje de Absorción (%)	ASTM C127	-	1.71	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	-	1426	-
Peso Unitario Compacto (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM C29	-	1566	-
Módulo de Finura	ASTM C33	> 5	7.77	Si
Durabilidad a los sulfatos (%)	ASTM C33	Max 18%	7.27	Si
Abrasión (%)	ASTM C131	Max 50%	28.38	Si

Tabla 7.4: Resumen de las características del agregado grueso de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Los resultados de los ensayos realizados con el material de Guayllabamba, nos revela que la granulometría tanto en el agregado fino como en el agregado grueso no cumplen con las especificaciones de las normas ASTM. A pesar de esto, se

decidió utilizar este material para la elaboración del hormigón tomando en cuenta las correcciones pertinentes de la mezcla de materiales del diseño del hormigón y así cumplir con las especificaciones ASTM.

Finalmente se puede observar que el material de Pintag presenta mejores características que el material de Guayllabamba, ya que la granulometría y los demás ensayos cumplieron con casi todas las normas.

## **7.2 Determinación de la resistencia a la Compresión y Tensión**

### **7.2.1 Compresión de cilindros**

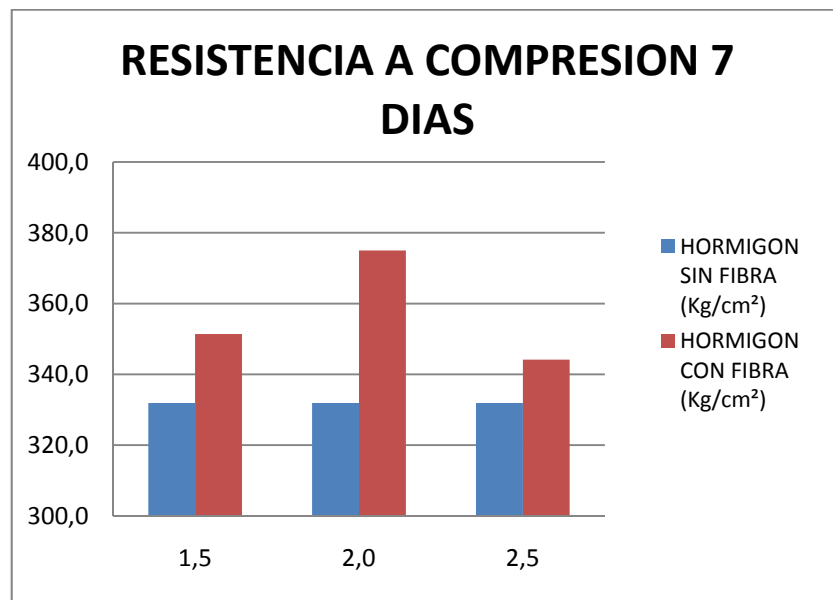


Diagrama 7.5: Diagrama de la Resistencia a la Compresión del Hormigón de Pintag a los 7 días

Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Al ensayar los cilindros de hormigón a los 7 días de edad se observó que, tanto las muestras sin y con fibra alcanzan la resistencia para la cual fueron diseñadas ( $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ ), y que además, esta resistencia cumple con la Norma MOP 405-8 ( $f'c \geq 28 \text{ MPa}$ ) para pavimentos rígidos de cemento portland.

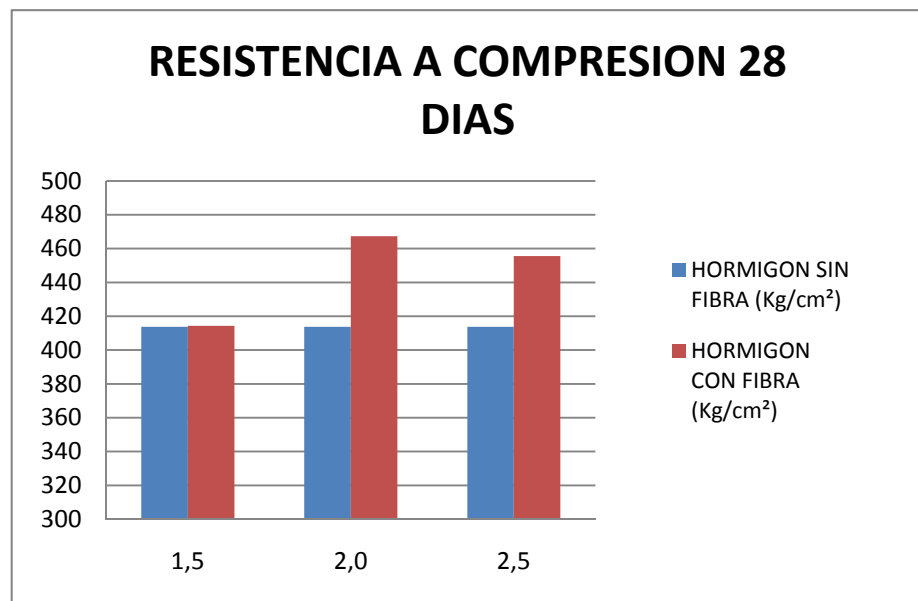


Diagrama 1.6: Diagrama de la Resistencia a la Compresión del Hormigón de Pintag a los 28 días  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Los cilindros de hormigón ensayados a los 28 días, de igual forma aumentaron su resistencia y cumplen con las normas del MOP 405-8.

Cantidad de fibra	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )					RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )				
	7 días de Edad					28 días de Edad				
	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin Fibra <sup>6</sup>	Con Fibra	% Aumen.	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin fibra	Con Fibra	% Aumen.
kg/m <sup>3</sup>										
1.5	327.72	331.88	314.08	351.38	6.0	374.27	413.70	367.14	414.27	0.14
2.0	346.74			375.02	13.0	439.84			467.29	13.0
2.5	321.17			344.16	4.0	426.98			455.58	10.0

Tabla 7.5: Resumen de las Resistencias a la Compresión del hormigón de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Como se observa en la tabla 7.5, la resistencia a la compresión a los siete días aumentó entre un 4% y 13% dependiendo de las cantidades de fibra, lo cual sucedió de igual manera a los 28 días, donde las resistencias aumentaron hasta un 13%.

---

<sup>6</sup> La resistencia característica, es un valor estadístico que garantiza que el 95% de la resistencia del hormigón colocado en obra (en nuestro caso laboratorio), posee una resistencia parecida a la teórica.

### Hormigón Elaborado con Material del Sector de Guayllabamba

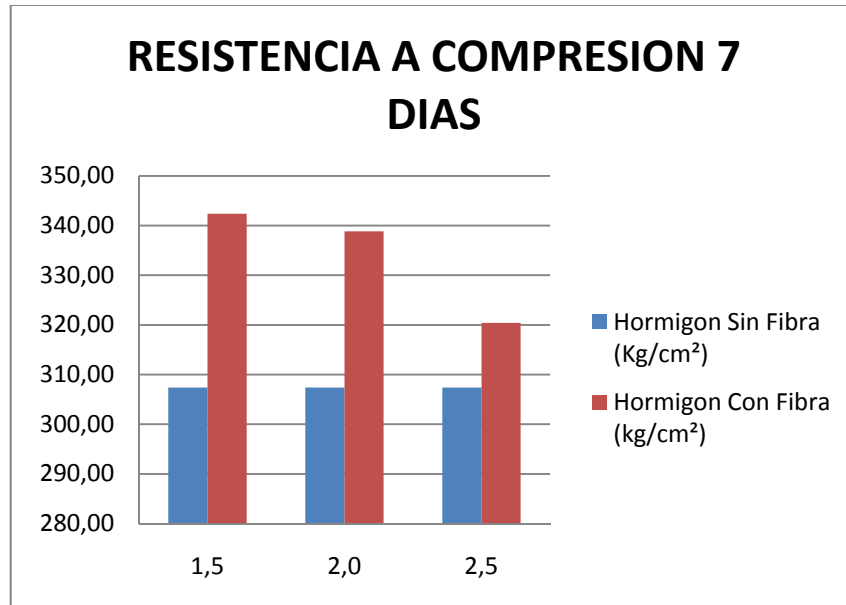


Diagrama 7.7: Diagrama de la Resistencia a la Compresión del Hormigón de Guayllabamba a los 7 días

Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

A los 7 días de edad, los cilindros ya alcanzaron la resistencia propuesta ( $f'c=300$  kg/cm<sup>2</sup>) y también cumplieron con la norma MOP 405-8.

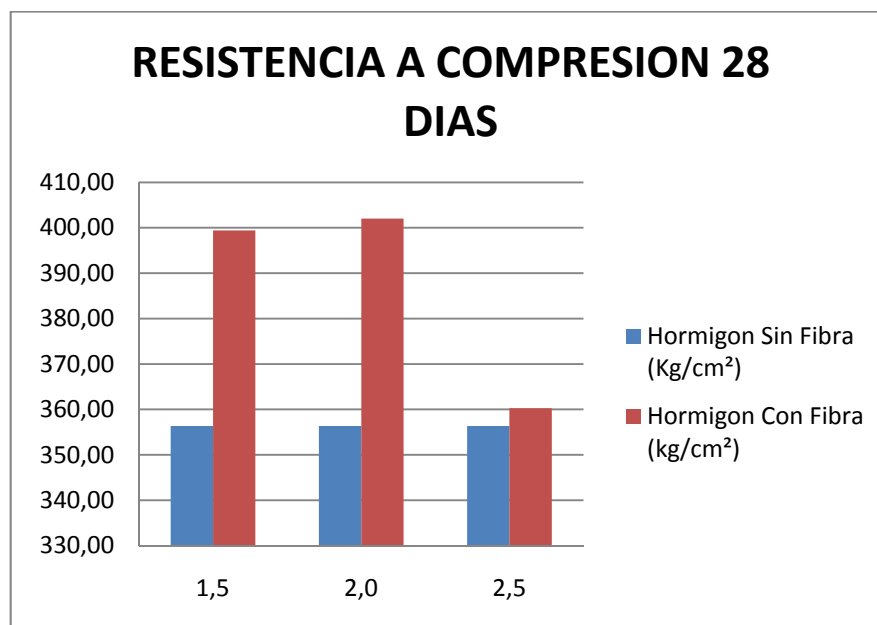


Diagrama 7.8: Resistencia a la Compresión del Hormigón de Guayllabamba a los 28 días  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Al ensayar los cilindros de hormigón a los 28 días se observó un aumento de resistencia a la compresión, recalcando que a los 7 días la resistencia a la compresión ya cumplió con la norma MOP 405-8 y que la resistencia que se obtuvo a los 28 días cumple sin ningún problema con esta norma.

Cantidad de fibra kg/m³	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm²)					RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm²)				
	7 días de Edad					28 días de Edad				
	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin fibra	Con Fibra	% Aumen.	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin fibra	Con Fibra	% Aumen.
1.5	304.49	307.38	301.89	342.39	11.0	367.66	356.36	332.16	408.78	14.71
2.0	312.07			338.85	10.0	365.89			409.28	15.0
2.5	305.59			320.40	4.0	335.53			342.83	0.0

Tabla 7.6: Resumen de las Resistencias a la Compresión del hormigón de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Como se observa en la tabla 7.6, tanto las muestras ensayadas a los 7 y 28 días han aumentado su porcentaje de resistencia desde un 4% hasta 11% y de 0% a 15% respectivamente; esta variación depende de la cantidad de fibra que se ha incorporado al hormigón.

Los hormigones elaborados con material de Pintag presentaron mejores resultados de resistencia a la compresión que los hormigones de Guayllabamba, 400 kg/cm<sup>2</sup> frente a 350 kg/cm<sup>2</sup>, pero que en ambos casos cumplen con las expectativas para esta investigación.

Al momento de ensayar los cilindros, en donde se pudo ver que los cilindros sin fibra fallaban de manera explosiva, y varios pedazos salían expulsados; mientras que los cilindros con fibra, mantenían los pedazos unidos a pesar que la muestra estaba destruida.

A pesar que los cilindros con fibra y sin fibra tuvieron el mismo tipo de falla de corte, los hormigones con fibra después de la falla mantenían su misma figura, a diferencia de los cilindros que no tienen fibra.



Ilustración 3: Diferencia entre un cilindro con y sin fibra después de ser ensayados, se puede notar como el cilindro sin fibra se rompe en varios pedazos mientras que el cilindro con fibra mantiene a los pedazos unidos sin explotar  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

## 7.2.2 Flexión de vigas

### Hormigón Elaborado con Material del Sector de Pintag

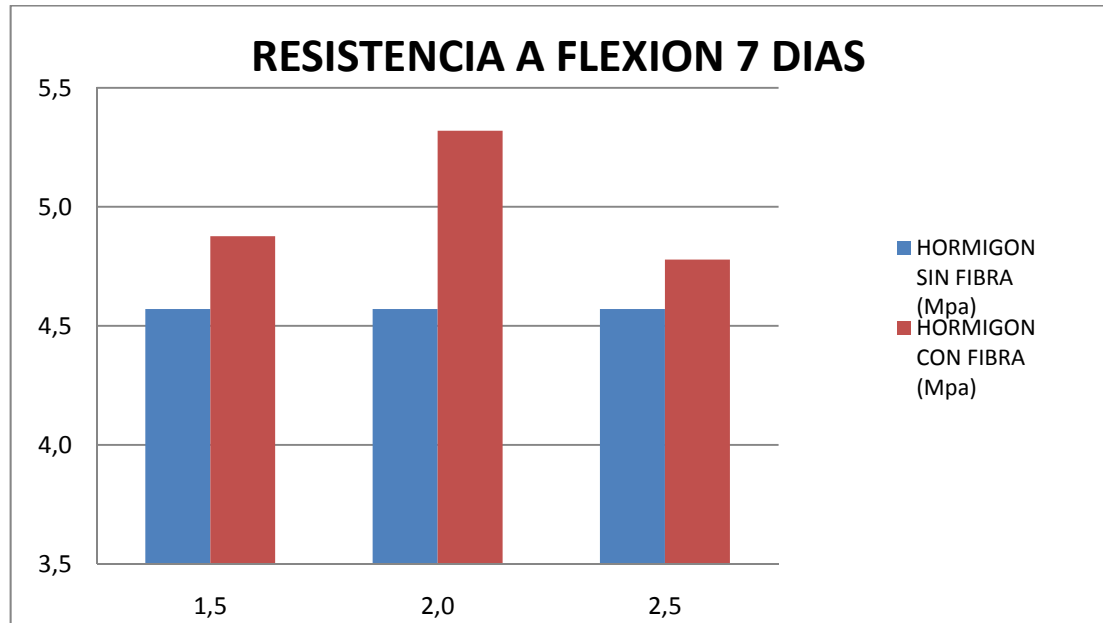


Diagrama 7.9: Resistencia a la flexión en MPa. del Hormigón de Pintag a los 7 días  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Tanto las vigas de hormigón sin fibra como las con fibra, ensayadas a los 7 días de edad, alcanzaron la resistencia para la cual fueron diseñado ( $M_R = 4 \text{ MPa}$ ), y además cumplieron con la Norma MOP 405-8 ( $f'c \geq 4 \text{ MPa}$ ).

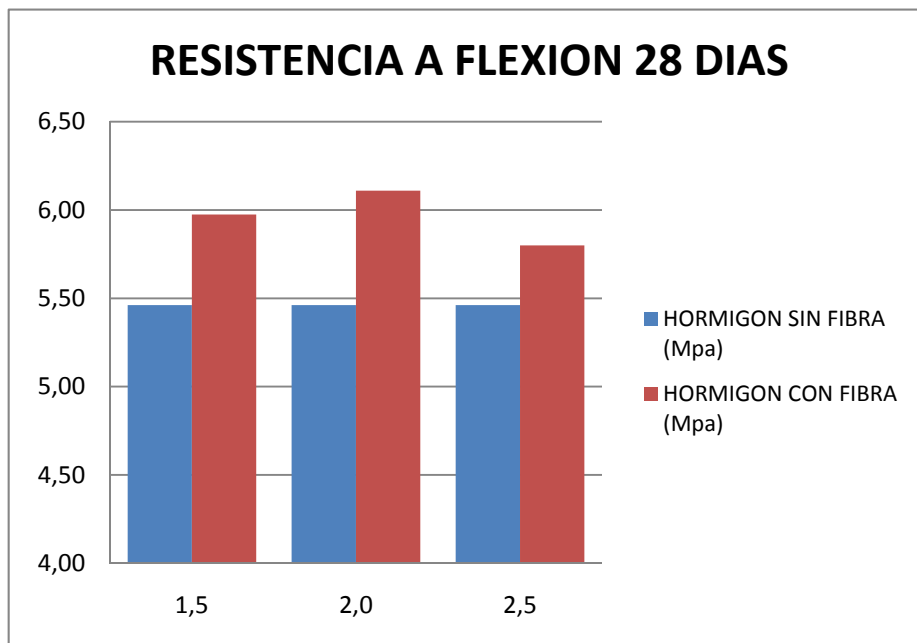


Diagrama 7.10: Resistencia a la flexión en MPa. del Hormigón de Pintag a los 28 días  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

En las vigas de hormigón sin y con fibra ensayadas a los 28 días, se observó un aumento importante de resistencia a la flexión, el mismo que sobrepasa las resistencias propuestas y además cumple con las normas especificadas.

Cantidad de fibra kg/m <sup>3</sup>	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)					RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
	7 días de Edad					28 días de Edad				
	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin fibra	Con Fibra	% Aumen.	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin fibra	Con Fibra	% Aumen.
1.5	4.66	4.57	4.31	4.88	7.0	5.71	5.46	5.17	5.98	9.0
2.0	4.70			5.32	16.0	5.33			6.11	12.0
2.5	4.35			4.78	5.0	5.35			5.80	6.0

Tabla 7.7: Resumen de las resistencias a la Flexión en MPa. del hormigón de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Como se observa en la tabla 7.7, a los 7 días tenemos un aumento de resistencia notable, de 5% hasta 16% y a los 28 días un aumento de 6% hasta un 12%.

### **Hormigón Elaborado con Material del Sector de Guayllabamba**

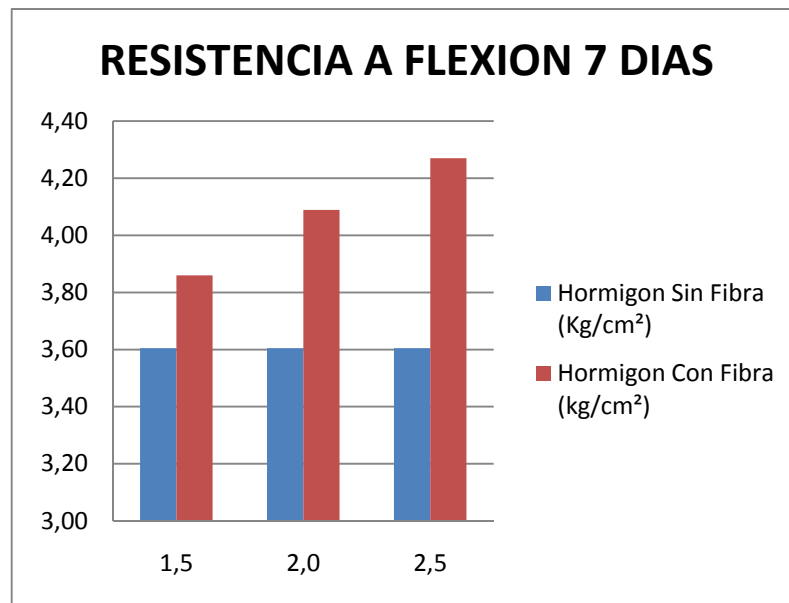


Diagrama 7.11: Resistencia a la flexión en MPa. del Hormigón de Guayllabamba a los 7 días  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Al ensayar las vigas de hormigón a los 7 días de edad se observa que se alcanzó la resistencia para la cual fue diseñado ( $MR = 4 \text{ MPa}$ ), y además esta resistencia de las vigas sin y con fibra, cumplen con la Norma MOP 405-8.

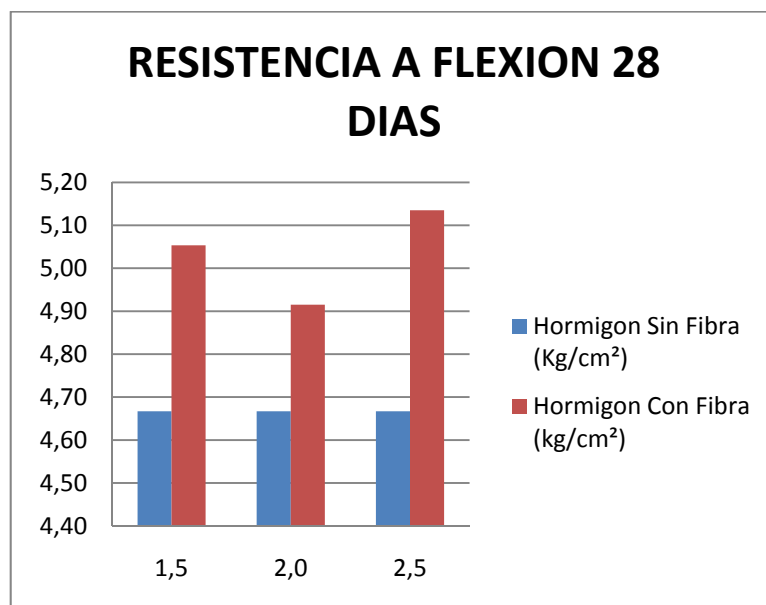


Diagrama 7.12: Resistencia a la flexión en MPa. del Hormigón de Guayllabamba a los 28 días  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Las vigas de hormigón ensayadas a los 28 días de igual forma aumentaron resistencia a la flexión cumpliendo las resistencias especificadas en la norma MOP.

Cantidad de fibra kg/m³	RESISTENCIA A FLEXION (MPa)					RESISTENCIA A FLEXION (MPa)				
	7 días de Edad					28 días de Edad				
	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin fibra	Con Fibra	% Aumen.	Sin Fibra	Prom. sin Fibra	Caract. Sin fibra	Con Fibra	% Aumen.
1.5	3.79	3.60	3.29	3.86	7.0	4.56	4.67	4.44	5.05	8.0
2.0	3.74			4.09	13.0	4.58			4.92	5.0
2.5	3.28			4.27	18.0	4.87			5.14	10.0

Tabla 7.8: Resumen de las resistencias a la Flexión en MPa. del hormigón de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Como se observa en la tabla 7.8, a los 7 días la resistencia aumentó de un 7% hasta un 18%, éste último, es un valor muy significativo puesto que en general

todos los aumentos varían entre un 5% hasta 15% y a los 28 días se dio un aumento de resistencia de 9% hasta un 11%.

Al momento de ensayar las vigas de hormigón sin y con fibra, todas las muestras presentaron su falla en el tercio medio de la viga. Todas las vigas sin fibra al llegar a su falla se rompían y se dividían en dos piezas, mientras que las vigas con fibra al llegar a su falla se quedaban unidas a pesar de haberse roto en dos piezas, con lo cual la fibra ayuda al concreto a soportar deformaciones más allá del alargamiento de la rotura de la matriz y esto es evaluado en los ensayos respectivos para el Índice de tenacidad.



Ilustración 4: Diferencia entre una vigueta con y sin fibra después de ser ensayadas, se puede notar como la vigueta sin fibra se rompe en dos pedazos en la falla mientras que la vigueta con fibra mantiene a los dos pedazos unidos sin separarse

Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Después de verificar los resultados de las resistencias a compresión y flexión (MR) que se obtuvieron en los ensayos, podemos concluir que la adición de la fibra Ruredil RXF54 en diferentes porcentajes de fibra aumentó la resistencia a la compresión y a flexión de los materiales propuestos para esta investigación.

### **7.2.3 Relación entre la resistencia a Compresión y Flexión**

#### **Hormigón sin fibra elaborado con el material de Pintag**

Resistencia a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )		
Flexión	Compresión	% Relación
52.73	367.14	14.36

La relación que hay entre la resistencia a Flexión y Compresión es de 14,36 %, el cual es un valor importante de mencionar porque está dentro de los parámetros recomendados (10% al 15%).

#### **Hormigón sin fibra elaborado con el material de Guayllabamba**

Resistencia a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )		
Flexión	Compresión	% Relación
45.29	332.16	13.63

Como se puede observar, la relación entre la resistencia a flexión y compresión es de 13.63 %, el cual está dentro de los parámetros de 10% al 15%, y es un valor admisible.

Después de comparar los valores de resistencia a la compresión y flexión con la resistencia característica, podemos verificar que todos los datos de resistencia son muy cercanos a este valor característico, por lo cual todos los hormigones que se produjeron en el laboratorio, son de buena calidad.

### ***7.3 Retracción y Fisuramiento***

En la preparación y moldeo de las muestras, se tomaron en cuenta todas las precauciones indicadas en las normas ASTM C31 y ASTM C192.

Después de transcurrir 24 horas de la colocación del hormigón en los moldes, se procedió a desencofrar las muestras y se eligió aleatoriamente dos viguetas de una misma parada, una sin y la otra con fibra. Se procedió a identificar fisuras visualmente en una de las caras de la vigueta (la misma cara en las dos probetas) y de esta manera evidenciar la acción de la fibra RXF54.



Ilustración 7.3: Fisuramiento por retracción plástica en las superficies de las viguetas con y sin fibra  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

En la cara de la vigueta, se pudo ver que en la probeta con fibra no se encontró ningún tipo de fisura, mientras que en la probeta sin fibra se consiguió identificar 3 fisuras en toda el área de la cara de la vigueta (550x150mm.).

Por lo tanto podemos observar que las fibras, absorben en un gran porcentaje, las deformaciones por retracción, es decir las tensiones de tracción, que generan fisuras. Con lo cual a diferencia del refuerzo estructural, las fibras proporcionan beneficios mientras el hormigón está aún en estado plástico.

La fibra cumple un papel fundamental al momento que se desarrollan fisuras en el hormigón, es decir que, si después que sucede la retracción plástica, se crean microfisuras en el hormigón, estas fisuras pueden transformarse en grietas cada

vez más anchas y largas, en donde la fibra podrá actuar interrumpiendo la evolución y formación de grietas más grandes.

Esto permitirá que el hormigón endurezca y llegue a su resistencia total sin grietas o fisuras las cuales reducen su integridad y debilitan a la estructura, con lo cual tendremos una estructura con pocos defectos de nacimiento.



Ilustración 7.4: Ensayo de flexión a una vigueta sin fibra, cuando falla se parte en dos pedazos

Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 7.5: Ensayo de flexión a una vigueta con fibra, cuando falla la vigueta, las fibras mantienen unidas las partes del hormigón y no dejan que la fisura evolucione  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 7.6: Diferencia entre una vigueta sin fibra y otra con fibra, las fibras mantienen unidas las secciones de hormigón que están partidas  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

## 7.4 Módulo de Elasticidad

La fórmula para calcular el módulo de elasticidad de un hormigón dada por el ACI es de  $15100 \sqrt[3]{f_c}$ ; la cual es teórica, y se basa en agregados estrictamente seleccionados. El valor de 15100 corresponde al coeficiente alfa.

### Hormigón elaborado con material del sector Pintag

Hormigón Sin Fibra			
	F`c (kg/cm <sup>2</sup> )	Coeficiente Alfa	Módulo kg/cm <sup>2</sup>
Promedio	400	13,099.4	275,212.6

Tabla 7.9: Resumen del Módulo de Elasticidad del hormigón elaborado sin fibra con los materiales de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Hormigón Con Fibra			
f`c (kg/cm <sup>2</sup> )	% Fibra	Módulo kg/cm <sup>2</sup>	Coeficiente Alfa
414	1.5	276,401.4	13,091.1
467	2.0	313,694.5	14,756.7
455	2.5	296,408.9	13,485.2

Tabla 7.10: Resumen del Módulo de Elasticidad del hormigón elaborado con fibra con los materiales de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

En la tabla 37 y 38, los valores del coeficiente alfa varían entre 13000 y 14700 aproximadamente, los cuales son valores cercanos al valor de 15100, y esto se debe a las buenas propiedades de los agregados, y por lo tanto los valores de modulo de elasticidad son aceptables.

### **Hormigón elaborado con material del sector Guayllabamba**

Hormigón Sin Fibra			
	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente Alfa	Módulo kg/cm <sup>2</sup>
Promedio	350	9,942.2	198,763.0

Tabla 7.11: Resumen del Módulo de Elasticidad del hormigón elaborado sin fibra con los materiales de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Hormigón Con Fibra			
F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% Fibra	Módulo kg/cm <sup>2</sup>	Coefficiente Alfa
399	1.5	213,101.1	10,675.4
402	2.0	198,665.3	9,797.2
360	2.5	207,444.8	10,622.1

Tabla 7.12: Resumen del Módulo de Elasticidad del hormigón elaborado con fibra con los materiales de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Los valores de coeficiente alfa de las tablas 39 y 40 varían entre 9900 y 10600, siendo valores bajos y no cercanos al 15100, debido a las propiedades de los agregados, que no son de tan buena calidad. Sin embargo, los valores de modulo de elasticidad son aceptables.

### ***7.5 Determinación del Porcentaje Óptimo de fibra***

El porcentaje óptimo de fibra RXF54 para las muestras de hormigón utilizando materiales de Pintag y Guayllabamba es de 1.5 Kg/m<sup>3</sup>. Este porcentaje coincidió después de analizar los resultados de los ensayos realizados a las viguetas de los materiales de las dos canteras.

Los resultados del módulo de rotura de las muestras son similares entre los distintos porcentajes de fibra; estos valores varían solo en decimales, pero que, en

comparación con la cantidad de fibra las proporciones varían en 0.5 kg/m<sup>3</sup>, con lo cual si no hay mucha diferencia entre los MR, si hay con las proporciones de fibra. A continuación se presenta unas tablas en las que se verifica el porcentaje óptimo de fibra para las dos canteras:

**Muestras de Pintag**

<b>MÓDULO DE ROTURA DE LAS MUESTRAS DE PINTAG (MPa)</b>			
<b>SIN FIBRA</b>	<b>PROMEDIO SIN FIBRA</b>	<b>CANTIDAD FIBRA</b>	<b>CON FIBRA</b>
5.71	5.46	1.5 kg/m <sup>3</sup>	5.98
5.33		2.0 kg/m <sup>3</sup>	6.11
5.35		2.5 kg/m <sup>3</sup>	5.80

Tabla 7.13: Cantidad Óptima de fibra RXF54 para materiales de la cantera de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

### Muestras de Guayllabamba

<b>MÓDULO DE ROTURA DE LAS MUESTRAS DE GUAYLLABAMBA (MPa)</b>			
<b>SIN FIBRA</b>	<b>PROMEDIO SIN FIBRA</b>	<b>CANTIDAD FIBRA</b>	<b>CON FIBRA</b>
4.56	4.67	1.5 kg/m <sup>3</sup>	5.05
4.58		2.0 kg/m <sup>3</sup>	4.92
4.87		2.5 kg/m <sup>3</sup>	5.14

Tabla 7.14: Cantidad Óptima de fibra RXF54 para materiales de la cantera de Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Este porcentaje nos reveló que no necesariamente aumentar la cantidad de fibra, puede aumentar la resistencia de las muestras, sin olvidar que el porcentaje óptimo es el que presenta los mejores resultados de resistencia (MR) con el menor porcentaje de fibra lo cual se refleja en el costo de la fibra.

## **7.6 Diseño del peralte del pavimento rígido sin fibras y con fibras**

Tomando en cuenta, las especificaciones del ACI y PCA, se pudo estar al tanto, que no existe ningún método por el cual se pueda diseñar pavimentos rígidos con la inclusión de fibras sintéticas estructurales.

En cuanto a las Normas MOP, tampoco se habla de losas de hormigón con fibras. Además no existen especificaciones acerca del dimensionamiento del peralte de la losa de hormigón, lo cual queda a criterio del ingeniero o diseñador, y este criterio deberá contar con recomendaciones de peraltes mínimos sustentados con ensayos de laboratorio.

A pesar de esto, hay una referencia donde se hace algunas recomendaciones del uso de fibras en el hormigón en el ACI 544.4R, y además existen documentos técnicos que emite el ACI donde se realizan ensayos y estudios; uno de estos estudios analiza los Efectos de la fibra sintética en el comportamiento de losas de hormigón sobre suelo. ("Effect of Synthetic Fibers on Structural Behavior of Concrete Slabs-on-Ground")

A continuación se presentan los valores de modulo de rotura que se utilizaron para el diseño de las losas de hormigón del pavimento rígido.

Material	Muestras Ensayadas	% Óptimo (Kg/m3)	MR (MPa.)	% Aumento
Pintag	Sin Fibra	-	5.46	9.52
	Con Fibra	1.5	5.98	
Guayllabamba	Sin Fibra	-	4.67	8.35
	Con Fibra	1.5	5.06	

Tabla 7.15: Resumen de los MR de diseño de las muestras ensayadas de Pintag Y Guayllabamba, referencia en Tablas 7.14 y 7.15  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Se puede notar que el módulo de rotura, aumento en los muestras de las 2 canteras; en Pintag aumento en un 9.52% y en Guayllabamba un 8.35%, con lo cual el peralte de las losas variaron debido a su Módulo de Rotura.

### **Diseño por el método de la PCA para Pintag**

El primer diseño para Pintag, es una losa sin la adición de fibras, la misma que dio como resultado un peralte de 250 mm, con un MR de 5.46 MPa.

DISEÑO PCA					
Peralte(mm)	MR (MPa)	% Erosión	% Fatiga	% Recomen.	Tipo hormigón
250	5.46	85.38	0.00	35-85	Sin Fibra

Tabla 7.16: Diseño del peralte de una losa de hormigón sin fibra por el Método de la PCA, con materiales de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

En cuanto a los porcentajes de Fatiga y Erosión; el porcentaje de fatiga es igual a 0.00% esto quiere decir que la losa no va a sufrir ningún esfuerzo de fatiga a causa de las cargas repetitivas del tránsito, además al estar este porcentaje por debajo de los límites, es decir menor del 35%, quiere decir que la losa está sobredimensionada en cuanto al porcentaje de fatiga, pero hay que tomar en cuenta el porcentaje de erosión dio un porcentaje 85.38%, el cual nos indica que la

losa está resistiendo a la erosión, y está en los límites propuestos por el método de la PCA. Concluyendo que este diseño fue aceptable para esta investigación.

<b>DISEÑO PCA</b>					
<b>Peralte(mm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>% Erosión</b>	<b>% Fatiga</b>	<b>% Recomen.</b>	<b>Tipo hormigón</b>
210	5.46	167.93	15.64	35-85	Sin Fibra

Tabla 7.17: Diseño del peralte de una losa de hormigón sin fibra por el Método de la PCA, con materiales de Pintag  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Se realizó un segundo diseño de una losa con material de Pintag, con el mismo MR de 5.46 MPa. pero en donde se disminuyó el peralte de 250 mm. a 210 mm., lo cual hizo que el porcentaje de fatiga aumente de 0.00% a un 15.64%; porcentaje que todavía se encuentra por debajo del límite inferior pero que nos indica que la losa está empezando a trabajar por los esfuerzos de fatiga.

A pesar que este porcentaje de fatiga nos indica que la losa puede resistir grandes esfuerzos, el porcentaje de erosión aumento de 85% a 167.93% y sobrepaso el límite indicado por la PCA, con lo cual este diseño no es correcto por los porcentajes deben estar dentro de los límites, con lo cual este diseño es rechazado.

<b>DISEÑO PCA</b>					
<b>Peralte(mm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>% Erosión</b>	<b>% Fatiga</b>	<b>% Recomen.</b>	<b>Tipo hormigón</b>
200	5.98	474.32	10.95	35-85	Con Fibra

Tabla 7.18: Diseño del peralte de una losa de hormigón sin fibra, por el Método de la PCA, con materiales de Pintag y donde además se disminuyó el peralte hasta que solo el factor de fatiga cumpla  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

A pesar que el método de la PCA, no sirve para realizar diseños de losas con fibra sintética, se realizó un último diseño como ejemplo, en el que se ingreso el MR del hormigón con fibra el cual es igual a 5.98 MPa. (mayor en un 9.52% al MR sin fibra de 5.46%), el mismo que permitió disminuir el peralte de la losa a 200 mm. de 210 mm. y de 250 mm., y en donde se obtuvo un porcentaje de fatiga de 10.95% menor que el de la losa de 210 mm. Con lo cual podemos concluir que el porcentaje de fatiga depende directamente del MR, el cual si es mejorado con la introducción de fibra RXF54. Pero como ya lo mencionamos, el método de la PCA no sirve para losas con la adición de fibras y esto ya se lo puede apreciar en el porcentaje de erosión el mismo que aumentó de sobremanera a 474.32%, el mismo que está muy por encima del límite permitido.

### **Diseño Ruredil**

La fibra RXF54, es un producto que la empresa Ruredil está lanzando al mercado de la construcción. Para hacer esto, los fabricantes realizaron todos los estudios pertinentes para confiar que su producto, pueda ser utilizado en los hormigones, más aún en losas, con lo cual desarrollaron un programa, que solo servirá para su producto es decir es un programa creado solo para la Fibra Sintética Estructural Ruredil RXF54.

En la ficha técnica del producto se pudo encontrar información, en la que se da a conocer propiedades mecánicas del hormigón con RXF 54, y en estas se menciona que para la determinación de las propiedades mecánicas del hormigón preparado con RXF 54 se realizaron una serie de pruebas en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de Ruredil, en las que se hace referencia a normas ASTM y Francesas;

las mismas que estudian diferentes características del hormigón para losas. De estas pruebas podemos mencionar las siguientes:

- Carga/deformación e índices de tenacidad según ASTM C1018
- Tenacidad sobre placa, de acuerdo a las normas del ferrocarril francés SNCF
- Resistencia al impacto, según método ACI 544

Con estos antecedentes, se recurrió al representante de Ruredil en Ecuador, para realizar el diseño de una losa para un pavimento rígido con el programa de la Fibra RXF54.

Para el diseño de la losa, lo que se indicó al fabricante, fue que después de hacer todos los ensayos de flexión con los distintos porcentajes de fibra, se encontró que el porcentaje óptimo de fibra en función el MR (Módulo de Rotura) para nuestros diseños de hormigón fue de 1.5 Kg/m<sup>3</sup>., además se obtuvo la resistencia f'c de los hormigones tipo, ya que lo que se quiere es ingresar los datos más aproximados o cercanos a lo que se tuvo en los ensayos.

Con estos datos, se ingreso al programa y se procedió a identificar el peralte que corresponde al porcentaje óptimo de fibra que se eligió y se obtuvieron los siguientes resultados:

<b>RESULTADOS DEL DISEÑO CON EL PROGRAMA RUREDIL PARA RXF54</b>			
<b>PINTAG</b>		<b>GUAYLLABAMBA</b>	
<b>Clase Hormigón (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	400	<b>Clase Hormigón (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	350
<b>Módulo Young del terreno (Kgf/cm):</b>	8	<b>Módulo Young del terreno (Kgf/cm):</b>	8
<b>Espesor (cm)</b>	16	<b>Espesor (cm)</b>	17
<b>% Óptimo de fibras (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1.5	<b>% Óptimo de fibras (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1.5

Tabla 7.19: Diseño del peralte de una losa de hormigón con fibra, mediante el programa Ruredil RXF54 con materiales de Pintag y Guayllabamba  
Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Se obtuvieron resultados muy diferentes a los diseños por el método de la PCA, aunque no se puede comparar estos dos diseños ya que se manejan teorías y tratados diferentes, si se puede notar que los peraltes de la losa son muchos menores, en el caso de Pintag, con de 250mm. se disminuye a 160mm., y en Guayllabamba de 260mm. a 170mm.; se está reduciendo aproximadamente 90mm.

En los dos casos, la disminución de peralte repercute en el valor final de la construcción de una losa de hormigón ya que se está reduciendo cantidades de M3. de hormigón incorporando Kg. de fibra sintética estructural.

A continuación se presenta en la Tabla 7.20, un resumen de los diseños realizados con los materiales de Pintag y Guayllabamba; donde se presentan los dos diseños, el primero es un diseño normal realizado con el método de la PCA sin la adición de fibras, él mismo que cumple con los porcentajes de fatiga y erosión. El segundo, es un diseño realizado con el programa de Ruredil para la fibra RXF54 el mismo que cumple con todos los datos que necesita el programa.

RESUMEN DE DISEÑOS								
DESCRIPCION Y METODO	CALIFICACION	DATOS REFERENCIALES	PERALTE (mm)	RESISTENCIA UTILIZADA	% OPTIMO DE FIBRA	OBSERVACIONES	DIFERENCIA DE PERALTE (mm)	PORCENTAJE DE REDUCCION DE PERALTE (%)
<b>PINTAG</b>								
PCA / Sin Fibra / Pintag	OK	MR = 5.46 MPa. Kcombinado = 80 MPa/m	250	Modulo de Rotura	Sin Fibra	Cumple con Factor de Fatiga y Erosión	90	36
Ruredil RXF54 / Pintag	OK	f'c = 400 Kg/cm <sup>2</sup> Módulo Young del terreno = 8 Kgf/cm	160	f'c	1.5 Kg/m <sup>3</sup>	Realizado en el programa de Ruredil para la fibra RXF54		
<b>GUAYLLABAMBA</b>								
PCA / Sin Fibra / Guayllabamba	OK	MR = 4.67 MPa. Kcombinado = 80 MPa/m	260	Modulo de Rotura	Sin Fibra	Cumple con Factor de Fatiga y Erosión	90	35
Ruredil RXF54 / Guayllabamba	OK	f'c = 350 Kg/cm <sup>2</sup> Módulo Young del terreno = 8 Kgf/cm	170	f'c	1.5 Kg/m <sup>3</sup>	Realizado en el programa de Ruredil para la fibra RXF54		

Tabla 7.20: Resumen de los diseños realizados con los métodos de la PCA y Ruredil RXF54, donde se diferencia los peraltes de la losa de las canteras de Pintag y Guayllabamba

Elaborado por: Miguel Rivera y José Sosa

Cada diseño (PCA y RUREDIL) manejan diferentes teorías y fundamentos, con lo cual, no se puede comparar entre estos diseños; el módulo de rotura (PCA) con la resistencia a la compresión (RUREDIL).

A pesar de esto, se procedió a calcular la diferencia de peralte entre los dos diseños; en el caso de Pintag existe una reducción de 90 mm. de peralte y en Guayllabamba un valor igual, los mismos que corresponden a un porcentaje de reducción de 36 % y 35 % respectivamente.

Después de analizar estos resultados es muy notable la reducción del peralte de la losa teniendo las mismas características, con lo cual es importante indicar y recomendar a futuro el desarrollo de más investigaciones y ensayos que permitan desarrollar un teoría propia, con la que se pueda diseñar losas y pavimentos con la inclusión de fibras sintéticas, metálicas, etc. en el hormigón, teniendo en cuenta todas las normas Internacionales ASTM, ACI y Códigos Ecuatorianos.

## **7.7 Deterioro físico de un pavimento rígido y losas de parqueaderos que tienen fibras en su interior**

Después de realizar varias visitas a diferentes lugares donde se tomaron varias fotografías de las losas de hormigón de los pavimentos rígidos, parqueaderos y pisos industriales se pudo notar que:

Hasta el momento no existen losas de hormigón de pavimentos rígidos que hagan uso de algún tipo de fibra. A pesar de esto se visitó algunos proyectos donde se pudo constatar que la superficie de estos pavimentos presenta algunas fisuras al parecer superficiales y en algunos tramos baches que puedan generar daños

considerables en la losa a futuro. También se pudo identificar daños en las juntas de las losas, en donde al parecer se producen asentamientos y despedazamiento de las esquinas.

Esta conclusión solo hace referencia a un tramo de pavimento rígido que va desde el redondel del sector Miraflores pasando por la Av. Rodrigo de Chávez hasta la Av. Cóndor Ñan.

La superficie de las losas al igual presenta un desgaste normal, ya que al ser vías muy transitadas es común encontrar estos deterioros.



Ilustración 7.7: Daños en las juntas de los pavimentos rígidos  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 7.8: Desgaste normal de un pavimento rígido aparición de pequeños baches  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

El caso de los pisos industriales y parqueaderos es diferente, se pudo encontrar algunos proyectos en los que ya se ha utilizado la fibra RXF54 en el hormigón.

Hay que indicar que la fibra RXF54 solo fue introducida en el hormigón de los contrapisos, porque el diseño del programa de Ruredil RXF54 solo se usa para pisos industriales y losas de contrapiso y no para entrelosas, donde su diseño y sus parámetros son diferentes.

En los parqueaderos del Condado Shopping, primeramente se pudo apreciar que después de dos años de funcionamiento, la situación general de los pisos es de un buen estado, no hay grandes fisuras o grietas; en los contrapisos no se han producido filtraciones y las superficies son planas, es decir no hay asentamientos.

Se pudo notar algunas diferencias entre los pisos de los parqueaderos con y sin fibra. A simple vista, en los pisos con fibra se notó que hay menos fisuras que los pisos sin fibras. Este aspecto solo es evaluado de forma visual, ya que son áreas muy grandes y no fue posible cuantificar un número específico de fisuras.

Además las fisuras de los pisos sin fibras son más las largas y anchas a diferencia que las fisuras de los pisos con fibras y esto se explica con la acción que tienen las fibras al absorber las micro tensiones por tracción e impedir que estas pequeñas fisuras sigan propagándose o incrementando.



Ilustración 7.9: Parqueadero del Condado Shopping con fibra RXF54, identificación de pequeñas fisuras

Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 7.10: Parqueadero del Condado Shopping sin fibra RXF54, identificación de fisuras de gran longitud  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Las superficies son iguales en los dos casos y el desgaste es uniforme por todas las áreas, se pudo notar también que en los dos tipos de pisos había daños en los sifones y rejillas, las cuales se deben por las cargas de los automóviles y cuando no son bien realizados los filos de estas instalaciones.



Ilustración 7.11: Daños en las esquinas de elementos del parqueadero  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Los parqueaderos de las instalaciones de los Supercines, están en muy buenas condiciones. Su construcción se terminó hace seis meses aproximadamente, y esto explica que el desgaste de la superficie sea imperceptible. Se pudo notar una mínima cantidad de fisuras en la entrelosa, en la misma que no se agregó fibra y en el contrapiso no se encontró fisuras a lo largo y ancho de toda su área, con lo cual podemos decir que el uso de la fibra y la práctica correcta de procedimientos de curado pueden dar como resultados superficies planas sin fisuras.



Ilustración 7.12: Parqueadero Supercines  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

A diferencia de los parqueaderos del Condado Shopping, las distancias entre juntas de los Supercines, son más pequeñas, por lo cual se tenían áreas entre juntas más pequeñas, y así menos área libre donde propaguen las fisuras, ya que las juntas absorben esfuerzos de tensión del hormigón.



Ilustración 7.13: Parqueadero de Supercines con fibra RXF54, losas en perfectas condiciones  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 7.14: Parqueadero de Supercines con fibra RXF54, trazado de las juntas  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa



Ilustración 7.15: Identificación en las losas de entrapiso, Supercines  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Las losas de entrapiso de los Supercines, al igual que en condado Shopping, presentan una cantidad mayor de fisuras que las losas de contrapiso, provocadas por la retracción plástica del hormigón, curado, etc. El diseño de una losa de entrapiso es totalmente diferente a una de un contrapiso, y además la inclusión de fibra en los contrapisos mejora la capacidad del hormigón para absorber estas fisuras, por lo cual se tenían mejores resultados en los contrapisos.

### **7.8 Determinar la mejor opción de costo por kilómetro de vía construida**

Para la estimación de costos que se realizó con los precios finales del hormigón por metro cúbico, se observó que hay una notable disminución de costos por kilómetro de vía como se indica en las siguientes tablas:

**Hormigoneras que utilizan material del sector de Pintag**

Hormigonera	Costos (Usd.)				Porcentaje de Disminución (Usd.)
	Hormigón $f'c=400$ kg/cm <sup>2</sup>	Sin Fibra PCA	Con Fibra Ruredil	Diferencia Costos (Usd.)	
		Peralte (mm.)			
		250	160		
Del Valle	112.00	201600.00	173952.00	27648.00	14.0
Equinoccial	130.00	234000.00	194688.00	39312.00	17.0

Tabla 7.21: Costo de 1 Km. de pavimento rígido con materiales de Pintag  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Método PCA		Método Ruredil		Diferencia de Volumen (m <sup>3</sup> )
Sin Fibra		Con Fibra		
Peralte (mm)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Peralte (mm)	Vol. (m <sup>3</sup> )	
250	1800	160	1152	648

Tabla 7.22: Diferencia de peralte y volumen de hormigón entre los dos diseños PCA y Ruredil. Materiales de Pintag  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

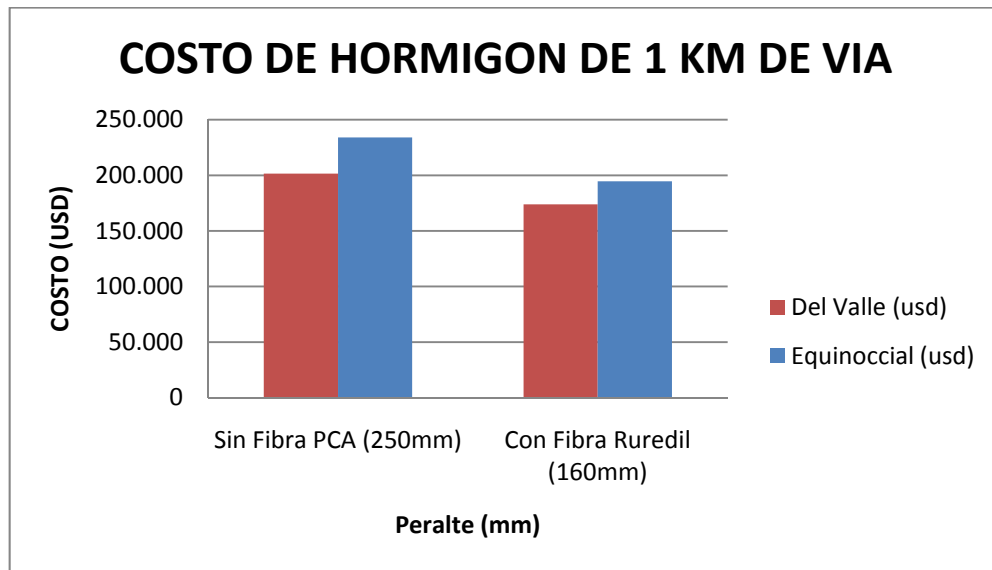


Diagrama 7.13: Costo de 1 Km. de vía entre los dos diseños PCA y Ruredil. Materiales de Pintag  
 Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Como se observa en la Tabla 7.21, hay una disminución de costos en un 14% y 17% de la hormigonera del Valle y Equinoccial respectivamente. Esta disminución se debe a que se redujo el volumen del hormigón (648 m<sup>3</sup>) por kilómetro de vía de pavimento rígido, debido a la disminución del peralte, en un valor de 9 cm (90mm), lo que hace que se disminuya el costo total del hormigón con fibra con respecto al costo total del hormigón sin fibra, recalcando que este costo total del hormigón con fibra ya toma en cuenta el costo de la fibra.

### Hormigoneras que utilizan material del sector de Guayllabamba

Hormigonera	Costos (Usd.)				Porcentaje de Disminución (Usd.)
	Hormigón $f'c=350$ kg/cm <sup>2</sup>	Sin Fibra PCA	Con Fibra Ruredil	Diferencia Costos (Usd.)	
		Peralte (mm.)			
		260	170		
Holcim	116.00	217,152.00	189,720.00	27,432.00	13.0
Metrohorm	116.00	217,152.00	189,720.00	27,432.00	13.0
Mezclalista	115.00	215,280.00	188,496.00	26,784.00	12.0
Quito	112.00	209,664.00	184,824.00	24,840.00	12.0

Tabla 7.23: Costo de 1 Km. de pavimento rígido con materiales de Guayllabamba  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Método PCA		Método Ruredil		Diferencia de Volumen (m <sup>3</sup> )
Sin Fibra		Con Fibra		
Peralte (mm)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Peralte (mm)	Vol. (m <sup>3</sup> )	
260	1872	170	1224	648

Tabla 7.24: Diferencia de peralte y volumen de hormigón entre los dos diseños PCA y Ruredil. Materiales de Guayllabamba  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

En el caso de Guayllabamba hay una disminución de costos en un 13% y 12% en las hormigoneras Holcim, Metrohorm y Mezclalista, Quito, respectivamente.

Se redujo el volumen del hormigón (648 m<sup>3</sup>) por kilómetro de vía del pavimento rígido, ya que su peralte disminuyó 9 cm (90mm), lo que hace que se disminuya el costo total del hormigón con fibra con respecto del hormigón sin fibra, recalcando que este costo total del hormigón con fibra ya toma en cuenta el costo de la fibra.

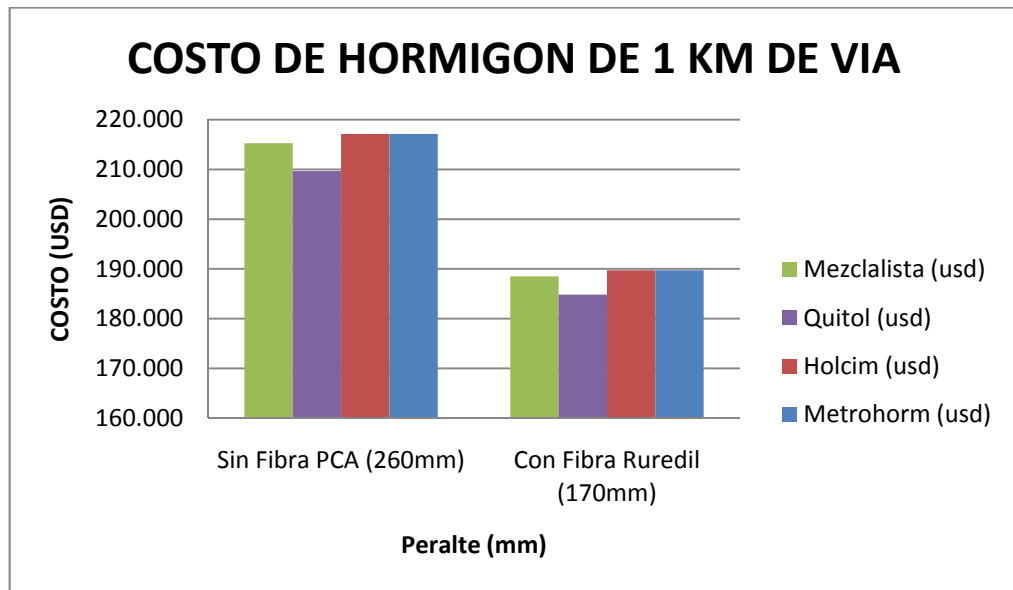


Diagrama 7.14: Costo de 1 Km. de vía entre los dos diseños PCA y Ruredil. Materiales de Guayllabamba  
Fuente: Miguel Rivera y José Sosa

Al verificar que hubo una disminución de costos al utilizar hormigones fibroreforzados, se está demostrando que la utilización de fibra sintética puede ser una alternativa para nuevos diseños de pavimentos de hormigón y además se puede ver que estos diseños repercuten en el valor final del proyecto, con lo cual si se está mejorando las características mecánicas del hormigón y a la vez se presentan diseños más económicos, pueden ser alternativas viables que deben tomar en cuenta los constructores y en general el Ministerio de Obras Públicas, ya que esta entidad gubernamental es la encargada de las obras viales del país.

## 7.9 RECOMENDACIONES

Después de realizar toda la investigación se pudo analizar toda la información y además de las conclusiones se pudo llegar a las siguientes recomendaciones:

La presente investigación, solo estudia el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento rígido, particularmente se analizó la compresión y la flexión de las muestras de hormigón y se realizó un diseño de un pavimento en el que solo se analizó, el peralte de la losa de hormigón en donde los datos base del pavimento fueron recomendados por el director de la investigación.

Por lo tanto, al verificar que estas mejoras se cumplieron, y además en los ejemplos de los diseños se pudo disminuir los peraltes; recomendamos que se sigan realizando más investigaciones y estudios, principalmente para los diseños de los elementos estructurales que están compuestos de hormigón con la adición de fibra.

En primer lugar se debería hacer estudios más exhaustivos con la fibra, ya que al menos en el Ecuador no hay normas nacionales que hagan referencia al uso de fibras, más aún ensayos propios que permitan medir su resistencia y su acción en el hormigón. Existen ensayos de hormigones con fibras que, no solo miden su resistencia hasta la falla del hormigón, sino que se mide también la resistencia residual de la fibra como componente del hormigón.

Todos estos estudios permitirán desarrollar diseños propios de elementos y pavimentos rígidos; ya que como se indicó anteriormente, el diseño que se realizó para una losa de hormigón con fibra, fue gracias al programa del fabricante de la fibra, el cual se basa en otras normas y especificaciones, las mismas que son

normas internacionales (ACI, ASTM, AASTHO, etc.), pero que no existen normas particulares para estos temas y solo se encuentran documentos técnicos.

Vale indicar que el programa Ruredil RXF54 solo sirve para sus productos, específicamente la fibra RXF54, con lo cual ningún otro producto va a tener las mismas relaciones y resultados.

Para mejorar futuras investigaciones, se recomienda realizar también, ensayos en los que se pueda representar de una forma más real a la losa de un pavimento rígido con fibra y las cargas de los automóviles.

Lamentablemente, no se pudo encontrar obras en las que se esté aplicando fibras en las losas de hormigón de un pavimento rígido, debido a que son tecnologías nuevas y muy recientes en el Ecuador, y además que son pocos los fabricantes que tienen este producto y solo ellos manejan sus programas de diseño de losas y pisos industriales.

Todas las resistencias que se obtuvieron, fueron realizadas con dosificaciones de hormigón en las que no se toma en cuenta la incorporación de aditivos, como reductores de agua, superplastificantes, etc., todo esto, con el fin de medir la mejora de la resistencia a compresión y flexión del hormigón con fibra. Es por esto que se deberían también realizar ensayos en los que se incluyan además de la fibra aditivos químicos, esto con el fin de seguir evaluando el comportamiento de la fibra con otros químicos, etc.

Se recomienda también, realizar los mismos ensayos con otros materiales que se encuentran en el Ecuador y así evaluar a cada material, ya que si se quiere tener resultados lo mas aproximados a la realidad, se debe analizar cada material.

Siempre que se utilicen aditivos o materiales compuestos, los cuales van a ser incluidos en las mezclas de hormigón, debe conocerse todas las características de sus componentes, así también como su utilización y seguir al pie de la letra todas las instrucciones y recomendaciones que hace el fabricante, ya que muchas veces se toman decisiones incorrectas al ver que el material no actúa de la forma esperada y esto puede traer consigo graves problemas, los cuales pueden ser irremediables.

## **CAPITULO VIII**

### **8. ANEXOS**

#### **8.1 ANEXO A: Ensayos de Materiales**

# **PINTAG**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José      **CANTERA:** Pintag  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 1 plg.      NORMA : ASTM C136  
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO: 1 1/2 plg

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES SEGÚN EL TAMAÑO	
						Min	Max
4"	100,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
3 1/2"	90,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
3"	75,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
2"	50,80	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,40	1216	1216	8,33	91,67	95,00	100,00
3/4"	19,00	2392	3608	24,70	75,30	61,40	80,80
1/2"	12,70	4968	8576	58,72	41,28	25,00	60,00
3/8"	9,51	3172	11748	80,43	19,57	15,32	40,65
No.4	4,76	2090	13838	94,74	5,26	0,00	10,00
No.8	2,36	0	13838	94,74	5,26	0,00	5,00
No.16	1,18	0	13838	100,00	0,00	0,00	0,00
No.50	0,30	0	13838	100,00	0,00	0,00	0,00
Pasa No. 8		768	768				
SUMA		14606	14606				

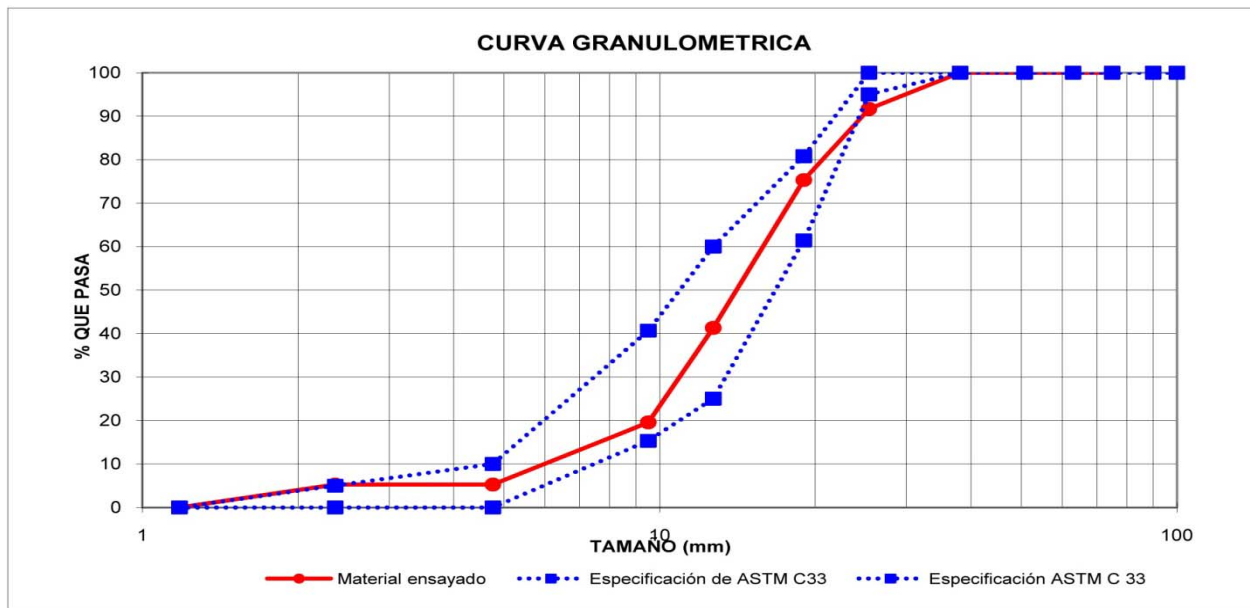
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES

OBRA: Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
ENSAYADO POR: Rivera Miguel y Sosa José  
CALCULADO POR: Rivera Miguel y Sosa José

APROBADO POR: Ing. Gustavo Yáñez

CANTERA: Pintag

GRAFICO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José      **CANTERA:** Pintag

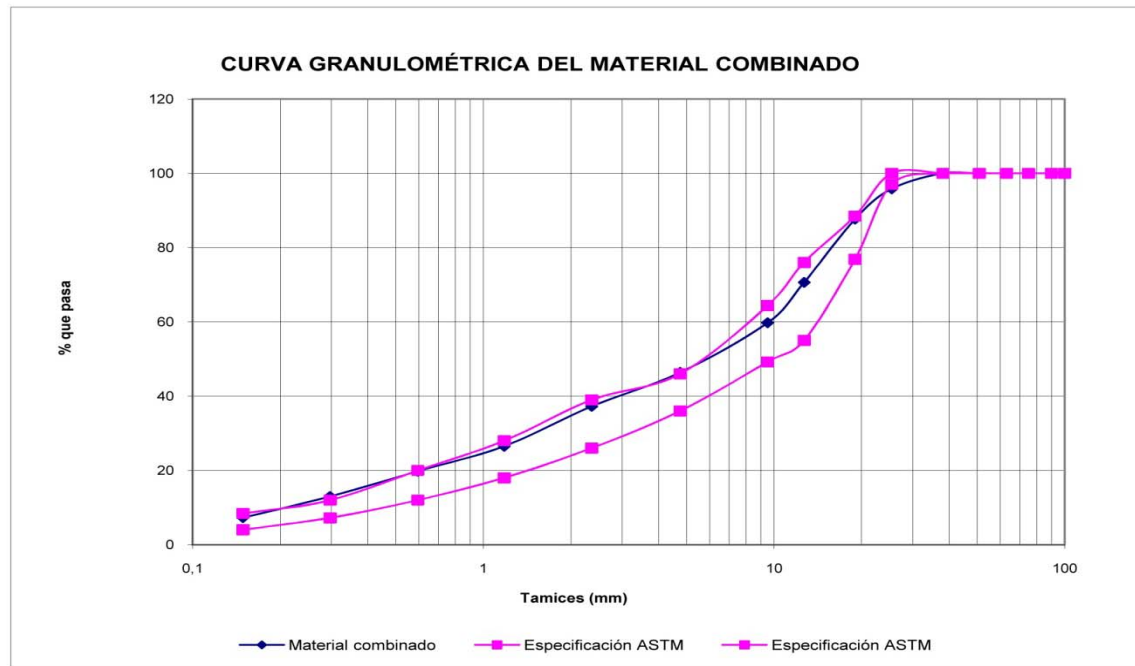
**COMBINACION DE MATERIALES AGRAGADO GRUESO Y FINO**

COMBINACIÓN SEGUN ASTM						
Malla		Especificaciones ASTM C33		Ag. Grueso	Ag. Fino	Mezcla de los materiales
		Material de tamaño máximo				
plg..	mm	Min	Max	% que pasa	% que pasa	
4"	100,00	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00
3 1/2"	90,00	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00
3"	75,00	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00
2 1/2"	63,00	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00
2"	50,80	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00
1 1/2"	38,10	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00
1"	25,40	97,0	100,0	91,67	100,0	95,84
3/4"	19,00	76,8	88,5	75,30	100,0	87,65
1/2"	12,70	55,0	76,0	41,28	100,0	70,64
3/8"	9,51	49,2	64,4	19,57	100,0	59,78
No.4	4,76	36,0	46,0	5,26	87,5	46,40
No.8	2,36	26,0	39,0	5,26	69,3	37,26
No.16	1,18	18,0	28,0	0,00	53,0	26,52
No.30	0,60	12,0	20,0	0,00	39,6	19,82
No.50	0,30	7,2	12,0	0,00	26,0	13,00
No.100	0,15	4,0	8,4	0,00	14,5	7,27

Proporciones de material	
Agregado grueso	50
Agregado fino	50

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Pintag  
**GRAFICO DE GRANULOMETRIA DE LA COMBINACION DE MATERIALES AGRAGADO GRUESO Y FINO**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO**

NORMA : ASTM C 127  
**Gravedad específica seca** =  $A / (B - C)$

**Gravedad específica saturada con superficie seca** =  $B / (B - C)$

**Gravedad específica aparente** =  $A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	3242,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (S.S.S)	B =	3374,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA S. S. S.	C =	1922,50	gr
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SECA</b>	<b>Ge =</b>	<b>2,23</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA</b>	<b>Ges =</b>	<b>2,32</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	<b>Gea =</b>	<b>2,46</b>	
<b>PORCENTAJE DE ABSORCION</b>	<b>Ab =</b>	<b>4,07</b>	<b>%</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José      **CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ # 200 Y CONTENIDO ORGANICO**

NORMA :      ASTM C 33

**MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ # 200**

Agregado Fino	
Masa Inicial (gr) A =	882,96
Masa Final (gr) B =	788,21
Masa pasa Tamiz #200 (gr) C = (A-B)	
C (gr) =	94,75
% pasa Tamiz #200 = ( C/A *100)	
<b>% pasa Tamiz #200 =</b>	<b>10,73</b>

NORMA :      ASTM C 40

**CONTENIDO ORGANICO**

Numero =	0
<b>CO Aceptable</b>	<b>ok</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA**

**EQUIVALENTE DE ARENA**

Agregado Fino	Muestra # 1	Muestra # 2
Lectura Inicial A =	4,5	4,8
Lectura Final B =	3,6	3,9
Equivalente de Arena % = $(B/A*100)$		
Equivalente de Arena % =	80,00	81,25
<b>Promedio Equiv. Arena % =</b>	<b>80,63</b>	

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José      **CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO**

MODULO DE FINURA:                      3,10                      NORMA :                      ASTM C136

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES SEGÚN EL TAMAÑO	
						Min	Max
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	9,51	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.4	4,76	74,59	74,59	12,47	87,53	90,00	100,00
No.8	2,36	109,33	183,92	30,74	69,26	65,00	90,00
No.16	1,18	97,03	280,95	46,96	53,04	45,00	70,00
No.30	0,60	80,12	361,07	60,35	39,65	30,00	50,00
No.50	0,30	81,59	442,66	73,99	26,01	18,00	30,00
No.100	0,15	68,63	511,29	85,46	14,54	10,00	21,00
No.200	0,07	0,00	511,29	85,46	14,54	0,00	10,00
Pasa No. 100		86,96	86,96				
SUMA		598,25	598,25				

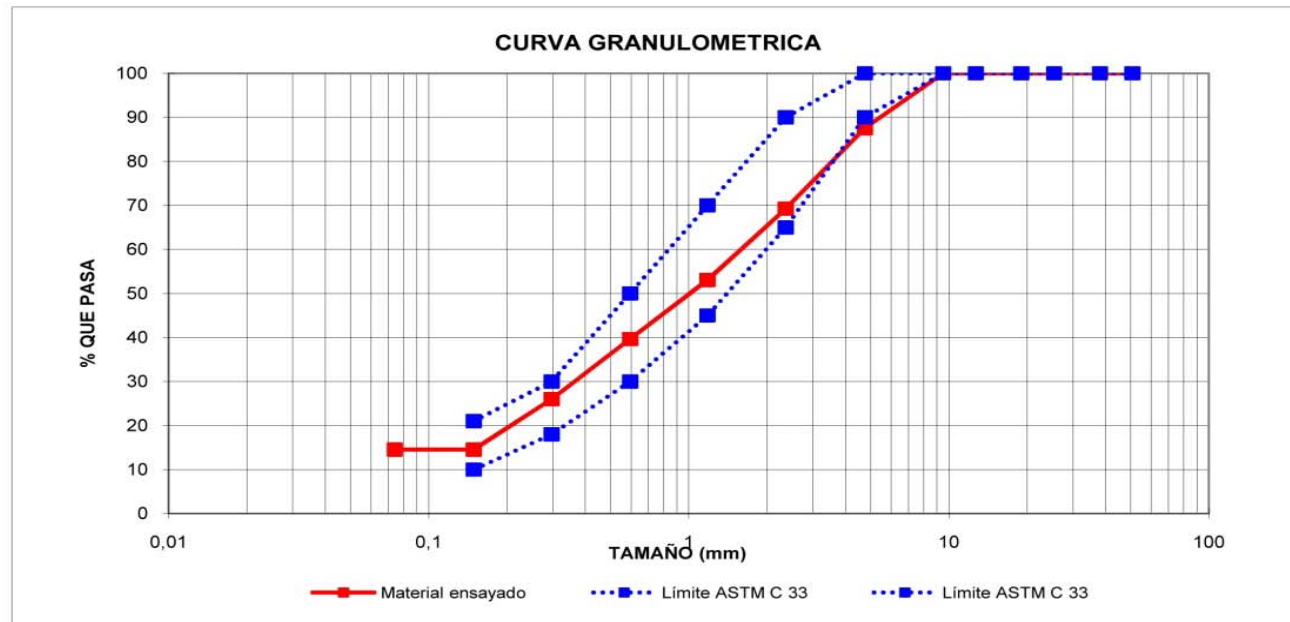
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES

OBRA: Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
ENSAYADO POR: Rivera Miguel y Sosa José  
CALCULADO POR: Rivera Miguel y Sosa José

APROBADO POR: Ing. Gustavo Yáñez

CANTERA: Pintag

GRAFICO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE ABRASIÓN**

NORMA : ASTM C 131

$$\text{Porcentaje de desgaste} = ( C / A ) * 100$$

$$\text{Masa que pasa el tamiz No. 12} = ( A - B )$$

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5004	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUÉS DE	B=	3734	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	1270	gr
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE</b>	<b>D=</b>	<b>25,38</b>	<b>%</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO FINO**

NORMA : ASTM C 128

**Gravedad específica seca =  $A / (B + S - C)$**

**Gravedad específica saturada con superficie seca =  $S / (B + S - C)$**

**Gravedad específica aparente =  $A / (B + A - C)$**

MASA DEL MATRAZ	Mm =	209,35	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	709,35	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	1004,98	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	500,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	481,66	gr
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SECA</b>	<b>Ge =</b>	<b>2,36</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA</b>	<b>Ges =</b>	<b>2,45</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	<b>Gea =</b>	<b>2,59</b>	
<b>PORCENTAJE DE ABSORCION</b>	<b>Ab =</b>	<b>3,81</b>	<b>%</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO**

	NORMA :		
MASA MOLDE		P = 5054,0	gr
VOLUMEN MOLDE		V = 2884,0	cm <sup>3</sup>
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO		A = 9254,0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO		B = 9894,0	gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	4200,0	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	4840,0	gr
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	<b>Ms / V =</b>	<b>1456</b>	<b>kg / m<sup>3</sup></b>
<b>PESO UNITARIO COMPACTO</b>	<b>Mc / V =</b>	<b>1678</b>	<b>kg / m<sup>3</sup></b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO**

	NORMA :	ASTM C 29	
MASA MOLDE		P =	8594,0 gr
VOLUMEN MOLDE		V =	10127,0 cm <sup>3</sup>
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO		A =	21636,0 gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO		B =	22030,0 gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO		Ms = A - P =	13042,0 gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO		Mc = B - P =	13436,0 gr
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>		<b>Ms / V =</b>	<b>1288 kg / m<sup>3</sup></b>
<b>PESO UNITARIO COMPACTO</b>		<b>Mc / V =</b>	<b>1327 kg / m<sup>3</sup></b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José      **CANTERA:** Pintag

**ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO**

	<b>Agregado Fino</b>		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Masa inicial (gr)=	566,82	596,61	552,42
Masa final (gr)=	533,30	560,07	515,00
%H =	( Masa inicial - Masa final ) / Masa final		
%H =	6,29	6,52	7,27
<b>Promedio % H=</b>	<b>6,69</b>		

	<b>Agregado Grueso</b>		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Masa inicial (gr)=	1071,80	1226,53	1227,60
Masa final (gr)=	1066,04	1217,80	1224,80
%H =	( Masa inicial - Masa final ) / Masa final		
%H =	0,54	0,72	0,23
<b>Promedio % H=</b>	<b>0,50</b>		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Pintag

**DESGASTE A LOS SULFATOS EN EL AGREGADO GRUESO**

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 1 plg. **NORMA :** ASTM C88  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1 1/2 plg

MALLA No.	ABERTURA (mm)	RETIENE	MASA INICIAL	MASA FINAL	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA	% DESGSATE PARCIAL
1 1/2"	38,10	1"	1005,98	924,89	8,33	8,06	0,67
1"	25,40	3/4"	503,94	478,95	16,38	4,96	0,81
3/4"	19,00	1/2"	669,57	584,18	34,01	12,75	4,34
1/2"	12,70	3/8"	330,35	301,23	21,72	8,81	1,91
3/8"	9,51	No. 4	300,27	282,36	14,31	5,96	0,85
						<b>% DESGSATE TOTAL</b>	<b>8,59</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**CANTERA:** Pintag

**DESGASTE A LOS SULFATOS EN EL AGREGADO FINO**

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 1 plg.

**NORMA :** ASTM C88

**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1 1/2 plg.

MALLA No.	ABERTURA (mm)	RETIENE	MASA INICIAL	MASA FINAL	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA	% DESGASTE PARCIAL
	38,10	No.4	100,14	89,55	12,47	10,58	1,32
No.4	25,40	No.8	100,22	87,02	18,27	13,17	2,41
No.8	19,00	No.16	100,05	85,10	16,22	14,94	2,42
No.16	12,70	No.30	100,27	84,75	13,39	15,48	2,07
No.30	9,51	No.50	100,22	80,74	13,64	19,44	2,65
						<b>% DESGASTE TOTAL</b>	<b>10,87</b>

# **GUAYLLABAMBA**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

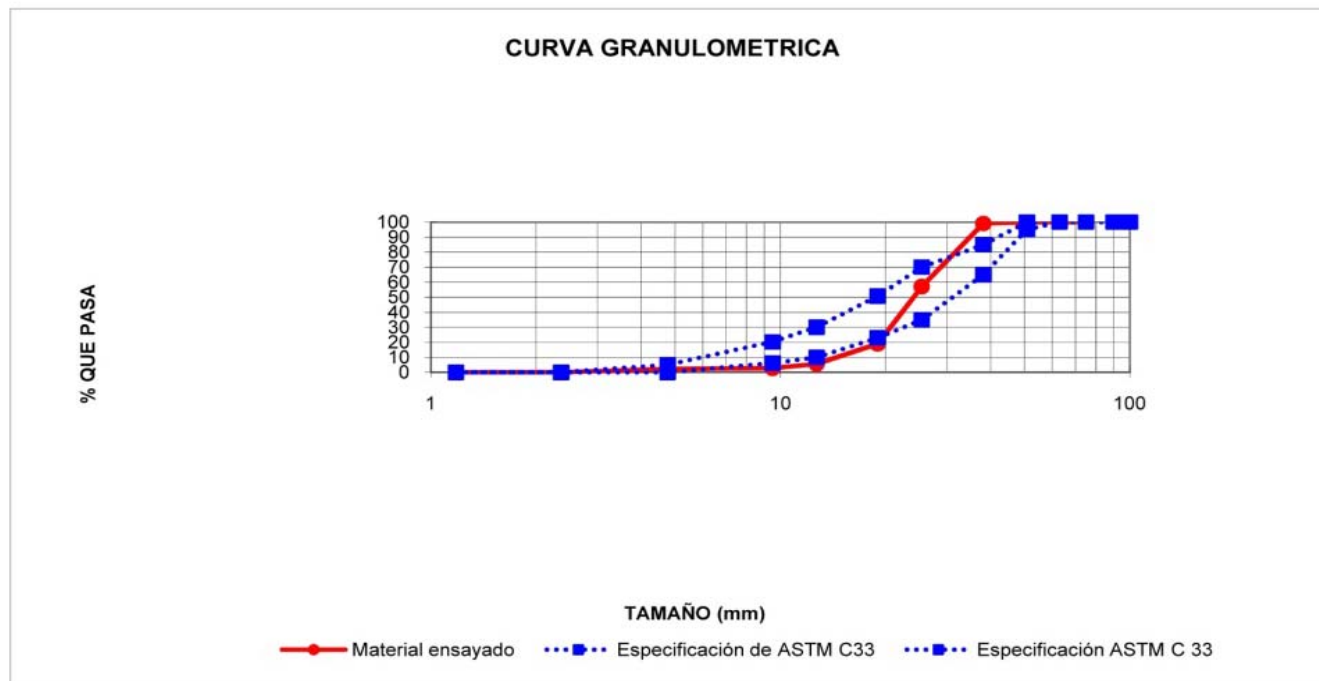
NORMA : ASTM C136

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 2 plg  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 2 1/2 plg

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES SEGÚN EL TAMAÑO	
						Min	Max
4"	100,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
3 1/2"	90,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
3"	75,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
2"	50,80	0	0	0,00	100,00	95,00	100,00
1 1/2"	38,10	220	220	0,94	99,06	65,00	85,00
1"	25,40	9802	10022	42,95	57,05	35,00	70,00
3/4"	19,00	8874	18896	80,97	19,03	23,00	50,80
1/2"	12,70	3136	22032	94,41	5,59	10,00	30,00
3/8"	9,51	656	22688	97,22	2,78	6,13	20,32
No.4	4,76	128	22816	97,77	2,23	0,00	5,00
No.8	2,36	0	22816	100,00	0,00	0,00	0,00
No.16	1,18	0	22816	100,00	0,00	0,00	0,00
No.50	0,30	0	22816	100,00	0,00	0,00	0,00
Pasa No. 4		520	520				
SUMA		23336	23336				

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES

OBRA: Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas APROBADO POR: Ing. Gustavo Yáñez  
ENSAYADO POR: Rivera Miguel y Sosa José  
CALCULADO POR: Rivera Miguel y Sosa José CANTERA: Guayllabamba  
GRAFICO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

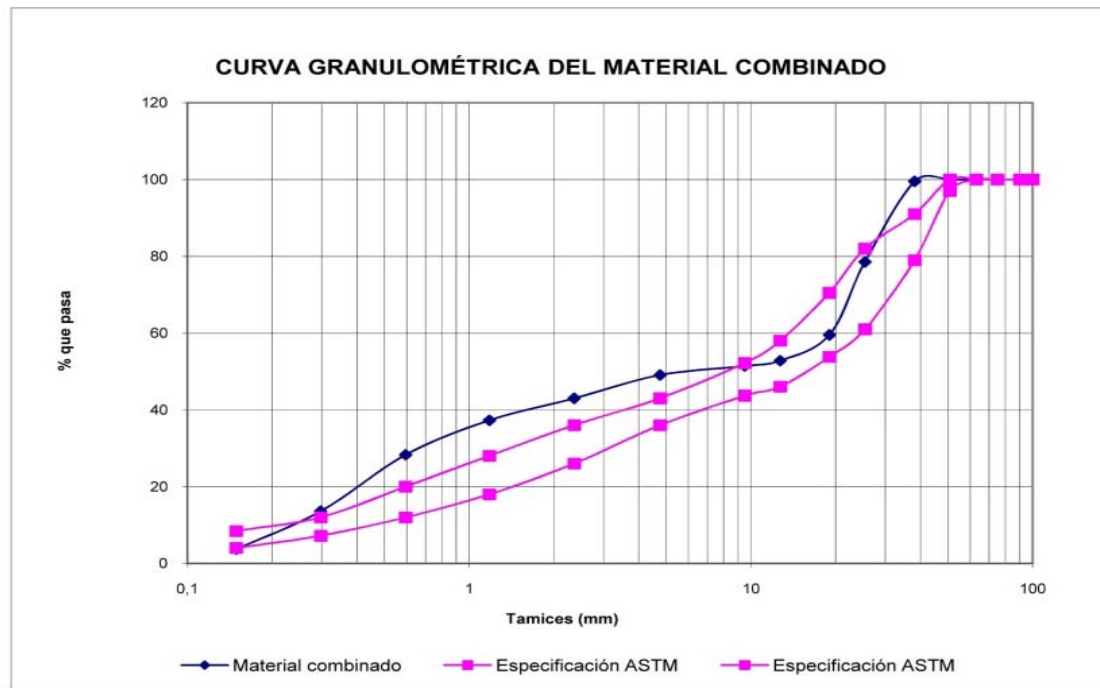
**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba  
**COMBINACION DE MATERIALES AGRAGADO GRUESO Y FINO**

COMBINACIÓN SEGÚN ASTM						
Malla		Especificaciones ASTM C33		Ag. Grueso	Ag. Fino	Mezcla de los materiales
		Material de tamaño máximo				
plg.	mm	Min	Max	% que pasa	% que pasa	
4"	100,00	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00
3 1/2"	90,00	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00
3"	75,00	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00
2 1/2"	63,00	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00
2"	50,80	97,0	100,0	100,00	100,0	100,00
1 1/2"	38,10	79,0	91,0	99,06	100,0	99,53
1"	25,40	61,0	82,0	57,05	100,0	78,53
3/4"	19,00	53,8	70,5	19,03	100,0	59,51
1/2"	12,70	46,0	58,0	5,59	100,0	52,79
3/8"	9,51	43,7	52,2	2,78	100,0	51,39
No.4	4,76	36,0	43,0	2,23	95,9	49,06
No.8	2,36	26,0	36,0	0,00	86,0	42,98
No.16	1,18	18,0	28,0	0,00	74,5	37,27
No.30	0,60	12,0	20,0	0,00	56,5	28,27
No.50	0,30	7,2	12,0	0,00	27,2	13,58
No.100	0,15	4,0	8,4	0,00	7,3	3,64

Proporciones de material	
Agregado grueso	50
Agregado fino	50

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba  
**GRAFICO DE GRANULOMETRIA DE LA COMBINACION DE MATERIALES AGRAGADO GRUESO Y FINO**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO**

NORMA : ASTM C 127

**Gravedad específica seca =  $A / (B - C)$**

**Gravedad específica saturada con superficie seca =  $B / (B - C)$**

**Gravedad específica aparente =  $A / (A - C)$**

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	5152,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	5240,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	3130,00	gr
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SECA</b>	<b>Ge =</b>	<b>2,44</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA</b>	<b>Ges =</b>	<b>2,48</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	<b>Gea =</b>	<b>2,55</b>	
<b>PORCENTAJE DE ABSORCION</b>	<b>Ab =</b>	<b>1,71</b>	<b>%</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba  
**ENSAYO DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ # 200 Y CONTENIDO ORGANICO**

NORMA : ASTM C 33

**MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ # 200**

Agregado Fino

Masa Inicial (gr) A = 1.077,74

Masa Final (gr) B = 1.055,20

Masa pasa Tamiz #200 (gr) C = (A-B)

C (gr) = 22,54

% pasa Tamiz #200 = ( C/A \*100)

**% pasa Tamiz #200 = 2,09**

NORMA : ASTM C 40

**CONTENIDO ORGANICO**

Numero = 3

**CO Acceptable ok**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA**

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>		
Agregado Fino	Muestra # 1	Muestra # 2
Lectura Inicial A =	3,7	3,7
Lectura Final B =	3,6	3,6
Equivalente de Arena % = $(B/A*100)$		
Equivalente de Arena % =	97,30	97,30
<b>Promedio Equiv. Arena % =</b>	<b>97,30</b>	

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José      **CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO**

NORMA :      ASTM C136

MODULO DE FINURA:      2,53

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES SEGÚN EL TAMAÑO	
						Min	Max
2"	50,80	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,70	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	9,51	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
No.4	4,76	43	43	4,11	95,89	90,00	100,00
No.8	2,36	105	148	14,05	85,95	65,00	90,00
No.16	1,18	120	268	25,47	74,53	45,00	70,00
No.30	0,60	190	458	43,47	56,53	30,00	50,00
No.50	0,30	310	768	72,85	27,15	18,00	30,00
No.100	0,15	210	977	92,72	7,28	10,00	21,00
No.200	0,07	0	977	92,72	7,28	0,00	10,00
Pasa No. 100		77	77				
SUMA		1054	1054				

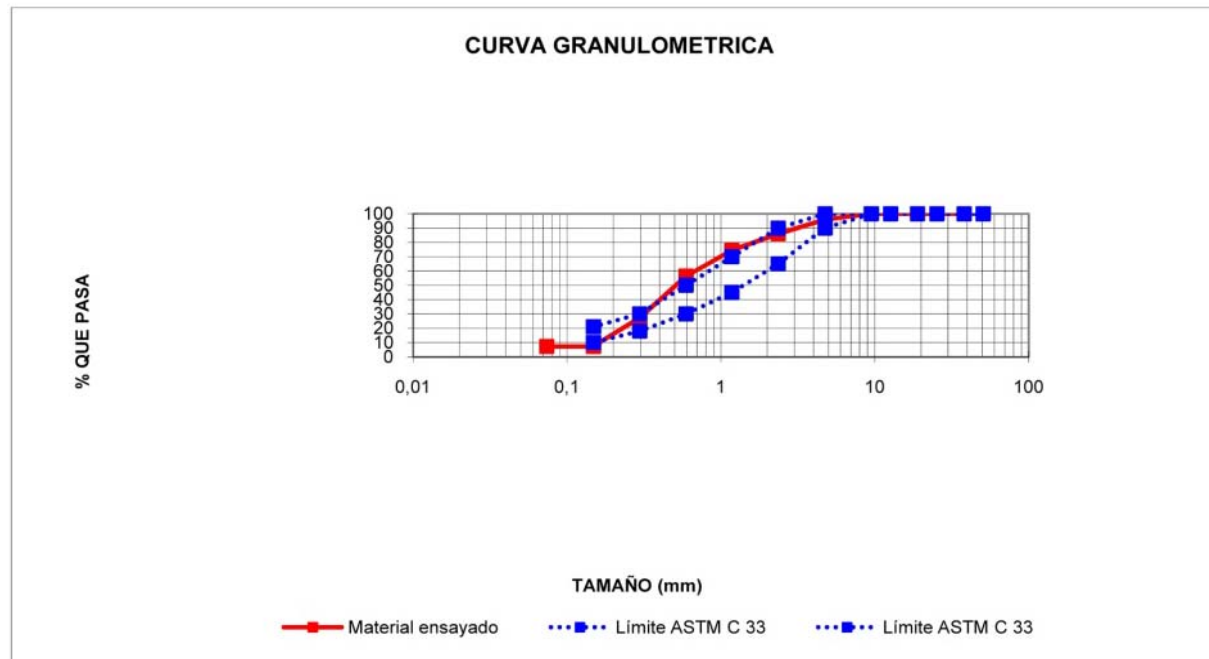
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES

OBRA: Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
ENSAYADO POR: Rivera Miguel y Sosa José  
CALCULADO POR: Rivera Miguel y Sosa José

APROBADO POR: Ing. Gustavo Yáñez

CANTERA: Guayllabamba

GRAFICO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE ABRASIÓN**

NORMA : ASTM C 131

**Porcentaje de desgaste = ( C / A ) \* 100**

**Masa que pasa el tamiz No. 12 = ( A - B )**

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5004	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12	B=	3584	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	1420	gr
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE</b>	<b>D=</b>	<b>28,38</b>	<b>%</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José      **CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO FINO**

NORMA :      ASTM C 128

**Gravedad específica seca** =  $A / (B + S - C)$

**Gravedad específica saturada con superficie seca** =  $S / (B + S - C)$

**Gravedad específica aparente** =  $A / (B + A - C)$

MASA DEL MATRAZ	Mm =	209,35	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	709,35	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	1019,40	gr
MASA DE MUESTRA S.S.S.	S =	500,01	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	490,01	gr
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SECA</b>	<b>Ge =</b>	<b>2,58</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFIC</b>	<b>Ges =</b>	<b>2,63</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	<b>Gea =</b>	<b>2,72</b>	
<b>PORCENTAJE DE ABSORCION</b>	<b>Ab =</b>	<b>2,04</b>	<b>%</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO**

	NORMA :	
MASA MOLDE	P =	5054,0 gr
VOLUMEN MOLDE	V =	2884,0 cm <sup>3</sup>
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	9726,0 gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10056,0 gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	4672,0 gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	5002,0 gr
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	<b>Ms / V =</b>	<b>1620 kg / m<sup>3</sup></b>
<b>PESO UNITARIO COMPACTO</b>	<b>Mc / V =</b>	<b>1734 kg / m<sup>3</sup></b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO**

	NORMA :	
MASA MOLDE	P =	8594,0 gr
VOLUMEN MOLDE	V =	10127,0 cm <sup>3</sup>
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	23032,0 gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	24450,0 gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	14438,0 gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	15856,0 gr
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	<b>Ms / V =</b>	<b>1426 kg / m<sup>3</sup></b>
<b>PESO UNITARIO COMPACTO</b>	<b>Mc / V =</b>	<b>1566 kg / m<sup>3</sup></b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**CANTERA:** Guayllabamba

**ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO**

**Agregado Fino**

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Masa inicial (gr)=	569,31	528,64	540,86
Masa final (gr)=	544,11	500,29	515,19
%H =	( Masa inicial - Masa final ) / Masa final		
%H =	4,63	5,67	4,98
<b>Promedio % H=</b>	<b>5,09</b>		

**Agregado Grueso**

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Masa inicial (gr)=	1313,88	1157,02	1113,18
Masa final (gr)=	1307,13	1150,45	1106,41
%H =	( Masa inicial - Masa final ) / Masa final		
%H =	0,52	0,57	0,61
<b>Promedio % H=</b>	<b>0,57</b>		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba

**DESGASTE A LOS SULFATOS EN EL AGREGADO GRUESO**

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 1 plg **NORMA :** ASTM C88  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1 1/2 plg

MALLA No.	ABERTURA (mm)	RETIENE	MASA INICIAL	MASA FINAL	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA	% DESGASTE PARCIAL
1 1/2"	38,10	1"	1005,98	924,89	42,00	8,06	3,39
1"	25,40	3/4"	503,94	478,95	38,03	4,96	1,89
3/4"	19,00	1/2"	669,57	584,18	13,44	12,75	1,71
1/2"	12,70	3/8"	330,35	301,23	2,81	8,81	0,25
3/8"	9,51	No. 4	300,27	282,36	0,55	5,96	0,03
						<b>% DESGASTE TOTAL</b>	<b>7,27</b>

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José **CANTERA:** Guayllabamba

**DESGASTE A LOS SULFATOS EN EL AGREGADO FINO**

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 1 plg **NORMA :** ASTM C88  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1 1/2 plg

MALLA No.	ABERTURA (mm)	RETIENE	MASA INICIAL	MASA FINAL	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA	% DESGASTE PARCIAL
	38,10	No.4	100,14	89,55	4,11	10,58	0,43
No.4	25,40	No.8	100,22	87,02	9,94	13,17	1,31
No.8	19,00	No.16	100,05	85,10	11,42	14,94	1,71
No.16	12,70	No.30	100,27	84,75	18,00	15,48	2,79
No.30	9,51	No.50	100,22	80,74	29,38	19,44	5,71
						<b>% DESGASTE TOTAL</b>	<b>11,95</b>

## 8.2 ANEXO B: Determinación de las Resistencias de Compresión y Flexión

### 8.2.1 Compresión Pintag

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>

SF= Sin Fibra

**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>

CF=Con Fibra

**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09
FECHA DE ENSAYO		27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09
EDAD (días)		7	7	7	7	7	7
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	304,30	306,00	306,80	307,70	306,50	305,60
	DIAMETRO 1 (mm)	153,00	153,00	152,00	154,90	155,00	152,40
	DIAMETRO 2 (mm)	151,40	153,90	151,80	153,60	153,60	152,00
	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	152,20	153,45	151,90	154,25	154,30	152,20
	AREA (mm <sup>2</sup> )	18193,09	18493,15	18121,44	18686,48	18698,59	18193,09
PESO (gr)		12010,00	12270,00	11960,00	12420,00	12490,00	11970,00
CARGA MAXIMA (Kn)		579,00	598,00	584,00	684,00	619,00	612,00
RESISTENCIA (MPa)		31,83	32,34	32,23	36,60	33,10	33,64
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		324,62	329,83	328,72	373,36	337,66	343,12
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		327,72			351,38		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup> SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup> CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09	
<b>EDAD (días)</b>	28	28	28	28	28	28	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	305,50	306,10	303,60	306,10	309,00	306,70
	<b>DIAMETRO 1 (mm)</b>	154,60	153,70	151,80	150,60	154,00	152,00
	<b>DIAMETRO 2 (mm)</b>	150,90	150,70	151,90	152,70	151,10	153,00
	<b>DIAMETRO PROMEDIO (mm)</b>	152,75	152,20	151,85	151,65	152,55	152,50
	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	18324,81	18193,09	18109,51	18061,84	18276,86	18264,88
<b>PESO (gr)</b>	12010,00	12160,00	11980,00	11890,00	12110,00	12050,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	752,00	728,00	525,00	799,00	778,00	640,00	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	41,04	40,02	28,99	44,24	42,57	35,04	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	418,58	408,16	295,70	451,22	434,19	357,41	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	374,15			414,27			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )		
	1	2	3	4	5	6
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09
<b>EDAD (días)</b>	7	7	7	7	7	7
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	303,40	306,70	308,00	307,00	306,80
	<b>DIAMETRO 1 (mm)</b>	150,20	152,00	153,90	152,30	152,40
	<b>DIAMETRO 2 (mm)</b>	154,30	152,10	151,70	152,00	151,60
	<b>DIAMETRO PROMEDIO (mm)</b>	152,25	152,05	152,80	152,15	152,00
	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	18205,04	18157,24	18336,81	18181,13	18145,30
<b>PESO (gr)</b>	11850,00	12020,00	12100,00	12040,00	11840,00	11970,00
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	602,79	605,29	651,59	641,49	670,62	691,04
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	33,11	33,34	35,53	35,28	36,96	38,06
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	337,73	340,03	362,45	359,89	376,97	388,20
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	346,74			375,02		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez

**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>

SF= Sin Fibra

**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>

CF=Con Fibra

**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09
FECHA DE ENSAYO		18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09
EDAD (días)		28	28	28	28	28	28
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	306,40	306,20	306,90	304,40	306,90	306,40
	DIAMETRO 1 (mm)	152,70	153,80	153,00	152,10	154,60	154,30
	DIAMETRO 2 (mm)	152,50	154,30	151,40	152,20	155,00	153,70
	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	152,60	154,05	152,20	152,15	154,80	154,00
	AREA (mm <sup>2</sup> )	18288,84	18638,05	18193,09	18181,13	18819,97	18625,95
PESO (gr)		11950,00	12260,00	12000,00	11960,00	12410,00	12370,00
CARGA MAXIMA (Kn)		827,00	800,00	750,00	831,00	818,00	899,00
RESISTENCIA (MPa)		45,22	42,92	41,22	45,71	43,46	48,27
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		461,23	437,81	420,49	466,21	443,34	492,31
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		439,85			467,29		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09
FECHA DE ENSAYO		31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09
EDAD (días)		7	7	7	7	7	7
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	304,00	306,00	305,50	304,80	306,60	308,50
	DIAMETRO 1 (mm)	151,40	154,30	153,20	151,90	153,30	153,10
	DIAMETRO 2 (mm)	152,00	154,70	150,70	149,50	153,90	153,90
	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	151,70	154,50	151,95	150,70	153,60	153,50
	AREA (mm <sup>2</sup> )	18073,75	18747,10	18133,37	17836,25	18529,32	18505,20
PESO (gr)		11910,00	12250,00	11930,00	11830,00	12140,00	12060,00
CARGA MAXIMA (Kn)		585,00	611,00	535,00	613,00	650,00	588,00
RESISTENCIA (MPa)		32,37	32,59	29,50	34,37	35,08	31,77
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		330,15	332,44	300,94	350,56	357,81	324,10
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		321,17			344,16		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

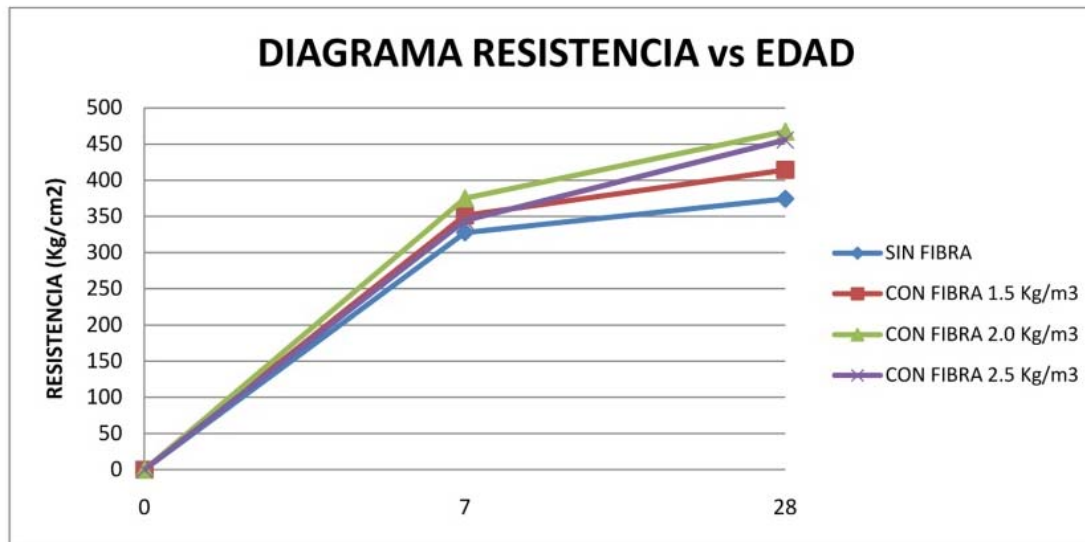
**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09	
<b>EDAD (días)</b>	28	28	28	28	28	28	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	304,40	305,70	304,60	305,20	307,40	305,00
	<b>DIAMETRO 1 (mm)</b>	153,90	155,00	151,30	151,80	152,10	152,80
	<b>DIAMETRO 2 (mm)</b>	151,40	154,00	151,90	152,00	152,00	153,20
	<b>DIAMETRO PROMEDIO (mm)</b>	152,65	154,50	151,60	151,90	152,05	153,00
	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	18300,83	18747,10	18049,93	18121,44	18157,24	18384,84
<b>PESO (gr)</b>	12020,00	12330,00	11920,00	12010,00	11930,00	12040,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	799,00	761,00	746,00	865,00	789,00	787,00	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	43,66	40,59	41,33	47,73	43,45	42,81	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	445,32	414,05	421,56	486,88	443,23	436,63	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	426,98			455,58			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**GRAFICO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESION  
EDAD vs RESISTENCIA**



## 8.2.2 Flexión Pintag

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09	27-ago-09	
<b>EDAD</b>	7	7	7	7	7	7	
<b>DIMENSIO</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	152,00	151,50	152,50	151,50	150,50	152,00
	<b>LARGO (mm)</b>	533,50	535,50	536,00	533,50	533,50	538,50
	<b>ANCHO (mm)</b>	153,00	151,00	149,50	150,00	151,50	151,50
<b>PESO (gr)</b>	26220,00	25980,00	26140,00	26060,00	26070,00	26450,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	36,70	35,80	33,00	36,70	37,80	33,10	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	4,67	4,65	4,27	4,80	4,96	4,26	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm2)</b>	47,65	47,41	43,57	48,93	50,56	43,41	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)</b>	46,21			47,63			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09
FECHA DE ENSAYO		17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09	17-sep-09
EDAD		28	28	28	28	28	28
DIMENSIO	ALTURA (mm)	151,50	152,00	151,50	151,00	152,00	150,50
	LARGO (mm)	534,50	532,50	537,50	537,50	535,00	535,50
	ANCHO (mm)	153,00	152,50	152,50	151,50	149,50	151,50
PESO (gr)		26290,00	25980,00	26690,00	26500,00	26240,00	26230,00
CARGA MAXIMA (Kn)		42,70	48,70	46,30	45,30	40,80	46,10
RESISTENCIA (MPa)		5,47	6,22	5,95	5,90	5,32	6,05
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		55,81	63,44	60,72	60,19	54,22	61,66
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		59,99			58,69		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09	21-ago-09
FECHA DE ENSAYO		28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09	28-ago-09
EDAD		7	7	7	7	7	7
DIMENSIO	ALTURA (mm)	150,50	152,00	151,50	150,50	152,50	150,50
	LARGO (mm)	532,50	532,50	537,00	532,00	535,50	536,00
	ANCHO (mm)	149,50	150,00	150,50	153,50	150,00	149,50
PESO (gr)		26140,00	26390,00	26400,00	26240,00	26470,00	25810,00
CARGA MAXIMA (Kn)		36,60	35,50	36,80	38,60	42,50	38,80
RESISTENCIA (MPa)		4,86	4,61	4,79	5,00	5,48	5,16
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		49,61	47,02	48,90	50,96	55,92	52,59
RESISTENCIA PROMEDIIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		48,51			53,16		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
<b>TIPO</b>		<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>
<b>FECHA DE FABRICACION</b>		20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09	20-ago-09
<b>FECHA DE ENSAYO</b>		18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09	18-sep-09
<b>EDAD</b>		28	28	28	28	28	28
<b>DIMENSIO</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	151,00	151,50	152,50	150,50	153,00	151,50
	<b>LARGO (mm)</b>	535,00	534,00	535,50	535,00	538,00	540,00
	<b>ANCHO (mm)</b>	150,50	149,50	151,50	152,00	151,50	152,00
<b>PESO (gr)</b>		26270,00	26060,00	26310,00	26040,00	26680,00	26700,00
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>		38,00	44,50	44,50	45,40	36,80	48,80
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>		4,98	5,84	5,68	5,93	4,67	6,29
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		50,83	59,53	57,97	60,53	47,63	64,20
<b>RESISTENCIA PROMEDIIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		56,11			57,45		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09
FECHA DE ENSAYO		31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09	31-ago-09
EDAD		7	7	7	7	7	7
DIMENSIO	ALTURA (mm)	151,50	151,50	151,00	151,50	152,00	150,50
	LARGO (mm)	533,50	538,50	535,00	533,50	534,50	538,50
	ANCHO (mm)	151,00	150,50	151,50	152,50	152,50	153,00
PESO (gr)		26270,00	26150,00	25970,00	25970,00	26010,00	26230,00
CARGA MAXIMA (Kn)		44,30	31,10	35,70	43,90	36,50	37,70
RESISTENCIA (MPa)		5,75	4,05	4,65	5,64	4,66	4,90
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		58,67	41,32	47,44	57,57	47,55	49,93
RESISTENCIA PROMEDIIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		49,14			51,68		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

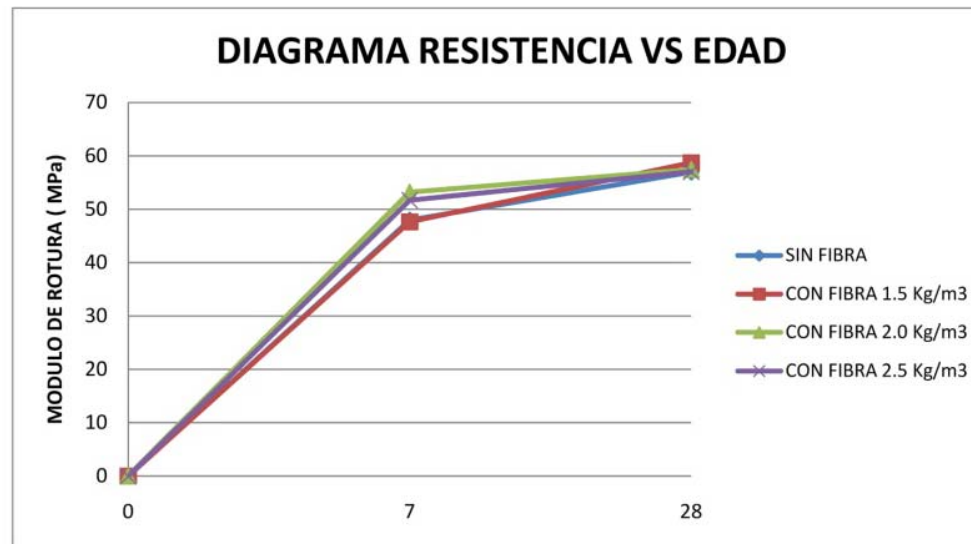
**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Pintag

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09	24-ago-09
FECHA DE ENSAYO		21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09	21-sep-09
EDAD		28	28	28	28	28	28
DIMENSIO	ALTURA (mm)	149,50	152,00	149,50	150,50	152,50	150,50
	LARGO (mm)	534,50	537,00	535,00	536,50	537,50	539,50
	ANCHO (mm)	152,50	152,50	150,00	153,00	149,50	151,50
PESO (gr)		26230,00	26470,00	25890,00	26520,00	26250,00	26260,00
CARGA MAXIMA (Kn)		46,10	36,00	40,50	43,10	46,00	39,80
RESISTENCIA (MPa)		6,09	4,60	5,44	5,60	5,95	5,22
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		62,08	46,90	55,45	57,09	60,73	53,24
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		54,81			57,02		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintética: **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**GRAFICO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE FLEXION**  
**EDAD vs RESISTENCIA**



## 8.2.3 Compresión Guayllabamba

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009
FECHA DE ENSAYO		24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009
EDAD (DIAS)		7	7	7	7	7	7
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	300,50	306,00	308,10	307,50	306,70	305,70
	DIAMETRO 1 (mm)	154,00	151,30	153,00	151,70	153,60	152,10
	DIAMETRO 2 (mm)	153,50	152,30	151,20	151,90	155,20	152,00
	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	153,75	151,80	152,10	151,80	154,40	152,05
	AREA (mm <sup>2</sup> )	18565,53	18097,58	18169,19	18097,58	18722,84	18157,24
PESO (gr)		12740,00	12580,00	12730,00	12600,00	12970,00	12640,00
CARGA MAXIMA (Kn)		610,00	546,00	482,00	620,00	680,00	547,00
RESISTENCIA (MPa)		32,86	30,17	26,53	34,26	36,32	30,13
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		335,14	307,73	270,59	349,44	370,46	307,28
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		304,49			342,39		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009
FECHA DE ENSAYO		25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009
EDAD (DIAS)		7	7	7	7	7	7
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	305,30	306,40	298,40	302,70	303,40	303,10
	DIAMETRO 1 (mm)	153,40	153,20	153,60	152,50	151,90	151,90
	DIAMETRO 2 (mm)	154,50	153,60	152,40	152,50	152,00	152,00
	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	153,95	153,40	153,00	152,50	151,95	151,95
	AREA (mm <sup>2</sup> )	18613,86	18481,10	18384,84	18264,88	18133,37	18133,37
PESO (gr)		12980,00	12750,00	12570,00	12480,00	12440,00	12470,00
CARGA MAXIMA (Kn)		497,43	581,57	617,60	538,17	632,77	640,15
RESISTENCIA (MPa)		26,72	31,47	33,59	29,46	34,90	35,30
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		272,58	320,98	342,65	300,54	355,93	360,08
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		312,07			338,85		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	
<b>EDAD (DIAS)</b>	7	7	7	7	7	7	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	306,80	303,90	307,20	307,30	305,30	306,60
	<b>DIAMETRO 1 (mm)</b>	150,40	151,30	152,50	152,00	154,60	151,80
	<b>DIAMETRO 2 (mm)</b>	154,20	153,50	150,60	151,50	152,10	151,90
	<b>DIAMETRO PROMEDIO (mm)</b>	152,30	152,40	151,55	151,75	153,35	151,85
	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	18217,00	18240,93	18038,02	18085,66	18469,05	18109,51
<b>PESO (gr)</b>	12560,00	12550,00	12510,00	12520,00	12460,00	12450,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	561,27	568,16	503,65	553,78	642,98	521,57	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	30,81	31,15	27,92	30,62	34,81	28,80	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	314,26	317,70	284,80	312,32	355,10	293,77	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	305,59			320,40			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009	
<b>EDAD (DIAS)</b>	28	28	28	28	28	28	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	306,50	305,50	304,50	307,50	304,50	305,50
	<b>DIAMETRO 1 (mm)</b>	155,50	152,50	153,00	153,50	151,50	154,00
	<b>DIAMETRO 2 (mm)</b>	149,50	152,50	152,50	154,00	153,50	153,50
	<b>DIAMETRO PROMEDIO (mm)</b>	152,50	152,50	152,75	153,75	152,50	153,75
	<b>AREA (mm<sup>2</sup>)</b>	18264,88	18264,88	18324,81	18565,53	18264,88	18565,53
<b>PESO (gr)</b>	12980,00	12550,00	12780,00	12630,00	12490,00	12740,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	659,00	726,00	592,00	723,00	732,00	714,00	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	36,08	39,75	32,31	38,94	40,08	38,46	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	368,02	405,43	329,52	397,22	408,78	392,28	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	367,66			399,43			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009
FECHA DE ENSAYO		15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009
EDAD (DIAS)		28	28	28	28	28	28
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	302,30	306,20	302,50	306,30	306,30	304,20
	DIAMETRO 1 (mm)	150,50	153,90	152,60	152,60	153,10	150,70
	DIAMETRO 2 (mm)	153,10	154,40	153,80	151,90	151,30	152,10
	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	151,80	154,15	153,20	152,25	152,20	151,40
	AREA (mm <sup>2</sup> )	18097,58	18662,26	18432,94	18205,04	18193,09	18002,33
PESO (gr)		12560,00	12850,00	12780,00	12370,00	12510,00	12490,00
CARGA MAXIMA (Kn)		617,00	861,00	694,00	708,00	730,00	719,00
RESISTENCIA (MPa)		34,09	46,14	37,65	38,89	40,13	39,94
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		347,75	470,59	384,03	396,68	409,28	407,38
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		400,79			404,45		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON**

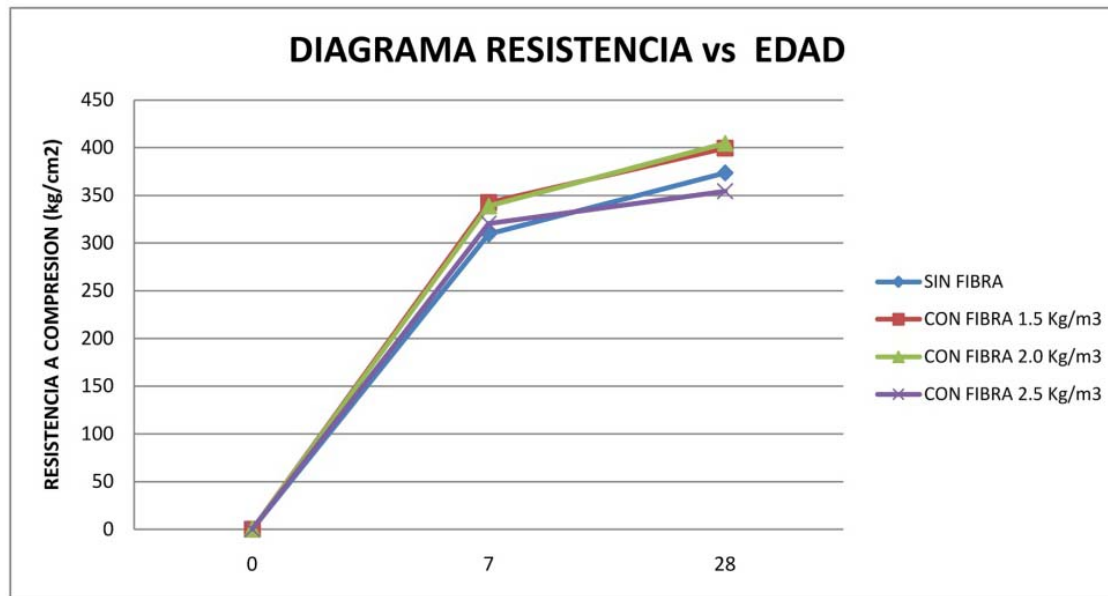
**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra		SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )		
		1	2	3	4	5	6
TIPO		1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF
FECHA DE FABRICACION		19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009
FECHA DE ENSAYO		16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009
EDAD (DIAS)		28	28	28	28	28	28
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	306,00	305,60	305,00	307,00	306,30	305,30
	DIAMETRO 1 (mm)	153,70	154,30	152,10	151,80	153,30	152,00
	DIAMETRO 2 (mm)	154,90	154,90	151,90	151,60	154,20	152,00
	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	154,30	154,60	152,00	151,70	153,75	152,00
	AREA (mm <sup>2</sup> )	18698,59	18771,37	18145,30	18073,75	18565,53	18145,30
PESO (gr)		12850,00	12900,00	12490,00	12300,00	12710,00	12380,00
CARGA MAXIMA (Kn)		683,00	709,00	531,00	687,00	624,00	592,00
RESISTENCIA (MPa)		36,53	37,77	29,26	38,01	33,61	32,63
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		372,57	385,26	298,49	387,71	342,83	332,78
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		352,11			354,44		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas    **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**GRAFICO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESION**  
**EDAD vs RESISTENCIA**



## 8.2.4 Flexión Guayllabamba

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )		
	1	2	3	4	5	6
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009	24/08/2009
<b>EDAD</b>	7	7	7	7	7	7
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	150,00	150,00	151,00	152,00	150,00
	<b>LARGO (mm)</b>	537,00	530,00	534,00	536,00	529,00
	<b>ANCHO (mm)</b>	151,00	151,00	152,00	151,00	150,00
<b>PESO (gr)</b>	27400,00	27230,00	28100,00	27410,00	27110,00	27780,00
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	27,00	30,30	23,80	27,70	31,10	25,70
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	3,58	4,01	3,09	3,57	4,15	3,40
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	36,48	40,94	31,52	36,44	42,30	34,72
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	36,31			37,82		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009	25/08/2009	
<b>EDAD</b>	7	7	7	7	7	7	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	151,00	149,50	150,00	151,50	152,00	150,00
	<b>LARGO (mm)</b>	533,50	535,00	531,00	538,00	539,50	536,00
	<b>ANCHO (mm)</b>	150,50	150,50	152,00	149,50	152,50	151,00
<b>PESO (gr)</b>	27300,00	27310,00	27200,00	27340,00	27690,00	27440,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	27,60	29,60	26,70	27,20	35,20	27,80	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	3,62	3,96	3,51	3,57	4,50	3,68	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	36,92	40,39	35,83	36,38	45,86	37,56	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	37,71			39,93			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	26/08/2009	
<b>EDAD</b>	7	7	7	7	7	7	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	150,50	149,50	151,00	150,50	151,50	152,50
	<b>LARGO (mm)</b>	536,50	536,00	538,50	535,50	531,50	537,00
	<b>ANCHO (mm)</b>	149,50	151,50	150,50	152,50	152,50	153,00
<b>PESO (gr)</b>	27100,00	27310,00	27190,00	27220,00	27270,00	27600,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	24,80	24,60	19,47	31,90	34,10	27,50	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	3,30	3,27	2,55	4,16	4,38	3,48	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	33,62	33,35	26,04	42,39	44,72	35,47	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	31,00			40,86			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (1.5 kg/m <sup>3</sup> )		
	1	2	3	4	5	6
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009	17/08/2009
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009	14/09/2009
<b>EDAD</b>	28	28	28	28	28	28
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	151,00	153,50	152,00	152,00	151,50
	<b>LARGO (mm)</b>	538,00	535,50	536,50	534,00	535,50
	<b>ANCHO (mm)</b>	150,50	151,00	152,50	150,50	152,50
<b>PESO (gr)</b>	27460,00	27340,00	27910,00	27050,00	27540,00	27920,00
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	35,70	35,10	31,10	40,10	38,50	31,40
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	4,68	4,44	3,97	5,19	4,92	4,02
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	47,75	45,28	40,52	52,93	50,16	41,04
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	44,52			48,04		

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Guayllabamba

SF= Sin Fibra  
 CF=Con Fibra

No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (2.0 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
<b>TIPO</b>	<b>1SF</b>	<b>2SF</b>	<b>3SF</b>	<b>1CF</b>	<b>2CF</b>	<b>3CF</b>	
<b>FECHA DE FABRICACION</b>	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	18/08/2009	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009	15/09/2009	
<b>EDAD</b>	28	28	28	28	28	28	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	150,00	149,50	151,50	152,00	151,00	149,50
	<b>LARGO (mm)</b>	536,00	531,50	535,00	538,50	532,00	531,50
	<b>ANCHO (mm)</b>	152,00	151,00	152,50	151,50	152,50	151,50
<b>PESO (gr)</b>	27700,00	26960,00	27380,00	27640,00	26960,00	27170,00	
<b>CARGA MAXIMA (Kn)</b>	32,40	36,90	38,00	37,40	32,20	37,80	
<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	4,26	4,92	4,89	4,81	4,17	5,02	
<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	43,48	50,19	49,83	49,04	42,51	51,24	
<b>RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	47,83			47,60			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas      **APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**ENSAYO A LA FLEXION DE VIGUETAS DE HORMIGON**

**CARACTERISTICAS:** Hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup>      SF= Sin Fibra  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>      CF=Con Fibra  
**CANTERA:** Guayllabamba

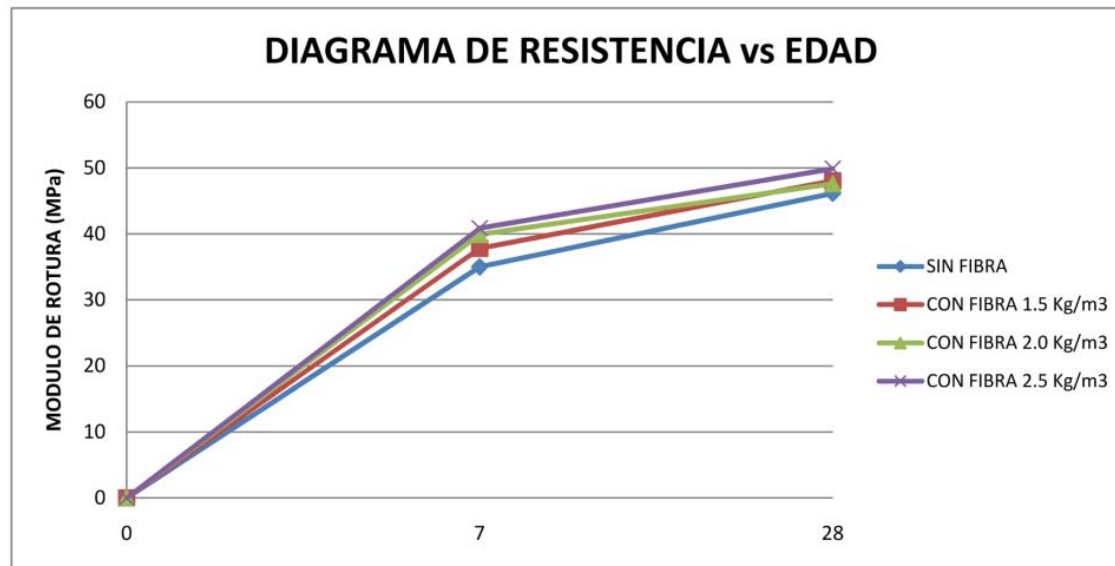
No. de Muestra	SIN FIBRA			CON FIBRA (2.5 kg/m <sup>3</sup> )			
	1	2	3	4	5	6	
TIPO	1SF	2SF	3SF	1CF	2CF	3CF	
FECHA DE FABRICACION	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	19/08/2009	
FECHA DE ENSAYO	16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009	16/09/2009	
EDAD	28	28	28	28	28	28	
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	149,50	150,50	150,50	149,50	152,50	150,50
	LARGO (mm)	533,50	535,00	532,50	537,50	535,00	534,00
	ANCHO (mm)	150,50	152,00	152,50	150,00	149,50	151,50
PESO (gr)	26980,00	27380,00	27120,00	27460,00	27050,00	26880,00	
CARGA MAXIMA (Kn)	35,70	37,90	29,40	38,60	39,30	33,60	
RESISTENCIA (MPa)	4,78	4,95	3,83	5,18	5,09	4,41	
RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	48,71	50,53	39,07	52,85	51,88	44,94	
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )	46,10			49,89			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**GRAFICO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE FLEXION**  
**EDAD vs RESISTENCIA**



## 8.3ANEXO C: Módulo de Elasticidad

PINTAG

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

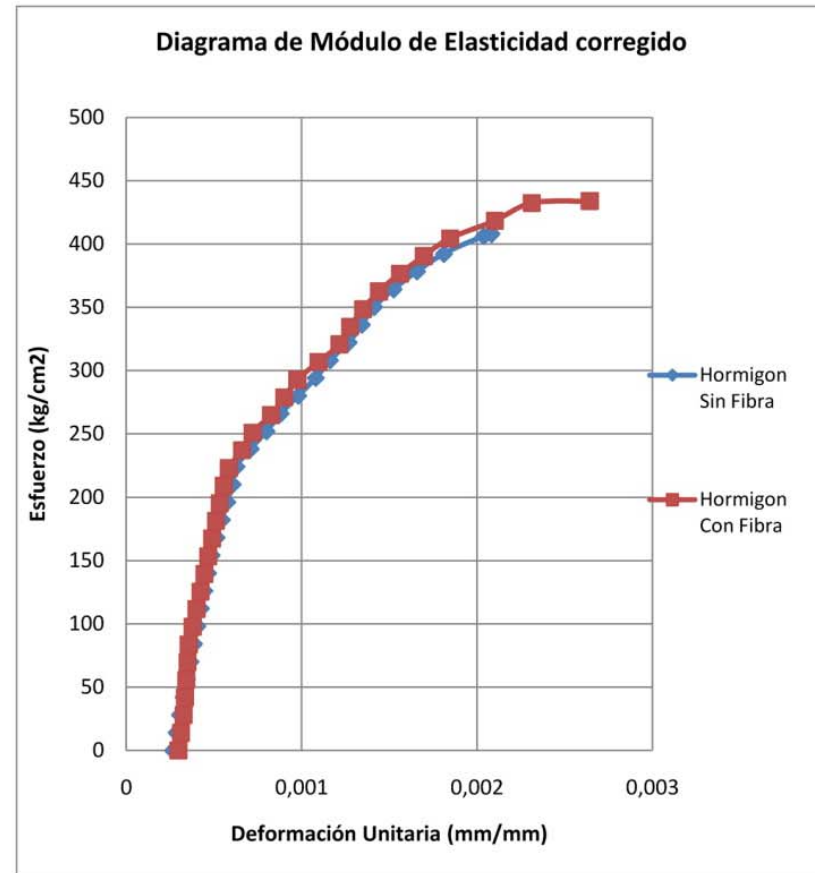
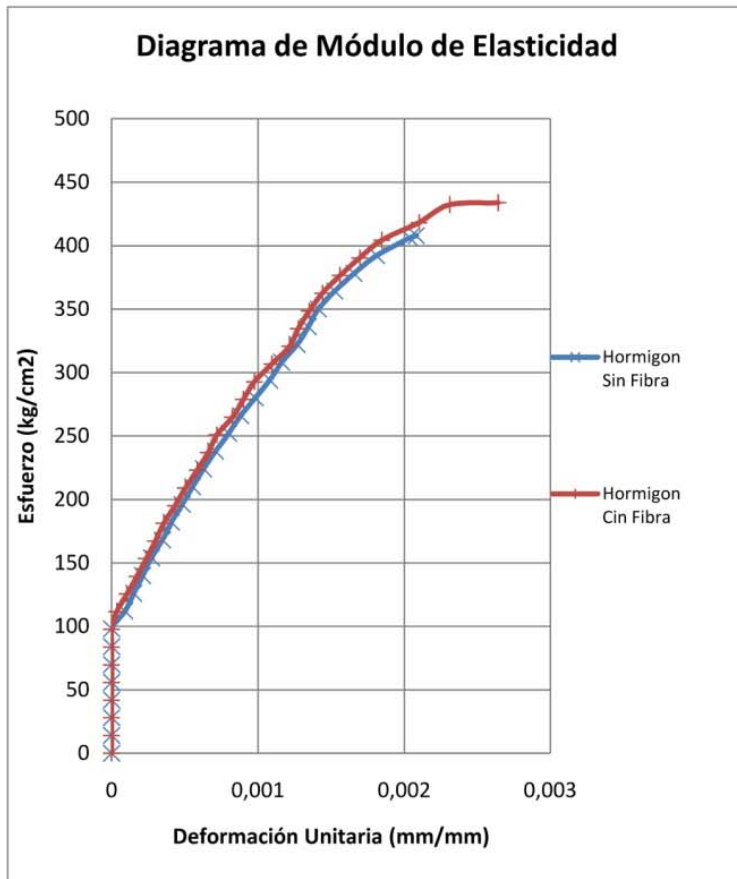
### TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Pintag  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra	Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,22	15,255	<b>Carga máxima (KN)=</b>	752,00	799,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,61	30,9	<b>f<sub>c</sub> diseño (kg/cm<sup>2</sup>)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f<sub>c</sub> max (kg/cm<sup>2</sup>)=</b>	421,34	445,62
<b>Area(cm<sup>2</sup>)=</b>	181,94	182,77	<b>0.4f<sub>c</sub>max (kg/cm<sup>2</sup>)=</b>	168,53	178,25
<b>Eg (mm)=</b>	118,70	118,00	<b>Masa (g)=</b>	12160,00	12110,00
<b>Er (mm)=</b>	121,00	119,00	<b>P. U. (Kg/m<sup>3</sup>)=</b>	2183,48	2144,22

CILINDRO N°	2 Sin Fibra				2 Con Fibra					
	Carga	LECTURA	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Carga	LECTURA	Deformación	Esfuerzo	Deformación
	(KN)	DEFORM.	(mm.)	kg/cm <sup>2</sup>	Unitaria	(KN)	DEFORM.	(mm.)	kg/cm <sup>2</sup>	Unitaria
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000	
25	0	0,000	14,01	0,000000	25	0	0,000	13,94	0,000000	
50	0	0,000	28,01	0,000000	50	0	0,000	27,89	0,000000	
75	0	0,000	42,02	0,000000	75	0	0,000	41,83	0,000000	
100	0	0,000	56,03	0,000000	100	0	0,000	55,77	0,000000	
125	0	0,000	70,04	0,000000	125	0	0,000	69,72	0,000000	
150	0	0,000	84,04	0,000000	150	0	0,000	83,66	0,000000	
175	0	0,000	98,05	0,000000	175	0	0,000	97,60	0,000000	
200	30	0,015	112,06	0,000091	200	12	0,006	111,54	0,000036	
225	50	0,025	126,06	0,000151	225	35	0,018	125,49	0,000105	
250	70	0,035	140,07	0,000211	250	58	0,029	139,43	0,000174	
275	90	0,045	154,08	0,000272	275	79	0,040	153,37	0,000237	
300	115	0,058	168,09	0,000347	300	100	0,050	167,32	0,000300	
325	135	0,068	182,09	0,000408	325	119	0,060	181,26	0,000357	
350	160	0,081	196,10	0,000483	350	145	0,073	195,20	0,000435	
375	183	0,092	210,11	0,000552	375	168	0,084	209,15	0,000505	
400	208	0,105	224,12	0,000628	400	195	0,098	223,09	0,000586	
425	235	0,119	238,12	0,000709	425	220	0,110	237,03	0,000661	
450	265	0,134	252,13	0,000800	450	240	0,121	250,97	0,000721	
475	292	0,147	266,14	0,000882	475	275	0,138	264,92	0,000826	
500	325	0,164	280,14	0,000981	500	300	0,151	278,86	0,000901	
525	358	0,181	294,15	0,001081	525	325	0,163	292,80	0,000976	
550	385	0,194	308,16	0,001162	550	365	0,183	306,75	0,001096	
575	420	0,212	322,17	0,001268	575	405	0,203	320,69	0,001216	
600	445	0,225	336,17	0,001344	600	425	0,213	334,63	0,001276	
625	468	0,236	350,18	0,001413	625	450	0,226	348,58	0,001351	
650	505	0,255	364,19	0,001525	650	480	0,241	362,52	0,001441	
675	549	0,277	378,19	0,001657	675	520	0,261	376,46	0,001562	
700	600	0,303	392,20	0,001811	700	565	0,284	390,40	0,001697	
725	675	0,341	406,21	0,002038	725	615	0,309	404,35	0,001847	
728	690	0,348	407,89	0,002083	750	700	0,351	418,29	0,002102	
					775	770	0,387	432,23	0,002312	
					778	880	0,442	433,91	0,002643	



Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	209780,0	191873,4
Coef. Alfa	10220,0	9089,4
Módulo de Elasticidad corregido	290604,5	228593,9
Coef. Alfa corregido	14157,5	10828,9

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

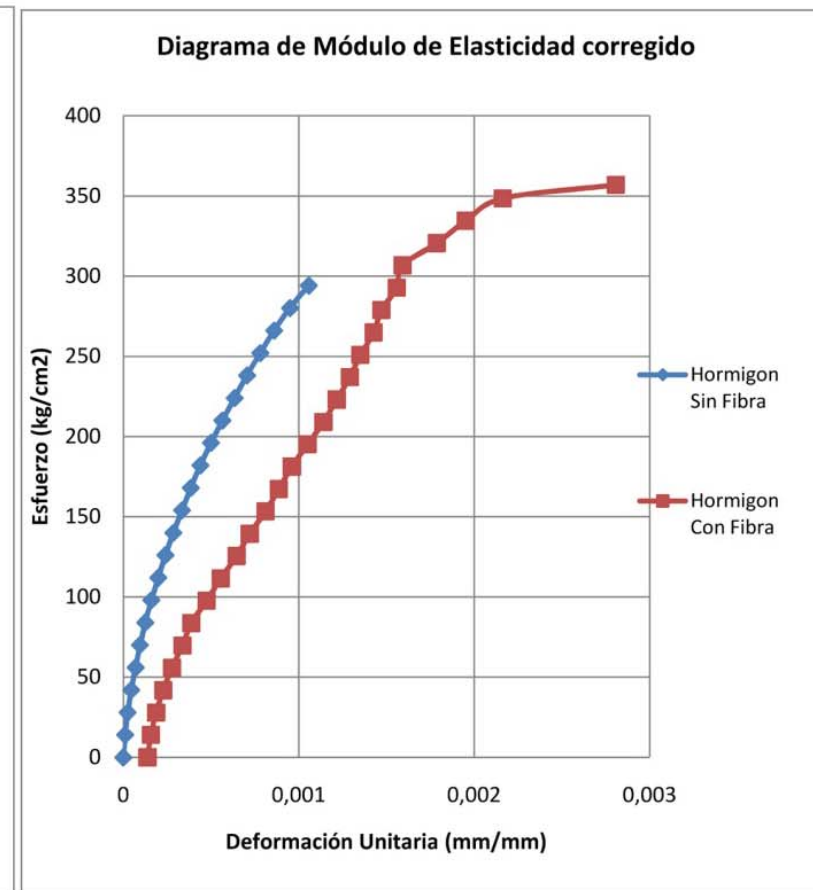
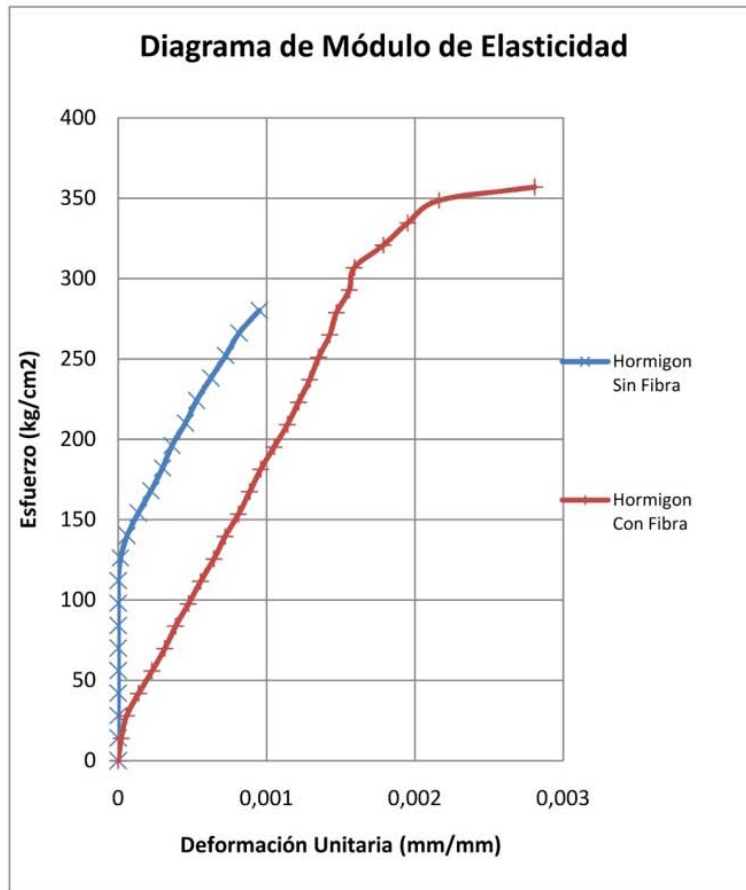
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Pintag  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra	Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,19	15,25	<b>Carga máxima (KN)=</b>	752,00	799,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,36	30,67	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	423,28	445,91
<b>Area(cm2)=</b>	181,10	182,65	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	169,31	178,36
<b>Eg (mm)=</b>	118,50	119,00	<b>Masa (g)=</b>	11980,00	12050,00
<b>Er (mm)=</b>	118,70	120,50	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2178,89	2151,01





Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	199767,2899	162025,478
Coef. Alfa	9709,786891	7672,89419
Módulo de Elasticidad corregido	224483,7848	324208,872
Coef. Alfa corregido	10911,14422	15353,2667

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

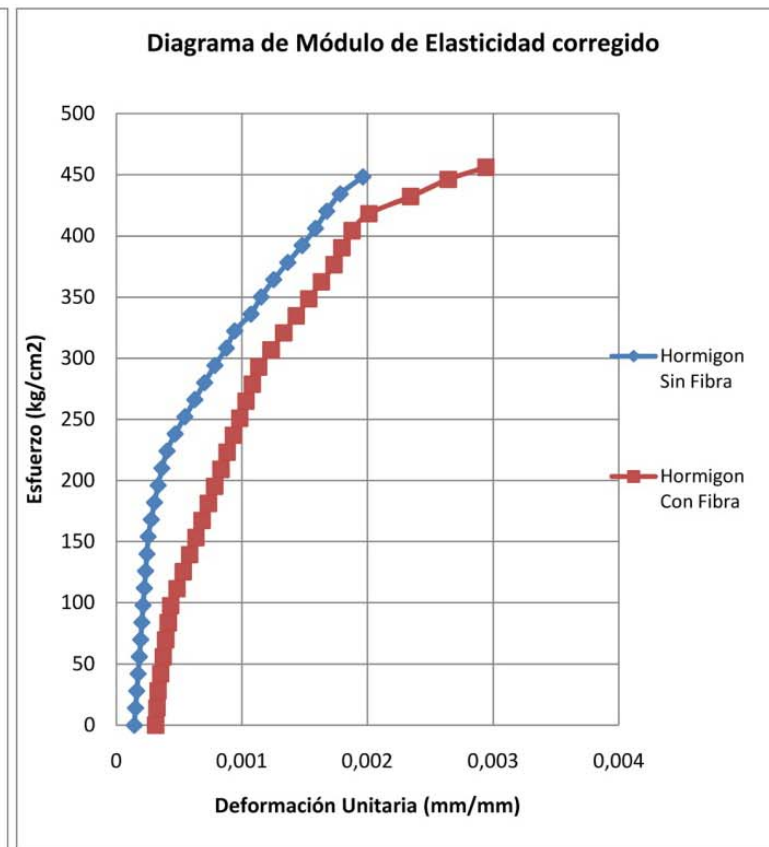
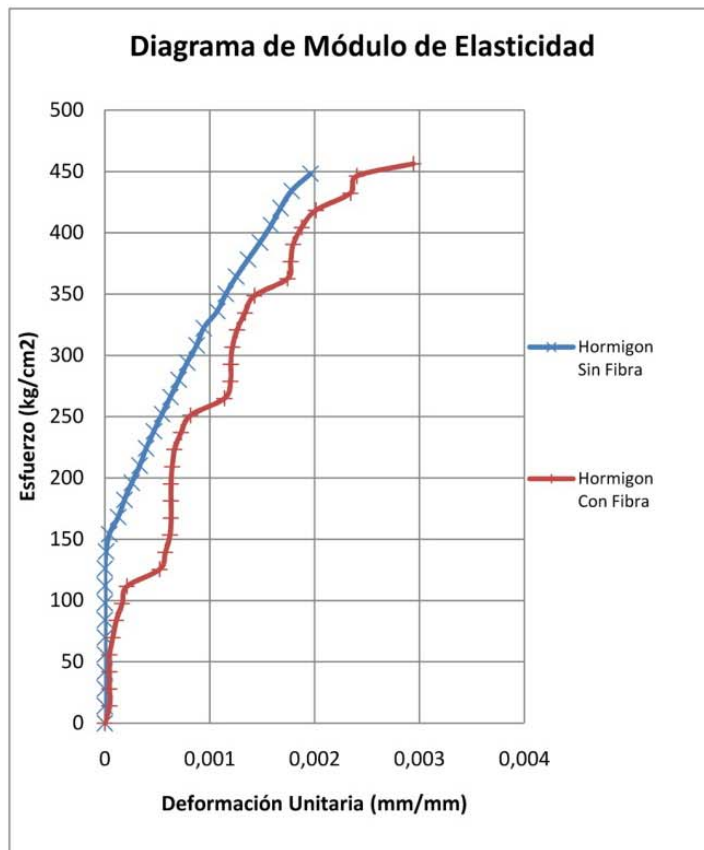
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Pintag  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra	Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,41	15,48	<b>Carga máxima (KN)=</b>	827,00	831,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,62	30,69	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	452,30	450,09
<b>Area(cm2)=</b>	186,39	188,21	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	180,92	180,04
<b>Eg (mm)=</b>	119,90	118,90	<b>Masa (g)=</b>	12260,00	12410,00
<b>Er (mm)=</b>	120,00	119,40	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2148,18	2148,53

CILINDRO N°	2 Sin Fibra				2 Con Fibra					
	Carga	LECTURA	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Carga	LECTURA	Deformación	Esfuerzo	Deformación
	(KN)	DEFORM.	(mm.)	kg/cm <sup>2</sup>	Unitaria	(KN)	DEFORM.	(mm.)	kg/cm <sup>2</sup>	Unitaria
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000	
25	0	0,000	14,01	0,000000	25	15	0,008	13,94	0,000045	
50	0	0,000	28,01	0,000000	50	15	0,008	27,89	0,000045	
75	0	0,000	42,02	0,000000	75	15	0,008	41,83	0,000045	
100	0	0,000	56,03	0,000000	100	15	0,008	55,77	0,000045	
125	0	0,000	70,04	0,000000	125	25	0,013	69,72	0,000075	
150	0	0,000	84,04	0,000000	150	36	0,018	83,66	0,000108	
175	0	0,000	98,05	0,000000	175	55	0,028	97,60	0,000165	
200	0	0,000	112,06	0,000000	200	70	0,035	111,54	0,000210	
225	0	0,000	126,06	0,000000	225	174	0,087	125,49	0,000523	
250	4	0,002	140,07	0,000012	250	192	0,096	139,43	0,000577	
275	14	0,007	154,08	0,000042	275	207	0,104	153,37	0,000622	
300	42	0,021	168,09	0,000127	300	210	0,105	167,32	0,000631	
325	62	0,031	182,09	0,000187	325	210	0,105	181,26	0,000631	
350	85	0,043	196,10	0,000257	350	210	0,105	195,20	0,000631	
375	110	0,056	210,11	0,000332	375	214	0,107	209,15	0,000643	
400	130	0,066	224,12	0,000392	400	221	0,111	223,09	0,000664	
425	155	0,078	238,12	0,000468	425	242	0,122	237,03	0,000727	
450	181	0,091	252,13	0,000546	450	272	0,137	250,97	0,000817	
475	207	0,104	266,14	0,000625	475	380	0,191	264,92	0,001141	
500	233	0,118	280,14	0,000703	500	399	0,200	278,86	0,001198	
525	260	0,131	294,15	0,000785	525	400	0,201	292,80	0,001201	
550	290	0,146	308,16	0,000876	550	405	0,203	306,75	0,001216	
575	312	0,157	322,17	0,000942	575	420	0,211	320,69	0,001261	
600	355	0,179	336,17	0,001072	600	445	0,223	334,63	0,001336	
625	382	0,193	350,18	0,001153	625	475	0,239	348,58	0,001426	
650	415	0,209	364,19	0,001253	650	580	0,291	362,52	0,001742	
675	452	0,228	378,19	0,001365	675	590	0,296	376,46	0,001772	
700	490	0,247	392,20	0,001479	700	598	0,300	390,40	0,001796	
725	525	0,265	406,21	0,001585	725	625	0,314	404,35	0,001877	
750	555	0,280	420,22	0,001676	750	670	0,336	418,29	0,002012	
775	590	0,298	434,22	0,001781	775	780	0,392	432,23	0,002342	
800	650	0,328	448,23	0,001962	800	800	0,402	446,18	0,002402	
					818	980	0,492	456,22	0,002943	



Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	141248,8557	174031,2343
Coef. Alfa	6641,609397	8203,082688
Módulo de Elasticidad corregido	197827,5541	385174,6058
Coef. Alfa corregido	9301,975124	18155,47165

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

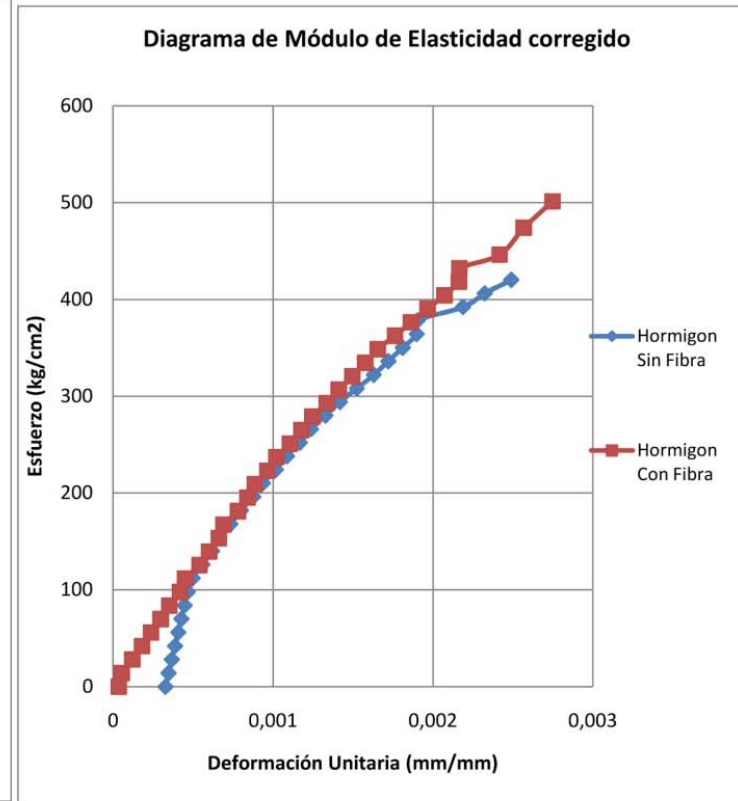
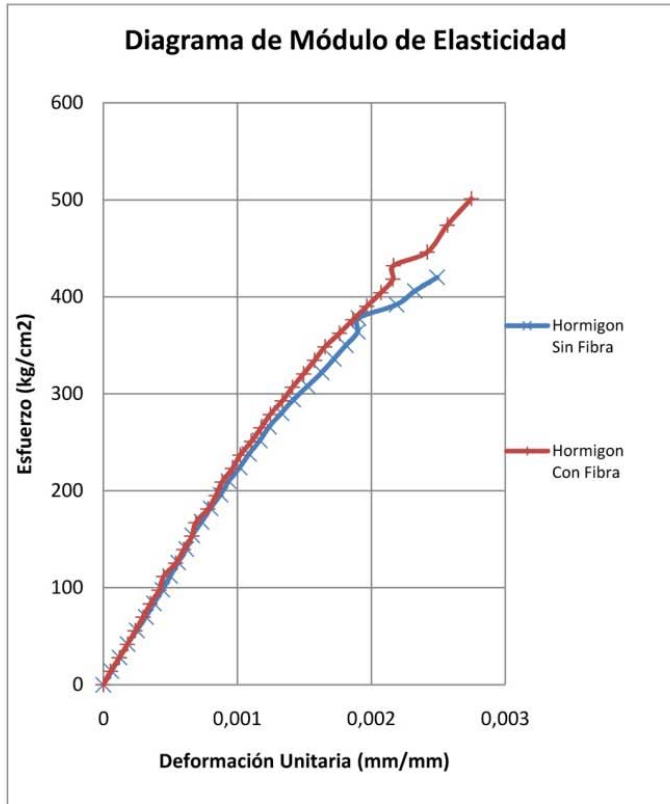
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Pintag  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra	Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,22	15,40	<b>Carga máxima (KN)=</b>	827,00	831,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,69	30,64	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	463,36	454,78
<b>Area(cm2)=</b>	181,94	186,27	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	185,34	181,91
<b>Eg (mm)=</b>	117,80	118,00	<b>Masa (g)=</b>	12000,00	12370,00
<b>Er (mm)=</b>	119,00	118,00	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2149,14	2167,45

CILINDRO N°	3 Sin Fibra				3 Con Fibra				
	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000
25	20	0,010	14,01	0,000060	25	18	0,009	13,94	0,000054
50	40	0,020	28,01	0,000121	50	40	0,020	27,89	0,000120
75	60	0,030	42,02	0,000181	75	60	0,030	41,83	0,000180
100	83	0,042	56,03	0,000251	100	79	0,040	55,77	0,000237
125	105	0,053	70,04	0,000317	125	99	0,050	69,72	0,000297
150	125	0,063	84,04	0,000377	150	117	0,059	83,66	0,000351
175	146	0,074	98,05	0,000441	175	139	0,070	97,60	0,000417
200	165	0,083	112,06	0,000498	200	150	0,075	111,54	0,000450
225	185	0,093	126,06	0,000559	225	180	0,090	125,49	0,000541
250	205	0,103	140,07	0,000619	250	200	0,100	139,43	0,000601
275	220	0,111	154,08	0,000664	275	220	0,110	153,37	0,000661
300	243	0,123	168,09	0,000734	300	230	0,115	167,32	0,000691
325	265	0,134	182,09	0,000800	325	260	0,131	181,26	0,000781
350	290	0,146	196,10	0,000876	350	280	0,141	195,20	0,000841
375	310	0,156	210,11	0,000936	375	295	0,148	209,15	0,000886
400	337	0,170	224,12	0,001017	400	321	0,161	223,09	0,000964
425	360	0,182	238,12	0,001087	425	340	0,171	237,03	0,001021
450	387	0,195	252,13	0,001168	450	368	0,185	250,97	0,001105
475	410	0,207	266,14	0,001238	475	392	0,197	264,92	0,001177
500	440	0,222	280,14	0,001328	500	415	0,208	278,86	0,001246
525	470	0,237	294,15	0,001419	525	445	0,223	292,80	0,001336
550	505	0,255	308,16	0,001525	550	470	0,236	306,75	0,001411
575	540	0,273	322,17	0,001630	575	498	0,250	320,69	0,001496
600	570	0,288	336,17	0,001721	600	525	0,264	334,63	0,001577
625	600	0,303	350,18	0,001811	625	551	0,277	348,58	0,001655
650	629	0,318	364,19	0,001899	650	587	0,295	362,52	0,001763
675	631	0,319	378,19	0,001905	675	620	0,311	376,46	0,001862
700	725	0,366	392,20	0,002189	700	655	0,329	390,40	0,001967
725	770	0,389	406,21	0,002325	725	690	0,346	404,35	0,002072
750	825	0,416	420,22	0,002491	750	720	0,362	418,29	0,002162
					775	721	0,362	432,23	0,002165
					800	805	0,404	446,18	0,002417
					850	855	0,429	474,06	0,002568
					899	915	0,459	501,39	0,002748



Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	226354,2136	230389,638
Coef. Alfa	10515,49994	10803,4532
Módulo de Elasticidad corregido	394177,4775	242214,398
Coef. Alfa corregido	18311,88904	11357,941

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

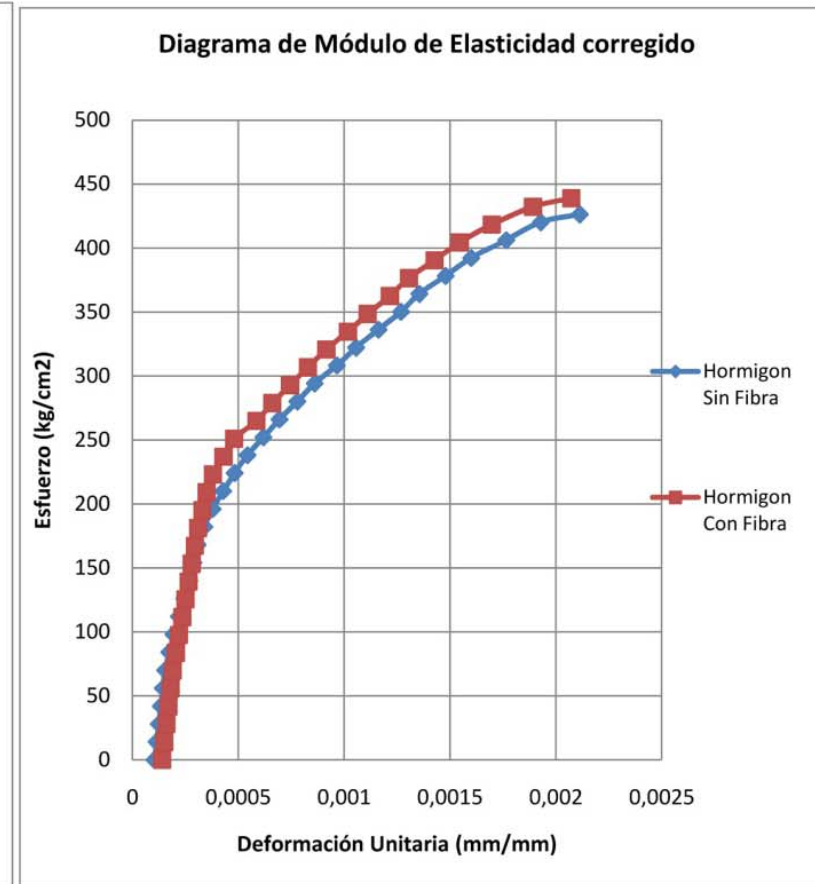
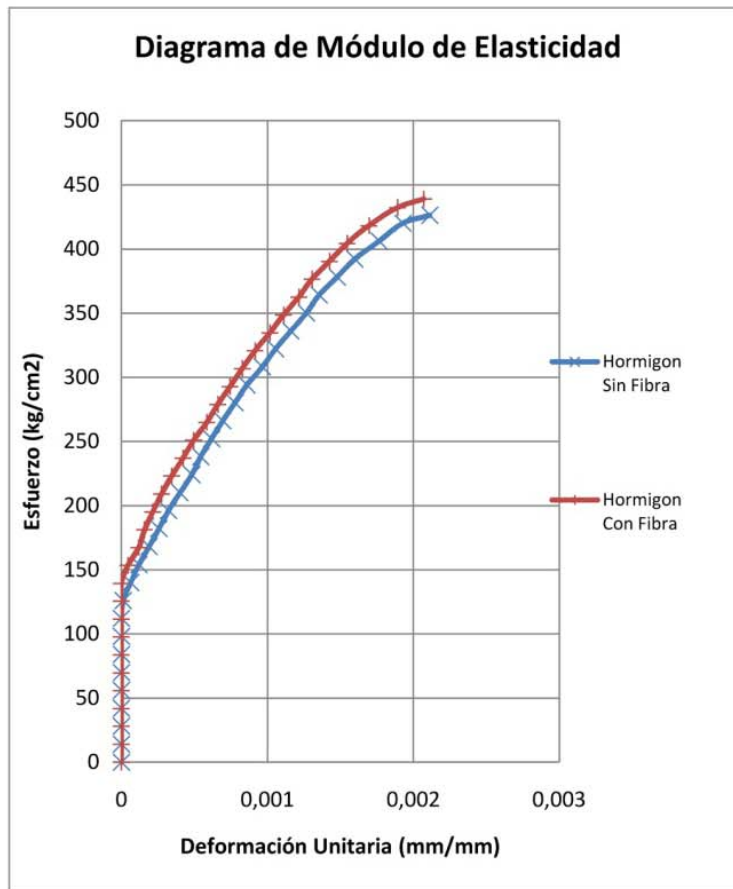
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Pintag  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra	Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,45	15,21	<b>Carga máxima (KN)=</b>	799,00	865,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,57	30,74	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	434,44	485,61
<b>Area(cm2)=</b>	187,48	181,58	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	173,78	194,24
<b>Eg (mm)=</b>	118,30	120,44	<b>Masa (g)=</b>	12330,00	11930,00
<b>Er (mm)=</b>	117,00	118,39	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2151,39	2137,34

CILINDRO N°	2 Sin Fibra				2 Con Fibra				
	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000
25	0	0,000	14,01	0,000000	25	0	0,000	13,94	0,000000
50	0	0,000	28,01	0,000000	50	0	0,000	27,89	0,000000
75	0	0,000	42,02	0,000000	75	0	0,000	41,83	0,000000
100	0	0,000	56,03	0,000000	100	0	0,000	55,77	0,000000
125	0	0,000	70,04	0,000000	125	0	0,000	69,72	0,000000
150	0	0,000	84,04	0,000000	150	0	0,000	83,66	0,000000
175	0	0,000	98,05	0,000000	175	0	0,000	97,60	0,000000
200	0	0,000	112,06	0,000000	200	0	0,000	111,54	0,000000
225	4	0,002	126,06	0,000012	225	0	0,000	125,49	0,000000
250	21	0,011	140,07	0,000063	250	0	0,000	139,43	0,000000
275	40	0,020	154,08	0,000121	275	15	0,008	153,37	0,000045
300	63	0,032	168,09	0,000190	300	40	0,020	167,32	0,000120
325	85	0,043	182,09	0,000257	325	53	0,027	181,26	0,000159
350	107	0,054	196,10	0,000323	350	72	0,036	195,20	0,000216
375	133	0,067	210,11	0,000402	375	92	0,046	209,15	0,000276
400	160	0,081	224,12	0,000483	400	115	0,058	223,09	0,000345
425	180	0,091	238,12	0,000543	425	141	0,071	237,03	0,000423
450	205	0,103	252,13	0,000619	450	165	0,083	250,97	0,000496
475	230	0,116	266,14	0,000694	475	195	0,098	264,92	0,000586
500	258	0,130	280,14	0,000779	500	220	0,110	278,86	0,000661
525	285	0,144	294,15	0,000860	525	248	0,125	292,80	0,000745
550	320	0,162	308,16	0,000966	550	276	0,139	306,75	0,000829
575	350	0,177	322,17	0,001057	575	305	0,153	320,69	0,000916
600	385	0,194	336,17	0,001162	600	339	0,170	334,63	0,001018
625	420	0,212	350,18	0,001268	625	370	0,186	348,58	0,001111
650	449	0,227	364,19	0,001356	650	405	0,203	362,52	0,001216
675	490	0,247	378,19	0,001479	675	435	0,218	376,46	0,001306
700	530	0,268	392,20	0,001600	700	475	0,239	390,40	0,001426
725	585	0,295	406,21	0,001766	725	515	0,259	404,35	0,001547
750	639	0,323	420,22	0,001929	750	565	0,284	418,29	0,001697
761	700	0,353	426,38	0,002113	775	630	0,316	432,23	0,001892
					787	690	0,346	438,93	0,002072



Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	203761,1867	194608,5391
Coef. Alfa	9775,883103	8831,199743
Módulo de Elasticidad corregido	328193,765	350192,5329
Coef. Alfa corregido	15745,80485	15891,49284

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez

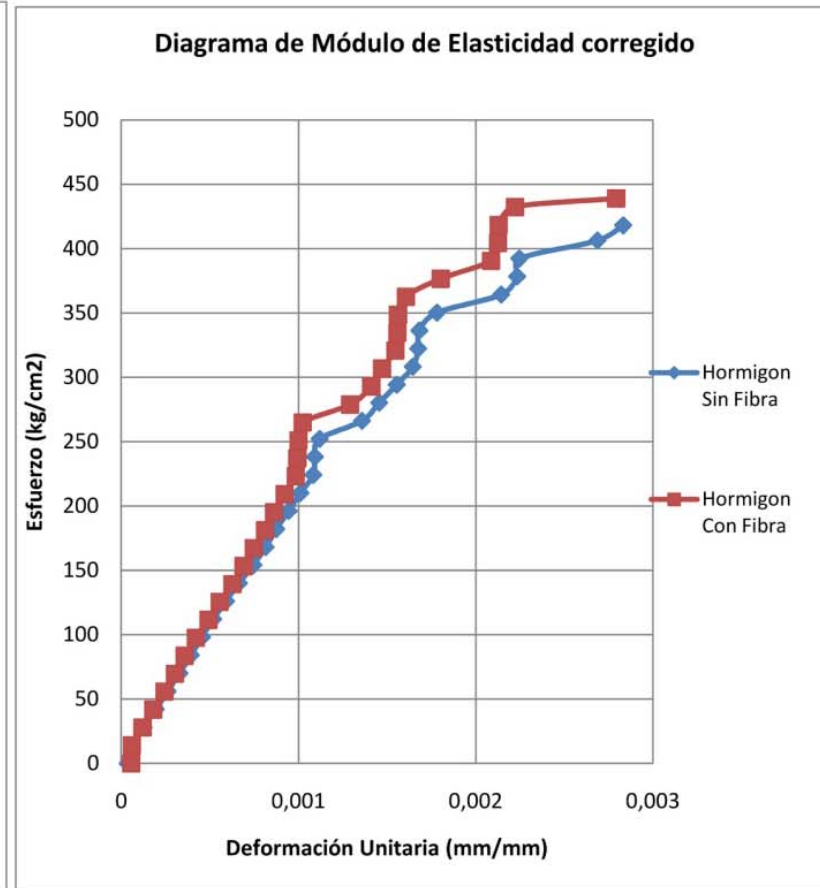
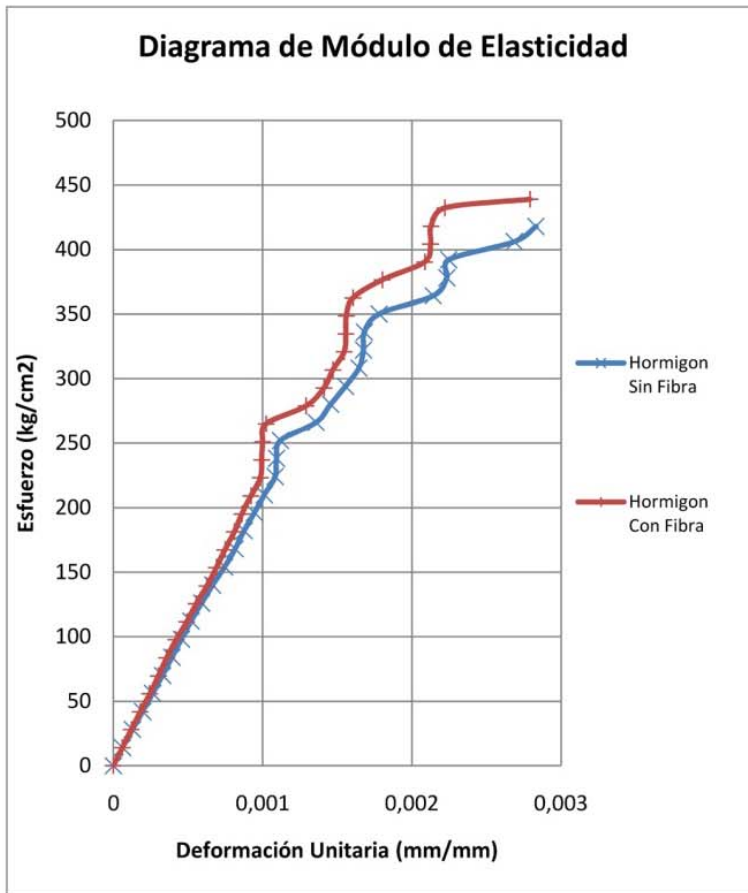
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Pintag  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra	Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,16	15,30	<b>Carga máxima (KN)=</b>	799,00	865,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,46	30,50	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	451,22	479,59
<b>Area(cm2)=</b>	180,50	183,85	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	180,49	191,84
<b>Eg (mm)=</b>	118,10	120,70	<b>Masa (g)=</b>	12010,00	12040,00
<b>Er (mm)=</b>	118,00	120,20	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2184,36	2147,10

CILINDRO N°	3 Sin Fibra				3 Con Fibra				
	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000
25	20	0,010	14,01	0,000060	25	20	0,010	13,94	0,000060
50	42	0,021	28,01	0,000127	50	40	0,020	27,89	0,000120
75	65	0,033	42,02	0,000196	75	60	0,030	41,83	0,000180
100	87	0,044	56,03	0,000263	100	81	0,041	55,77	0,000243
125	109	0,055	70,04	0,000329	125	101	0,051	69,72	0,000303
150	130	0,066	84,04	0,000392	150	119	0,060	83,66	0,000357
175	151	0,076	98,05	0,000456	175	140	0,070	97,60	0,000420
200	172	0,087	112,06	0,000519	200	164	0,082	111,54	0,000492
225	196	0,099	126,06	0,000592	225	185	0,093	125,49	0,000556
250	220	0,111	140,07	0,000664	250	209	0,105	139,43	0,000628
275	247	0,125	154,08	0,000746	275	230	0,115	153,37	0,000691
300	270	0,136	168,09	0,000815	300	249	0,125	167,32	0,000748
325	290	0,146	182,09	0,000876	325	270	0,136	181,26	0,000811
350	313	0,158	196,10	0,000945	350	287	0,144	195,20	0,000862
375	335	0,169	210,11	0,001011	375	307	0,154	209,15	0,000922
400	359	0,181	224,12	0,001084	400	328	0,165	223,09	0,000985
425	362	0,183	238,12	0,001093	425	331	0,166	237,03	0,000994
450	371	0,187	252,13	0,001120	450	333	0,167	250,97	0,001000
475	450	0,227	266,14	0,001359	475	341	0,171	264,92	0,001024
500	482	0,243	280,14	0,001455	500	430	0,216	278,86	0,001291
525	515	0,260	294,15	0,001555	525	470	0,236	292,80	0,001411
550	545	0,275	308,16	0,001645	550	490	0,246	306,75	0,001471
575	555	0,280	322,17	0,001676	575	515	0,259	320,69	0,001547
600	557	0,281	336,17	0,001682	600	519	0,261	334,63	0,001559
625	590	0,298	350,18	0,001781	625	520	0,261	348,58	0,001562
650	710	0,358	364,19	0,002144	650	535	0,269	362,52	0,001607
675	740	0,374	378,19	0,002234	675	600	0,301	376,46	0,001802
700	744	0,376	392,20	0,002246	700	695	0,349	390,40	0,002087
725	890	0,449	406,21	0,002687	725	708	0,355	404,35	0,002126
746	938	0,474	417,98	0,002832	750	709	0,356	418,29	0,002129
					775	740	0,372	432,23	0,002222
					787	930	0,467	438,93	0,002793



Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	206308,8078	225413,0695
Coef. Alfa	9712,320947	10292,99862
Módulo de Elasticidad corregido	215988,3673	242625,1704
Coef. Alfa corregido	10168,00187	11078,95185

GUAYLLABAMBA

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yánez  
**FECHA:**

**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

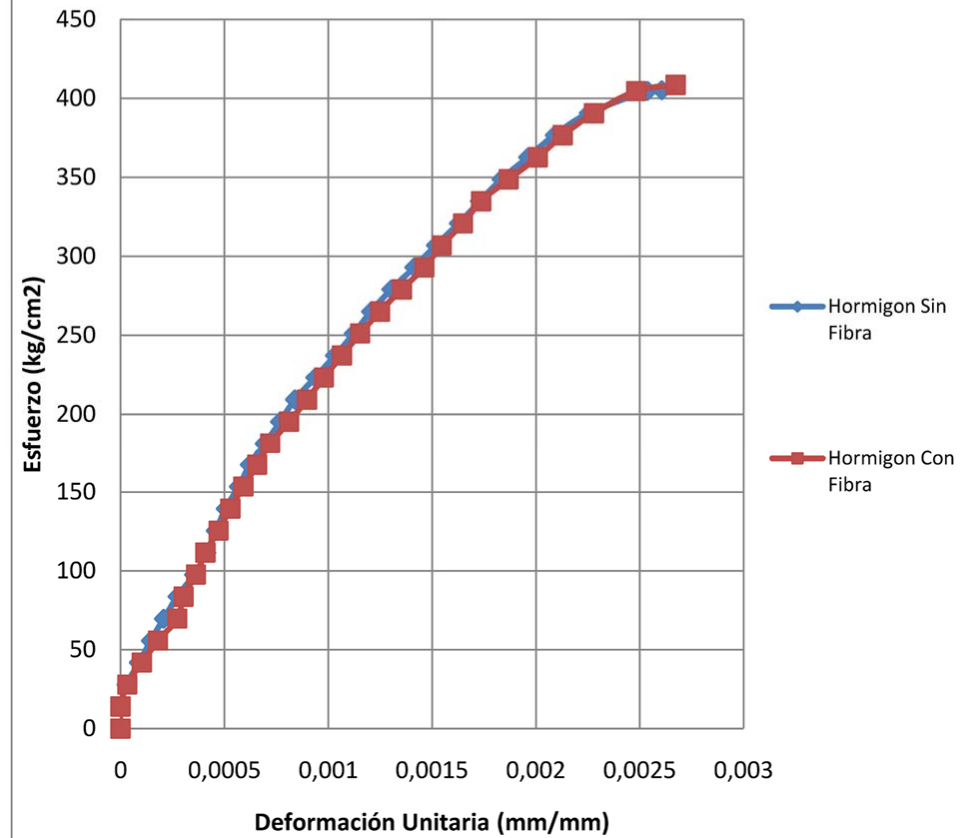
**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 1.5 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Guayllabamba  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra	Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,25	15,25	<b>Carga máxima (KN)=</b>	592,00	714,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,55	30,45	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	330,39	398,47
<b>Area(cm2)=</b>	182,65	182,65	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	132,15	159,39
<b>Eg (mm)=</b>	120,00	118,00	<b>Masa (g)=</b>	12550	12490
<b>Er (mm)=</b>	119,00	119,00	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2249,06	2245,66

CILINDRO N°	2 Sin Fibra				2 Con Fibra				
	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000
25	0	0,000	13,95	0,000000	25	0	0,000	13,95	0,000000
50	10	0,005	27,90	0,000030	50	11	0,006	27,90	0,000033
75	30	0,015	41,86	0,000089	75	34	0,017	41,86	0,000102
100	49	0,024	55,81	0,000146	100	60	0,030	55,81	0,000180
125	70	0,035	69,76	0,000208	125	91	0,046	69,76	0,000273
150	92	0,046	83,71	0,000274	150	101	0,051	83,71	0,000303
175	119	0,059	97,67	0,000354	175	121	0,061	97,67	0,000363
200	139	0,069	111,62	0,000414	200	136	0,068	111,62	0,000408
225	154	0,077	125,57	0,000459	225	157	0,079	125,57	0,000471
250	170	0,085	139,52	0,000506	250	176	0,088	139,52	0,000529
275	191	0,095	153,47	0,000569	275	197	0,099	153,47	0,000592
300	209	0,104	167,43	0,000622	300	219	0,110	167,43	0,000658
325	233	0,116	181,38	0,000694	325	240	0,121	181,38	0,000721
350	258	0,128	195,33	0,000768	350	270	0,136	195,33	0,000811
375	282	0,140	209,28	0,000840	375	299	0,150	209,28	0,000898
400	315	0,157	223,23	0,000938	400	326	0,164	223,23	0,000979
425	347	0,173	237,19	0,001033	425	355	0,178	237,19	0,001066
450	377	0,188	251,14	0,001123	450	384	0,193	251,14	0,001153
475	405	0,202	265,09	0,001206	475	416	0,209	265,09	0,001249
500	438	0,218	279,04	0,001304	500	451	0,226	279,04	0,001354
525	475	0,237	293,00	0,001415	525	487	0,245	293,00	0,001462
550	510	0,254	306,95	0,001519	550	515	0,259	306,95	0,001547
575	547	0,272	320,90	0,001629	575	549	0,276	320,90	0,001649
600	581	0,289	334,85	0,001730	600	578	0,290	334,85	0,001736
625	616	0,307	348,80	0,001834	625	622	0,312	348,80	0,001868
650	659	0,328	362,76	0,001962	650	669	0,336	362,76	0,002009
675	702	0,350	376,71	0,002090	675	709	0,356	376,71	0,002129
700	757	0,377	390,66	0,002254	700	759	0,381	390,66	0,002279
725	852	0,424	404,61	0,002537	725	827	0,415	404,61	0,002484
726	875	0,436	405,17	0,002606	732	890	0,447	408,52	0,002673

**Diagrama de Módulo de Elasticidad**



Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	214660,067	213101,1
Coef. Alfa	11809,7226	10675,4422

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**FECHA:**

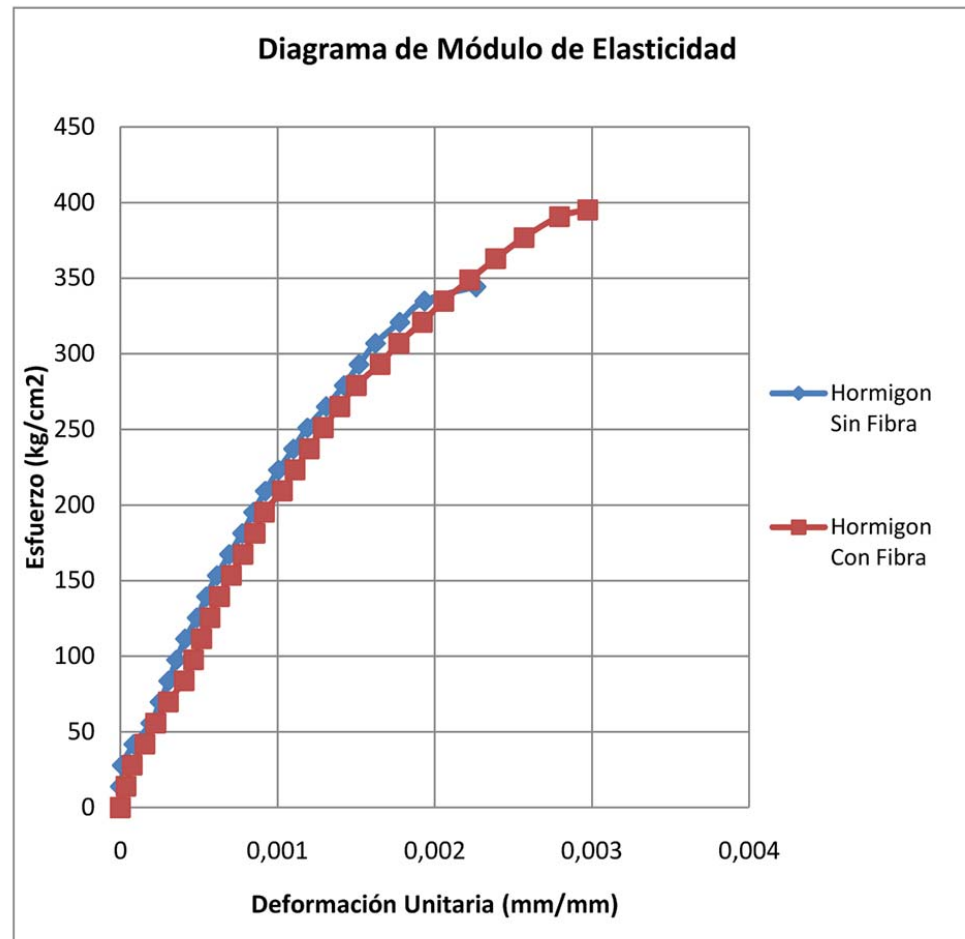
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Guayllabamba  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	1 Sin Fibra	2 Con Fibra	Cilindro N°	1 Sin Fibra	2 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,18	15,23	<b>Carga máxima (KN)=</b>	861,00	730,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,23	30,63	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	484,95	408,74
<b>Area(cm2)=</b>	180,98	182,06	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	193,98	163,50
<b>Eg (mm)=</b>	122,50	120,00	<b>Masa (g)=</b>	12560	12510
<b>Er (mm)=</b>	119,00	120,00	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2295,71	2243,39





Cilindro N°	1 Sin Fibra	2 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	197912,5985	185549,7616
Coef. Alfa	8987,172573	9177,739284

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**FECHA:**

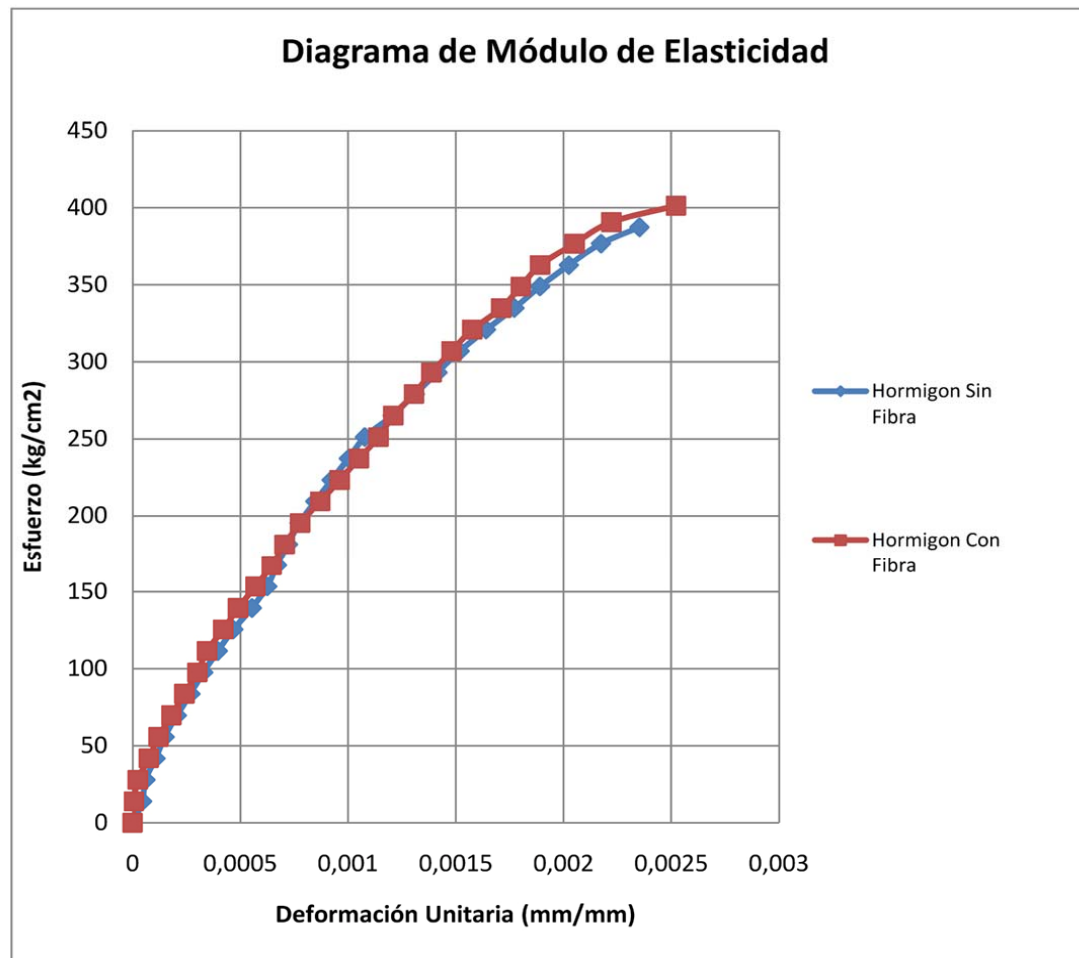
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.0 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Guayllabamba  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra	Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,32	15,14	<b>Carga máxima (KN)=</b>	861,00	730,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,25	30,42	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	476,13	413,34
<b>Area(cm2)=</b>	184,33	180,03	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	190,45	165,34
<b>Eg (mm)=</b>	119,20	119,50	<b>Masa (g)=</b>	12780	12490
<b>Er (mm)=</b>	118,00	119,50	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2291,91	2280,66

CILINDRO N°	3 Sin Fibra				3 Con Fibra				
	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000
25	15	0,007	13,95	0,000045	25	2	0,001	13,95	0,000006
50	20	0,010	27,90	0,000060	50	8	0,004	27,90	0,000024
75	36	0,018	41,86	0,000107	75	25	0,013	41,86	0,000075
100	50	0,025	55,81	0,000149	100	40	0,020	55,81	0,000120
125	69	0,034	69,76	0,000205	125	60	0,030	69,76	0,000180
150	90	0,045	83,71	0,000268	150	80	0,040	83,71	0,000240
175	110	0,055	97,67	0,000328	175	100	0,050	97,67	0,000300
200	133	0,066	111,62	0,000396	200	115	0,058	111,62	0,000345
225	157	0,078	125,57	0,000468	225	140	0,070	125,57	0,000420
250	186	0,093	139,52	0,000554	250	163	0,082	139,52	0,000489
275	210	0,105	153,47	0,000625	275	190	0,095	153,47	0,000571
300	225	0,112	167,43	0,000670	300	215	0,108	167,43	0,000646
325	242	0,120	181,38	0,000721	325	235	0,118	181,38	0,000706
350	260	0,129	195,33	0,000774	350	259	0,130	195,33	0,000778
375	285	0,142	209,28	0,000849	375	290	0,146	209,28	0,000871
400	310	0,154	223,23	0,000923	400	320	0,161	223,23	0,000961
425	337	0,168	237,19	0,001004	425	350	0,176	237,19	0,001051
450	362	0,180	251,14	0,001078	450	380	0,191	251,14	0,001141
475	405	0,202	265,09	0,001206	475	403	0,202	265,09	0,001210
500	440	0,219	279,04	0,001310	500	435	0,218	279,04	0,001306
525	475	0,237	293,00	0,001415	525	462	0,232	293,00	0,001387
550	510	0,254	306,95	0,001519	550	493	0,248	306,95	0,001481
575	551	0,274	320,90	0,001641	575	525	0,264	320,90	0,001577
600	595	0,296	334,85	0,001772	600	570	0,286	334,85	0,001712
625	635	0,316	348,80	0,001891	625	600	0,301	348,80	0,001802
650	680	0,339	362,76	0,002025	650	630	0,316	362,76	0,001892
675	730	0,363	376,71	0,002174	675	683	0,343	376,71	0,002051
694	790	0,393	387,31	0,002353	700	740	0,372	390,66	0,002222
					719	840	0,422	401,26	0,002523



Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	183762,9771	211780,7686
Coef. Alfa	8421,600818	10416,70607

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**FECHA:**

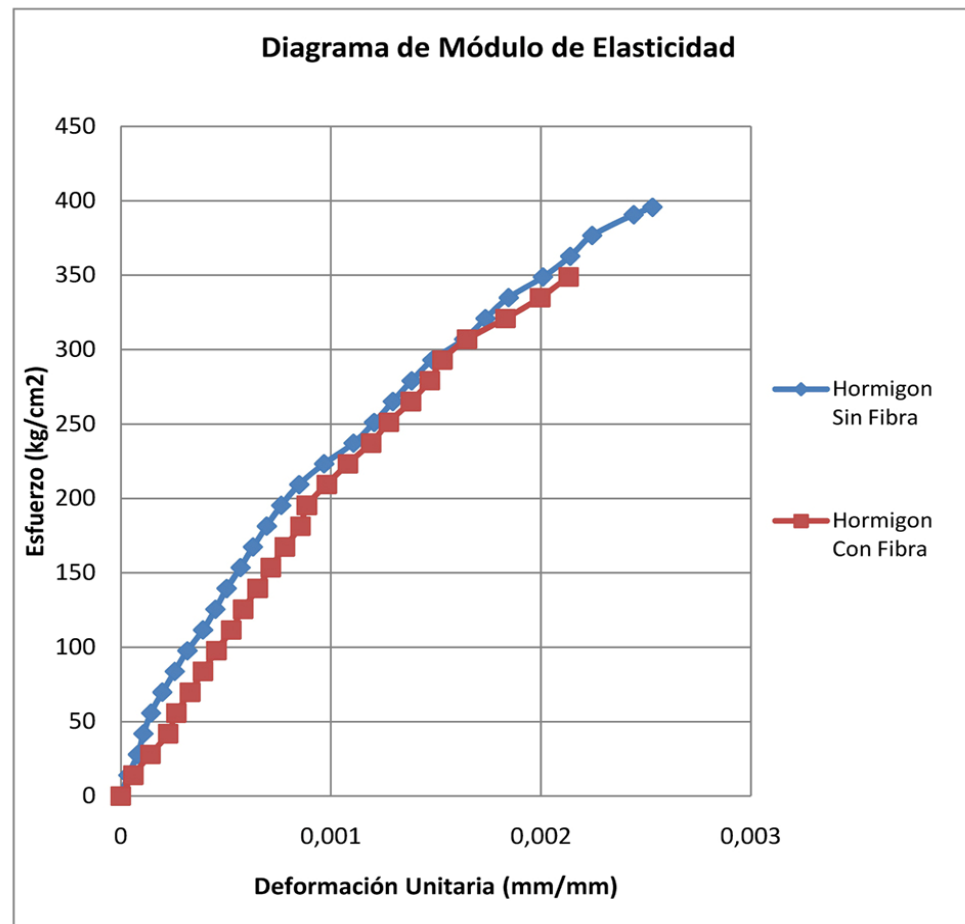
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Guayllabamba  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra	Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,46	15,38	<b>Carga máxima (KN)=</b>	683,00	687,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,56	30,63	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	370,89	377,20
<b>Area(cm2)=</b>	187,72	185,66	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	148,36	150,88
<b>Eg (mm)=</b>	117,80	117,90	<b>Masa (g)=</b>	12900,00	12710,00
<b>Er (mm)=</b>	118,00	118,00	<b>P. U. (Kg/m3 )=</b>	2248,67	2235,00

CILINDRO N°	2 Sin Fibra				2 Con Fibra				
	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria	Carga (KN)	LECTURA DEFORM.	Deformación (mm.)	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0,00	0,000000	0	0	0	0,00	0,000000
25	20	0,010	13,95	0,000060	25	20	0,010	13,95	0,000060
50	42	0,021	27,90	0,000125	50	47	0,024	27,90	0,000141
75	60	0,030	41,86	0,000179	75	75	0,038	41,86	0,000225
100	82	0,041	55,81	0,000244	100	88	0,044	55,81	0,000264
125	100	0,050	69,76	0,000298	125	110	0,055	69,76	0,000330
150	120	0,060	83,71	0,000357	150	117	0,059	83,71	0,000351
175	140	0,070	97,67	0,000417	175	125	0,063	97,67	0,000375
200	165	0,082	111,62	0,000491	200	175	0,088	111,62	0,000526
225	185	0,092	125,57	0,000551	225	194	0,097	125,57	0,000583
250	203	0,101	139,52	0,000605	250	217	0,109	139,52	0,000652
275	225	0,112	153,47	0,000670	275	238	0,120	153,47	0,000715
300	245	0,122	167,43	0,000730	300	260	0,131	167,43	0,000781
325	267	0,133	181,38	0,000795	325	285	0,143	181,38	0,000856
350	290	0,144	195,33	0,000864	350	295	0,148	195,33	0,000886
375	302	0,150	209,28	0,000899	375	310	0,156	209,28	0,000931
400	325	0,162	223,23	0,000968	400	340	0,171	223,23	0,001021
425	372	0,185	237,19	0,001108	425	397	0,199	237,19	0,001192
450	405	0,202	251,14	0,001206	450	425	0,213	251,14	0,001276
475	435	0,217	265,09	0,001295	475	460	0,231	265,09	0,001381
500	465	0,232	279,04	0,001385	500	490	0,246	279,04	0,001471
525	498	0,248	293,00	0,001483	525	510	0,256	293,00	0,001532
550	515	0,256	306,95	0,001534	550	549	0,276	306,95	0,001649
575	583	0,290	320,90	0,001736	575	610	0,306	320,90	0,001832
600	620	0,309	334,85	0,001846	600	665	0,334	334,85	0,001997
625	675	0,336	348,80	0,002010	625	710	0,356	348,80	0,002132
650	685	0,341	362,76	0,002040					
675	720	0,358	376,71	0,002144					
700	820	0,408	390,66	0,002442					
709	850	0,423	395,68	0,002531					



Cilindro N°	2 Sin Fibra	2 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	229266,6481	213268,891
Coef. Alfa	11904,72763	10981,046

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES**

**OBRA:** Tesis Mejoramiento de la resistencia del hormigón con fibras sintéticas  
**ENSAYADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José  
**CALCULADO POR:** Rivera Miguel y Sosa José

**APROBADO POR:** Ing. Gustavo Yáñez  
**FECHA:**

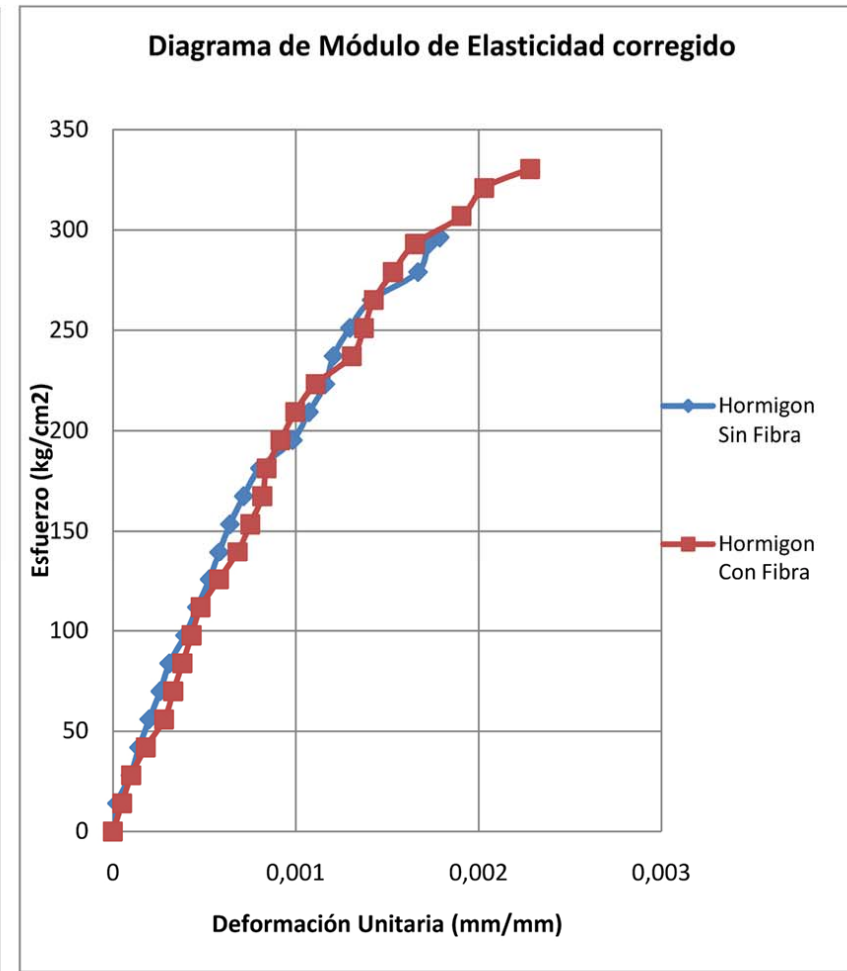
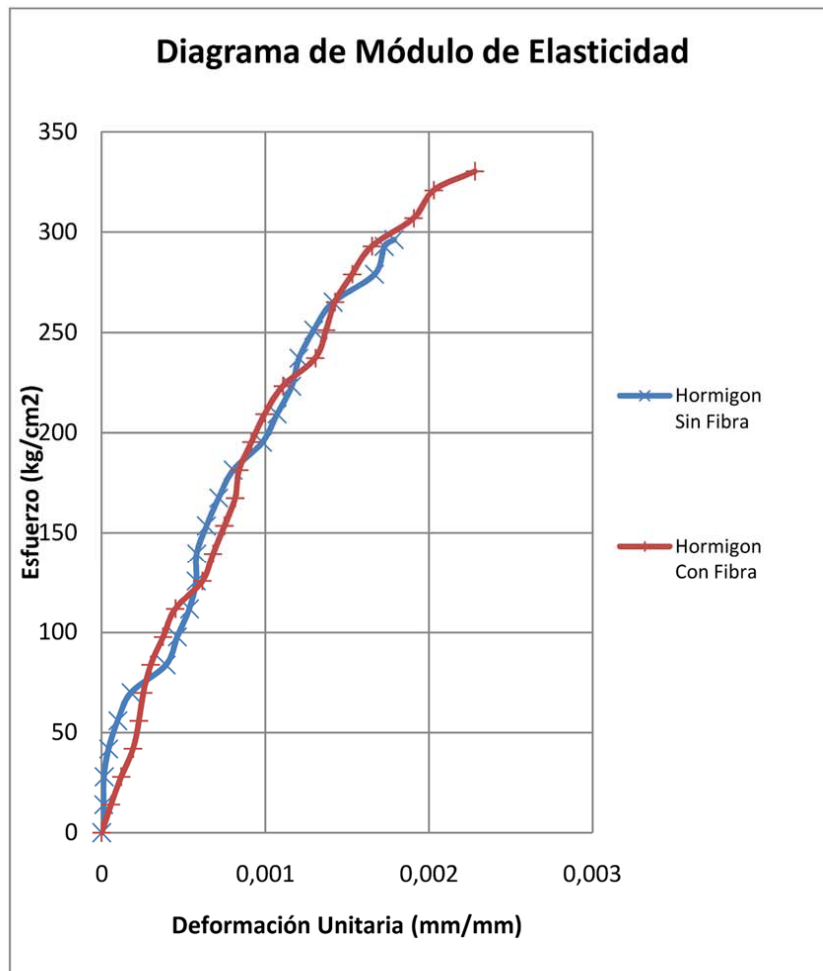
**TABLAS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

**CARACTERÍSTICAS:** Hormigón de 300 Kg./cm<sup>2</sup>  
**CANTIDAD DE FIBRA:** 2.5 kg/m<sup>3</sup>  
**CANTERA:** Guayllabamba  
**EDAD:** 28 DÍAS

**Datos iniciales de cálculo:**

Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra	Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
<b>Diámetro (cm):</b>	15,20	15,20	<b>Carga máxima (KN)=</b>	683,00	687,00
<b>Altura(cm) :</b>	30,50	30,53	<b>f'c diseño (kg/cm2)=</b>	300,00	300,00
<b>Lo (mm):</b>	167,20	167,20	<b>f'c max (kg/cm2) =</b>	383,68	385,93
<b>Area(cm2)=</b>	181,46	181,46	<b>0.4f'cmax (kg/cm2) =</b>	153,47	154,37
<b>Eg (mm)=</b>	119,00	118,00	<b>Masa (g)=</b>	12490,00	12380,00
<b>Er (mm)=</b>	121,00	117,00	<b>P. U. (Kg/m3) =</b>	2256,76	2234,68





Cilindro N°	3 Sin Fibra	3 Con Fibra
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	168212,4985	201620,6926
Coef. Alfa	8587,58289	10263,12849

## 8.4 ANEXO D: Fichas Técnicas y documentos de la fibra del ACI.

Title no. 103-M01

### Effect of Synthetic Fibers on Structural Behavior of Concrete Slabs-on-Ground

by Jeffery R. Roesler, Salah A. Altoubat, David A. Lange, Klaus-Alexander Rieder, and Gregory R. Ulreich

*Large-scale load testing was completed on both plain and fiber-reinforced concrete slabs-on-ground. The fiber-reinforced concrete used a new synthetic macrofiber. Although the synthetic fibers did not alter the tensile cracking load of the plain concrete slab, the flexural cracking load of the plain concrete slab was increased by 25 and 32% with synthetic fiber addition of 0.32 and 0.48% by volume, respectively, for the center loading configuration. Similarly, synthetic fibers at 0.48% volume fraction increased the flexural cracking load of plain concrete slab under edge loading by 28%. The ultimate load capacity of the plain concrete slab under center loading was increased by 20 and 34% with the addition of 0.32 and 0.48% synthetic fibers, respectively. Embedded strain gauges in the concrete slabs and deflection profile measurements indicated the fibers effectively distributed the load throughout the slab volume as cracking progressed, resulting in the increased concrete slab flexural and ultimate capacities.*

**Keywords:** fibers; slabs; strength; testing.

#### INTRODUCTION

Mindess et al. (2003) reported that 60% of fiber applications are for concrete slabs-on-ground, for which they have been used as secondary reinforcement (Bentur and Mindess 1990; Balaguru and Shah 1992). Steel fibers are prominent in early literature to improve the mechanical properties of concrete slabs. Steel fibers offer increased toughness, abrasion and impact resistance, and allow for increased slab sizes. Synthetic fibers, such as polypropylene, have primarily been used in concrete materials to control and reduce plastic shrinkage cracking (Naaman et al. 1984; Zollo and Ilter 1986; Grzybowski and Shah 1990; Bentur and Mindess 1990; Shah et al. 1994). Synthetic fibers have also shown to improve impact resistance (Mindess and Vondran 1988; Berke and Dallaire 1994); offer increases in concrete toughness, especially when fiber volume contents exceed 1% (Hughes and Fattuhi 1976; Hasaba et al. 1984; Mindess et al. 2003); and also increase water tightness of concrete structures (Bentur and Mindess 1990; Mindess et al. 2003). The main types of polymeric fiber materials used are nylon, polypropylene, and polyethylene. The existing fibers come in a variety of shapes, aspect ratios, and packaging.

A large-scale slab testing program was conducted to characterize and compare the structural behavior of fiber-reinforced concrete slabs under interior and edge loading conditions. Two steel fiber types, a new synthetic fiber type, and welded wire reinforcement were evaluated in the test program. The new synthetic structural fiber was developed to achieve similar structural behavior as steel fiber-reinforced concrete slabs-on-ground (Rieder et al. 2003). Previous research has shown little increase in toughness when low-modulus synthetic fibers were introduced into plain concrete at fiber

contents of less than 0.5% (Gopalaratnam et al. 1991; Berke and Dallaire 1994; Khajuria et al. 1994). The synthetic macrofiber used in the test program has a higher modulus of elasticity and an optimized geometry to enhance the bond between the fiber and the matrix, which leads to an increase in the toughness properties of concrete.

Past full-scale testing of slabs-on-ground has focused on the effect of discrete steel fibers on the monotonic behavior of plain concrete (Sham and Burgoyne 1986; Beckett and Humphreys 1989; Beckett 1990; Tatnall and Kuitenbrouwer 1992; Falkner and Teutsch 1993; Beckett et al. 1999; Meda et al. 2003). The test data published in the literature were obtained with several different boundary conditions, load locations, and slab geometries. Full-scale slab studies have shown that steel fibers increase the flexural and ultimate load-carrying capacity of concrete slabs, and the magnitude of the increase is related to the fiber volume and aspect ratio (Sham and Burgoyne 1986; Beckett 1990; Falkner et al. 1995; Beckett et al. 1999).

The equivalent flexural strength  $f_{e,3}$  is one parameter to characterize the toughness of fiber-reinforced concrete. The equivalent flexural strength is the average strength, which gives the same flexural toughness up to a beam deflection of 3 mm for a 450 mm span (JSCE 1984). The equivalent flexural strength is calculated as

$$f_{e,3} = \frac{1000TL}{3bh^2} \quad (1)$$

where  $T$  is the area under the load-deflection curve (in N-m) up to a beam deflection of 3 mm;  $L$  is the span between the supports (mm);  $b$  is the width of the beam (mm); and  $h$  is the depth of the beam (mm). The equivalent flexural strength ratio  $R_{e,3}$  is defined as the ratio between the  $f_{e,3}$  value and the concrete flexural strength (JSCE 1984). The addition of the new synthetic structural fiber to plain concrete beams has shown similar  $R_{e,3}$  values to steel fiber-reinforced concrete (Altoubat et al. 2004). Large-scale slab tests were required to determine if the beam toughness results could be used to predict the flexural and ultimate capacity of the synthetic fiber-reinforced slabs in the same manner as previous research had done with steel fibers (Beckett 1995, 1998; Meda 2003). This type of testing is essential for new fiber

ACI Materials Journal, V. 103, No. 1, January-February 2006.

MS No. 03-432 received June 29, 2004, and reviewed under Institute publication policies. Copyright © 2006, American Concrete Institute. All rights reserved, including the making of copies unless permission is obtained from the copyright proprietors. Pertinent discussion including authors' closure, if any, will be published in the November-December 2006 ACI Materials Journal if the discussion is received by August 1, 2006.

ACI Member **Jeffery R. Roessler** is an assistant professor of civil engineering at the University of Illinois, Urbana, Ill., where he received his PhD. His research interests include concrete fracture and fatigue, concrete pavement design, concrete slab curling, and structural application of fiber-reinforced concrete.

ACI member **Salah A. Altoubat** is an assistant professor of civil engineering at the University of Sharjah, United Arab Emirates. He received his PhD in civil engineering from the University of Illinois at Urbana-Champaign in 2000. He received the ACI Wason Medal for Most Meritorious Paper in 2003. His research interests include structural applications of fiber-reinforced concrete, early-age behavior of concrete, creep, and shrinkage and cracking of concrete.

**David A. Lange**, F.ACI, is a professor of civil engineering at the University of Illinois at Urbana-Champaign. He received his PhD from Northwestern University, Evanston, Ill. He is a member of ACI Committees 209, Creep and Shrinkage in Concrete; 237, Self-Consolidating Concrete; 365, Service Life Protection; 544, Fiber Reinforced Concrete; 549, Thin Reinforced Cementitious Products and Ferrocement; E 802, Teaching Methods and Educational Materials; E 803, the Faculty Network Coordinating Committee; the Educational Activities Committee; and is a member and Past Chair of ACI Committee 236, Material Science of Concrete. His research interests include fiber-reinforced concrete, early-age properties of concrete, microstructure of porous materials, water transport in repair, and masonry materials.

ACI member **Klaus-Alexander Rieder** is a principal scientist at W.R. Grace, Cambridge, Mass. He received his ScD in physics from the Technical University of Vienna, Austria, in 1995. He is a member of ACI Committees 209, Creep and Shrinkage in Concrete; 215, Fatigue of Concrete; 360, Design of Slabs on Ground; 446, Fracture Mechanics; and 544, Fiber Reinforced Concrete. His research interests include all durability aspects of concrete, cracking of concrete, and the development of high-performance fibers for concrete applications.

**Gregory R. Ulreich** is a civil engineer for CGL, Ltd., U.S. He received his BS and MS in 2001 and 2002, respectively, from the Department of Civil and Environmental Engineering at the University of Illinois.

types because slab-on-ground design codes use beam toughness results to predict the concrete slab's ultimate capacity and to calculate the required slab thickness (The Concrete Society 2003). This paper only presents the results of large-scale slab testing of the new synthetic structural fibers. The large-scale testing results of the slabs containing steel fiber and welded wire reinforcement can be found in Roessler et al. (2003, 2004).

#### RESEARCH SIGNIFICANCE

The purpose of this study was to measure and compare the structural response of plain and synthetic fiber-reinforced concrete slabs under monotonic loading. **Simply supported beam tests have demonstrated that new synthetic macrofibers could significantly increase the toughness characteristics of concrete.** The structural benefits of this synthetic fiber added to plain concrete are validated with full-scale slab tests. The results of the structural testing demonstrate the behavioral differences between plain and synthetic fiber-reinforced concrete slabs and the ability of the synthetic macrofiber to be used as secondary reinforcement in slabs-on-ground applications.

#### MATERIALS

##### Properties of synthetic macrofiber

The structural synthetic fiber used in this testing program is shown in Fig. 1. The main components of this polymeric fiber type are polypropylene and polyethylene. This synthetic macrofiber's mechanical and geometric properties are significantly different from existing synthetic microfibers, which are used to control plastic shrinkage cracking. The fiber's nominal length is 40 mm and has an aspect ratio (fiber length divided by effective fiber diameter) of 90 and a specific gravity of approximately 0.92. The fiber has a rectangular cross section, an average width of 1.4 mm, and an average thickness of 0.105 mm. The average tensile capacity of the fiber is 600 MPa with a modulus of elasticity of

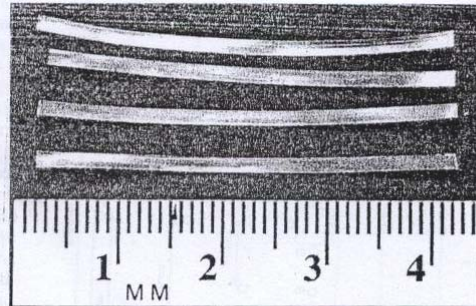


Fig. 1—Photograph of new 40 mm synthetic macrofibers.

Table 1—Concrete materials mixture proportions, fresh concrete properties, and concrete mechanical properties

Materials, kg/m <sup>3</sup>	Plain concrete	0.32% synthetic macrofibers	0.48% synthetic macrofibers
Coarse aggregate	995	975	976
Fine aggregate	823	806	807
Cement	363	360	360
Water	178	182	183
Unit weight	2361	2325	2327
HRWR* (mL/100 kg)	925	1116	1117
w/c	0.49	0.51	0.51
Air content, %	1.8	2.9	2.8
Slump, mm	200	150	114
Compressive strength, MPa	41.1	36.1	31.8
Compressive-standard deviation, MPa	2.2	1.9	4.4
Flexural strength, MPa	4.73	4.69	4.82
Flexural-standard deviation, MPa	0.96	0.35	0.08
R <sub>e,3</sub> values, %	2	24	39
R <sub>e,3</sub> -standard deviation, %	1	6	1
Slab thickness, mm (load location)	139.7 (center) 131.8 (center) 131.8 (edge)	131.8 (center)	131.8 (center) 130.2 (edge)

\*High-range water reducer.

9.5 GPa. The elastic modulus of the synthetic fiber approximates the elastic modulus of the paste, which assists in maintaining the load-carrying capacity of the concrete at small crack openings. The fiber's geometry was also selected so that it would easily disperse in the fresh concrete and not adversely affect finishing at normal volume fractions. The fiber volumes used in the testing were 0.32 and 0.48 volume percent, or 3.0 and 4.4 kg/m<sup>3</sup>.

##### Concrete mixture properties

The concrete mixture proportions and properties used in casting the five slabs are provided in Table 1. The final water-to-cement ratio (w/c) varied between 0.49 and 0.51. The percent air (ASTM C 231) was approximately 1% higher than the plain concrete mixture due to the extra mixing time for the fiber mixtures. The effect of the greater air content was also seen in the slightly lower unit weight values (ASTM C 138). The proportion of coarse-to-fine

aggregate was targeted at 55:45 to maintain workability and sufficient paste for coating the fibers. The coarse aggregate used in the mixture was a crushed limestone with a maximum-size aggregate of 25 mm and a specific gravity of 2.62. The fine aggregate constituent was natural sand with a specific gravity of 2.66. The coarse and fine aggregate gradations met the ASTM C 33-02a (2002) guidelines for coarse (No. 57) and fine aggregates.

The 56-day compressive strength (ASTM C 39), flexural strength (ASTM C 78), and  $R_{e,3}$  values for the three mixtures cast can be seen in Table 1. The flexural strength results did not vary significantly between the mixtures, while the compressive strength values were lower for the synthetic fiber mixtures. The variation in the compressive strength was due to two separate batches used in casting the plain and fibrous concrete slabs. The  $R_{e,3}$  of the plain concrete was increased from 2% to 24 and 39% with the addition of 0.32 and 0.48% synthetic fibers, respectively.

### SLAB TESTING CONFIGURATION

#### Slab test setup

The monotonic testing was performed on 2.2 x 2.2 m slabs with a nominal thickness of 127 mm. The actual slab thickness values are listed in Table 1. The slab size and thickness were selected to approach infinite slab behavior when an interior or edge load was applied. The slab-testing program used a 500 kN capacity hydraulic actuator and a soil containment box. The load was applied to the slab through a steel plate (203 x 203 x 25 mm). All slabs were tested on top of a 0.20 m layer of compacted, low-plasticity clay contained inside the soil containment box (5.08 x 2.44 x 0.31 m). The average modulus of subgrade reaction ( $k$ -value) for the load tests was 103 MPa/m with a standard deviation of 42 MPa/m. The variation in the  $k$ -value between tests did not significantly influence the load-carrying capacity of the slabs. A simple elastic analysis using Westergaard's (1926) interior stress equation demonstrated doubling the  $k$ -value, which only increased the slab's load capacity by 7%.

#### Instrumentation and data acquisition system

The parameters measured during the monotonic testing were the slab's vertical deflections, internal bending strains, and the applied force. Vertical deformations were measured by displacement transducers (LVDTs) configured around and across the slab centerline, as illustrated in Fig. 2 for the center-load slabs. The concrete slab bending strains were measured with embedded strain gauges, as shown in Fig. 3. The objective of the strain gauge placement was to measure the compressive strains (Gauges 5 and 7) and tensile strains (Gauges 6 and 8) in the top and bottom of the slab near the load plate. Gauges 1 through 4 were placed to monitor the strain on the top of the slab once the initial flexural cracking began on the bottom of the slab. The strain gauges also were used to indicate the point of crack initiation and crack propagation. A similar deflection and strain gauge setup along the slab edge was used for the edge-loading configuration.

#### Monotonic testing and monitoring procedure

All slabs were loaded in vertical deformation (stroke) control to better capture the response of the concrete before and after cracking. The load levels corresponding to the slab's tensile strength, flexural capacity, and ultimate capacity were determined by combining the visual crack observations, abrupt reductions in load-carrying capacity of

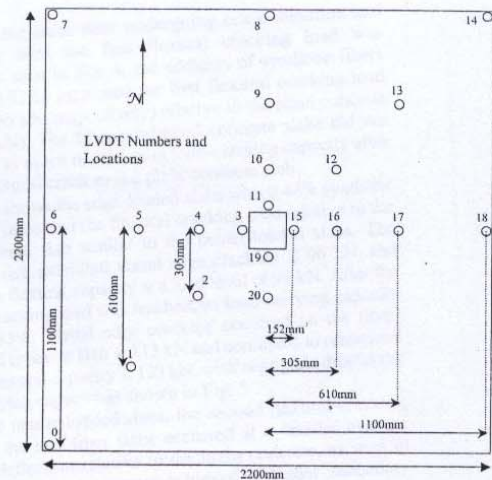


Fig. 2—Location of surface deflection gauges for center-loaded slabs.

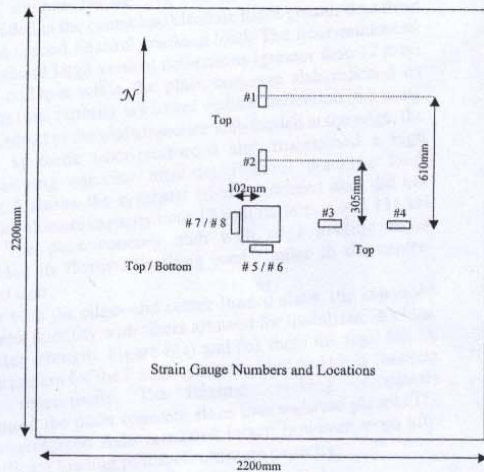


Fig. 3—Location of embedded strain gauges for center-loaded slabs.

the slab, and changes in the load-strain data. Because the underside of the slab was not visible during testing, the tensile cracking load was defined as the point where strains began displaying nonlinear behavior. The flexural cracking load corresponded to the first reduction in load-carrying capacity of the slab in conjunction with a significant change in internal strain distribution. The flexural cracking load was also associated with visual cracking at the edge of the slab. The collapse load of the slab was defined as the ultimate load-carrying capacity, which also was followed by a steady decline in load-carrying capacity with increased slab deformation. The visual indication of the collapse load was either a punching shear failure or a circumferential crack on top of the slab near the load plate.

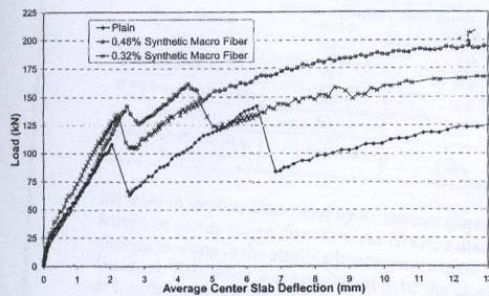


Fig. 4—Monotonic load versus center slab deflection of plain and synthetic fiber-reinforced concrete slabs.

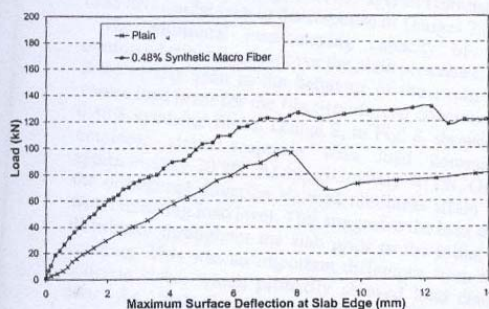


Fig. 5—Monotonic load versus edge deflection of plain and synthetic fiber-reinforced concrete slabs.

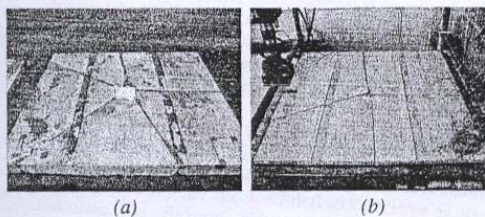


Fig. 6—Failure cracking pattern for: (a) concrete slab reinforced with 0.32% of synthetic fibers; and (b) plain concrete slab.

#### FULL-SCALE SLAB TESTING RESULTS

One plain concrete slab was center-loaded while the other plain concrete slab was edge-loaded. Two synthetic fiber-reinforced slabs (0.48 and 0.32% by volume) were tested under the center-load configuration. One synthetic fiber-reinforced slab at 0.48% fiber volume was edge-loaded. The results of the five concrete slabs tested are presented and discussed in the following.

#### Load-deflection responses

The load versus average center deflection can be seen in Fig. 4 for the three center-loaded slabs. The deflection of the plain and fiber-reinforced concrete slabs responded linearly with increasing load level until the first flexural cracking load. There was no indication from the load-deflection plot

that any of the slabs were undergoing crack initiation and propagation until the first flexural cracking load was attained. As seen in Fig. 4, the addition of synthetic fibers (0.48 and 0.32%) increased the first flexural cracking load (143 and 135 kN, respectively) relative to the plain concrete slab (108 kN). The fiber-reinforced concrete slabs did not experience as much reduction in load-carrying capacity after the first flexural crack as the plain concrete slab.

Figure 5 shows the edge-loaded slabs with 0.48% synthetic fibers also increased the flexural cracking load relative to the plain concrete slab similar to the center-loaded slabs. The plain concrete exhibited visual edge cracking at 96 kN, and reached its flexural capacity at a load level of 99 kN. After the flexural cracking load was reached, its load-carrying capacity dropped 33%. Visual edge cracking occurred on the fiber-reinforced concrete slab at 113 kN and continued to resist load until its flexural capacity at 127 kN, with negligible drop in the load-carrying capacity as shown in Fig. 5.

For the center-loaded slabs, the second flexural cracking load for the two fiber slabs occurred at a smaller average surface deflection relative to the plain concrete, as seen in Fig. 4. The plain concrete achieved a higher secondary flexural cracking loading (145 kN) than its first cracking load (108 kN), but was not able to exceed this load level at the point of ultimate failure. The two fiber-reinforced concrete slabs loaded in the center had ultimate loads greater than their first and second flexural cracking load. The fiber-reinforced slabs resisted large vertical deflections (greater than 12 mm) before collapse while the plain concrete slab reached its ultimate load capacity at a lower vertical deflection (6.5 mm).

In contrast to the plain concrete slab loaded at the edge, the 0.48% synthetic fiber-reinforced slab maintained a high load-carrying capacity after its flexural cracking load. Figure 5 shows the synthetic fiber-reinforced slab did not reach its ultimate capacity until 12 mm deflection and 131 kN load. The plain concrete slab with edge loading never exceeded its flexural cracking load similar to the center-loaded slab.

For both the edge- and center-loaded slabs, the enhanced concrete ductility with fibers allowed for mobilization of the full slab strength. Figure 6(a) and (b) show the final failure crack pattern for the 0.32% synthetic fiber and plain concrete slab, respectively. The flexural cracking completely fractured the plain concrete slabs into separate pieces. The fiber-reinforced slabs remained intact, however, even after significant loading past their ultimate capacity.

#### Load-strain responses

Because the load-deflection plots did not signal crack initiation and propagation, the strain gauges embedded in the slabs provided an alternative for indirect crack detection and movement. Only the center-loaded slab strain gauges will be discussed. Similar results were found for the edge-loaded strain gauges and can be reviewed in Roesler et al. (2003).

The load at crack initiation, and later crack locations (for example, through the slab depth and movement across the slab), could be ascertained from the strain plots (Fig. 7 and 8) based on instantaneous changes in the load-strain slope. Previous researchers (Falkner and Teutsch 1993; Roesler and Barenberg 1999) have also successfully used strain gauges to determine the progression of cracking in slab-on-ground tests.

As shown in Fig. 7 of the plain concrete slab, the gauges near the center of the slab (Gauges 5 to 8) showed a steady

**Table 2—Slab cracking loads and reduction in load-carrying capacity after cracking**

Fiber volume	Tensile cracking load, kN	Slab tensile strength, calculated, MPa	First flexural cracking load, kN	First crack load reduction, %	Second flexural crack load, kN	Second crack load reduction, %	Ultimate load, kN
Plain	75	4.6	108	42	145	43	135
0.32% synthetic fiber	75	4.7	135	25	148	19	174
0.48% synthetic fiber	70	4.9	143	12	162	9	195
Plain (edge)	50	7.1	99	33	N/A	N/A	N/A
0.48% synthetic fiber (edge)	55	7.1	127	5	N/A	N/A	131

increase in strains, illustrated by a constant slope in either the tensile or compressive direction. At 75 kN, a discontinuity or change in slope in the strain's linear progression occurred for Gauge 6. This point was concluded to be the crack initiation, or tensile cracking load, of the slab. As cracking through the slab depth progressed, Gauge 5 began to unload due to the approaching fracture process zone. Subsequent events at the second flexural cracking load (145 kN) and ultimate cracking (135 kN) can be seen in the response of Gauges 7 and 8.

The additional load-carrying capacity of the fiber-reinforced concrete slabs over the plain concrete slabs can be more clearly seen in the behavior of the strain responses versus load level for the fiber-reinforced concrete slab with 0.48% synthetic fibers. Gauge 8, in Fig. 8, showed that the nonlinear strain response with load commenced at approximately 70 kN. At approximately 90 kN, Gauge 6 in the orthogonal direction showed nonlinear strain behavior with increasing load level. This suggested the load was being distributed throughout the slab prior to the initial flexural cracking. This was an important difference from the plain concrete slabs, which primarily showed load distribution after the first flexural cracking. At 110 kN, crack propagation through the slab depth was apparent from the Gauge 7 response, which became more negative, that is, tensile. Gauge 5 showed an increase in compressive strain approximately the same time Gauge 6 showed an increase in tensile strain. These strain observations verified that the load-carrying capacity of the slab was distributed over a larger area before flexural cracking and thus allowed for a higher flexural capacity relative to the plain concrete slab.

**EFFECT OF SYNTHETIC FIBERS ON CONCRETE SLAB STRENGTH**

In simply supported beam testing of fiber-reinforced concrete specimens, the load-deflection curve is used to calculate the flexural strength, ultimate strength, and toughness values. The following definitions, however, are required to define the behavior and failure of concrete slabs-on-ground: tensile cracking load, first flexural cracking load, second flexural cracking load, and collapse or ultimate load. These pertinent slab cracking loads are summarized in Table 2, along with the percent reduction in load after each flexural cracking event.

**Concrete tensile strength**

The tensile cracking load of concrete slabs can be thought of as the point at which crack initiation begins. Table 2 shows the tensile cracking loads for the three slabs tested under center loading (70 to 75 kN) are similar. The two slabs tested under the edge loading configuration (50 and 55 kN) also had similar tensile cracking loads. A two-dimensional elastic plate analysis, using an existing finite element program (Khazanovich 1994), was conducted to normalize the measured tensile cracking loads in terms of stresses due

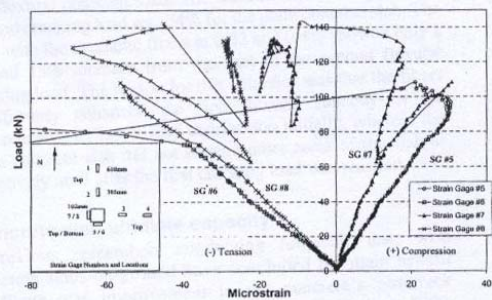


Fig. 7—Load-versus-strain response for plain concrete slab (Gauges 5 through 8).

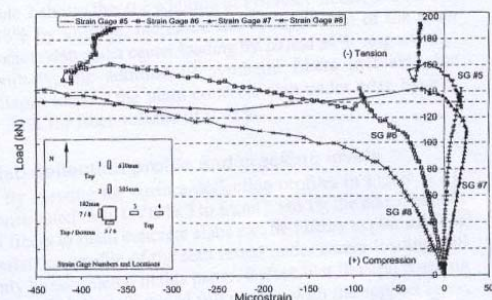


Fig. 8—Load-versus-strain response for concrete slab reinforced with 0.48% of synthetic macrofibers (Gauges 5 through 8).

to the differences in the measured concrete thickness, *k*-value for each slab test, and loading configuration. Table 2 summarizes the calculated tensile strength for both the center- and edge-loaded slabs. The calculated tensile strength values ranged from 4.6 to 4.9 MPa for the center-loaded slab, while the calculated tensile strength value for the edge-loaded slab was approximately 7.1 MPa. The calculated tensile cracking stresses were higher for the edge loading configuration because the strain gauges used to indicate crack initiation were not located as close to the maximum strain location as in the center-loaded slabs. This resulted in higher apparent tensile cracking stresses for the edge-loaded slabs.

The tensile strength values determined from the full-scale slab tests did demonstrate that the addition of fibers did not significantly affect the plain concrete matrix strength, which was also shown by Falkner et al. (1995). This finding is consistent with published literature on small-scale

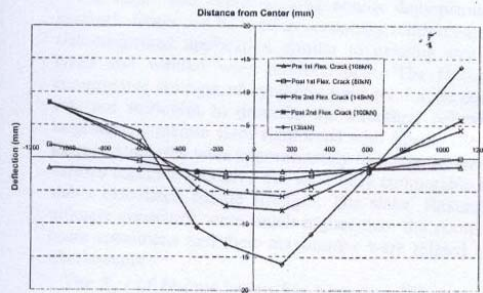


Fig. 9—Plain concrete slab surface deflection profile at several load levels.

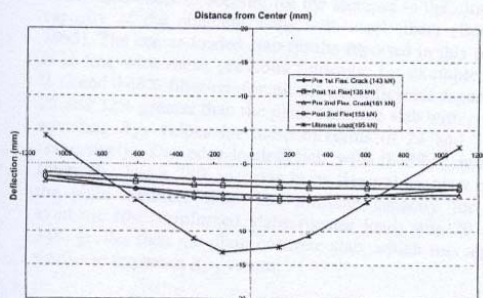


Fig. 10—0.48% synthetic fiber-reinforced concrete slab surface deflection profile at several load levels.

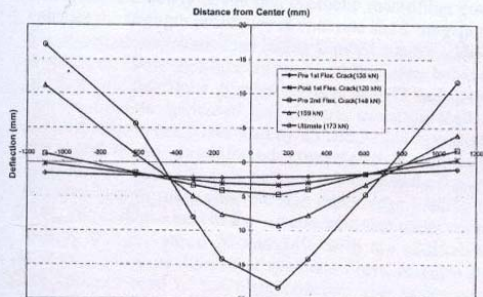


Fig. 11—0.32% synthetic fiber-reinforced concrete slab surface deflection profile at several load levels.

specimens (Shah 1991), which stated that fiber volumes less than 1% showed no significant difference in the tensile strength relative to plain concrete.

#### Concrete slab flexural capacity

Table 2 shows the addition of synthetic fibers increased the flexural cracking load of the plain concrete slab under center loading by 25 and 32% for fiber volumes of 0.32 and 0.48%, respectively. The reduction in load after first and second cracking was greatest for the plain concrete slab (42 and 43%) and the lowest for the concrete slab reinforced with 0.48% of synthetic fibers (12 and 9%). Under edge

loading, the addition of synthetic fibers also increased the flexural cracking load of the plain concrete slab by 28% for fiber volume of 0.48%. Previous published results on discrete, steel fibers (Sham and Burgoyne 1986; Beckett 1990; Beckett et al. 1999; Tatnall and Kuitenbrouwer 1992) confirmed the findings in Table 2 that fibers increase the plain concrete slab flexural capacity.

The importance in measuring the second flexural cracking load, shown in Table 2, was to illustrate the difference from the first flexural cracking load. The increase from first to second flexural cracking load was 34% for the plain concrete slab. The slabs with the synthetic fibers at 0.32 and 0.4% showed only a 10 and 13% increase from the first to the second flexural cracking load. The reason for this behavior was that the fibers significantly enhanced the first flexural capacity of the concrete slab by better load distribution initially, whereas the plain concrete slab did not engage other areas of the slab as effectively until after the first cracking load was reached.

#### Concrete slab ultimate capacity

Previous researchers conducting full-scale tests with concrete slabs-on-ground have concluded the main benefit of fibers was improvement in the concrete's postcrack behavior (toughness) and ultimate strength (Beckett 1990, 1995, 1999, 2000; Moens and Nemegeer 1991; Tatnall and Kuitenbrouwer 1992; Falkner et al. 1995; Meda et al. 2003). Table 2 shows that the addition of synthetic fibers, at 0.32 and 0.48% by volume, increased the collapse load of the plain concrete slab under center loading by 20 and 34%, respectively. Similarly, the addition of synthetic fibers increased the collapse load of the plain concrete slab under edge loading by 32% for fiber volume of 0.48%.

#### Slab deflection profile and cracking levels

By viewing the surface deflection profiles in Fig. 9 to 11, constructed from LVDTs 3 to 6 and 15 to 18, the added benefit of fibers to plain concrete slabs can be further explained. The deflection profile of the slab tested under center loading will only be considered in this paper. Before first flexural cracking load, all slabs maintained full contact with the support layer, as seen in Fig. 9 to 11, and the shape of their profiles was similar. After the first flexural cracking load was reached, the edges and corners of the plain concrete slab began to lose contact with the soil layer, as seen in Fig. 9. The loss of contact continued to increase before the second flexural cracking load where almost 50% of the plain concrete slab was not in contact with the support layer (positive deflection in Fig. 9). Additional loading did not significantly increase the loss of support but increased the level of deformations.

Figure 10 shows that the slab containing 0.48% fibers did not lift off the subgrade until after the ultimate load capacity of the slab was reached. The full contact condition between the slab and subgrade allowed for distributed energy dissipation throughout the slab volume, which resulted in higher flexural and ultimate strength for the fiber-reinforced concrete slabs. The concrete slab with 0.32% fiber content showed improved behavior over the plain concrete slab, as seen in Fig. 11. The slab did not lift off the subgrade until just before the second flexural cracking load, but the lift off increased dramatically after the second flexural cracking load. The slab with a 0.32% fiber content lost support at lower load levels, which caused the reduced ultimate capacity, compared to the slab with the 0.48% fiber volume fraction.

## BIBLIOGRAFIA

- National Ready Mixed Concrete. Resistencia a flexión del Concreto.  
<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf> (Julio 2009)
- Hormigones Occidente S.A. <http://www.hormigones.com.ve/producto2.htm>  
(Agosto 2009)
- Instituto Bolivariano del Hormigón. Pavimentos Rígidos.  
<http://www.ibch.com/ventajas.htm> (Agosto 2009)
- Bayer Chemicals. Construcción pisos.  
<http://www.chemicals.bayerconosur.com/aplicaciones/construccion/pisos/industrial.asp> (Agosto 2009)
- PEREZ Mireya. Por los caminos de altas especificaciones.  
<http://www.imcyc.com/cyt/abril04/altas.htm> (Agosto 2009)
- ALTAMIRANO Luis. Deterioro de Pavimentos Rígidos.  
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/deterioro-pavimentos-rigidos/deterioro-pavimentos-rigidos.pdf> (Agosto 2009)

- BECKER Edgard. Durabilidad del hormigón.  
<http://www.lomanegra.com.ar/pdf/trabajos/DURABILIDAD.pdf> (Agosto 2009)
- PURDUE University. New Structural Material - Fiber Reinforced Plastics.  
<http://rebar.ecn.purdue.edu/ect/links/technologies/civil/frp.aspx> (Septiembre 2009)
- ALCOCER Sergio. Pisos de concreto sin grietas.  
[http://proyectos.iingen.unam.mx/Proyectos\\_2005\\_2006/06/6.1.pdf](http://proyectos.iingen.unam.mx/Proyectos_2005_2006/06/6.1.pdf)  
(Septiembre 2009)
- Instituto colombiano de Productores de Cemento. Diseño de pisos industriales de concreto.  
<http://www.icpc.org.co/site/assets/attach/DISE%C3%91O%20DE%20PISOS%20INDUSTRIALES.pdf> (Septiembre 2009)
- COYPRO. Construcciones Civiles e Industriales. <http://www.coypro.com.ar/>
- <http://blogs.utpl.edu.ec/mfvalarezo/files/2009/05/presion.pdf> (Septiembre 2009)
- Revista de Obras Publicas. Criterios y alternativas para la evaluación de la tenacidad en hormigones con fibras de acero. [http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/2872/1/aguado\\_rop\\_1.pdf](http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/2872/1/aguado_rop_1.pdf) (Septiembre 2009)

- <http://www.soboce.com/websoboce/html/appavimentorigido.htm> (Agosto 2009)
- [http://www.minas.upm.es/relext/Red-CytedXIII/webrimin/rimin1/jornadas/01ibermac\\_pdf/07\\_Hormigon/Ponce.pdf](http://www.minas.upm.es/relext/Red-CytedXIII/webrimin/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/07_Hormigon/Ponce.pdf) (Agosto 2009)
- [http://www.centroamerica.tv/tecnologia:nuevos\\_materiales\\_de\\_construcci%C3%B3n](http://www.centroamerica.tv/tecnologia:nuevos_materiales_de_construcci%C3%B3n) (Agosto 2009)
- [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732009000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732009000100004&script=sci_arttext) (Septiembre 2009)
- Ruredil X Fiber 54, Ficha Técnica de la Fibra Híbrida Estructural Híbrida, [www.ruredil.it](http://www.ruredil.it) (Octubre 2009)
- <http://www.cement.org/pavements/> (Octubre 2009)
- <http://www.nrmca.org/> (Octubre 2009)
- <http://www.coandes.com.ec/proyectos/viales.htm> (Diciembre 2009)

- LARREA Pablo, SAMANIEGO José, Hormigones con fibras de Polipropileno, Tesis, Pontificia Universidad del Ecuador, Quito 2002
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego, Durabilidad y Patología del concreto, Colombia, Asocreto.
- WADDELL, Joseph J., Manual de la Construcción con Concreto, México, McGraw-Hill, 3ra Edición, 1997, Tomo I.
- WADDELL, Joseph J., Manual de la Construcción con Concreto, México, McGraw-Hill, 3ra Edición, 1997, Tomo II
- Norma ASTM
- Norma ACI
- CODIGO del MOP
- Guide for Concrete Floor and Slab Construction- ACI 302.1 R
- - Guide for Design of Foundations and Shoulders for Concrete Pavements- ACI 325.3R
- Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots-ACI 330R
- Design of Slab on Grade –ACI 360
- Losberg, A., “Pavements and Slabs on Grade with Structurally Active Reinforcement”, ACI Journal, Title 75-66, nov.-dic. 1978.
- ACI, 544.4R-88, “Design Considerations for Steel Reinforced Concrete”, Reported by ACI Committee 544, 1988.
- ACI 360R-92, “Design of Slabs on Grade”, Reported by ACI Committee 360, 1992.

- Soroushian, P., Tlili, A., Alhozaimy, A., Khan, A. "Development and Characterization of Hybrid Polyethylene Fiber Reinforced Cement Composites, ACI Materials Journal, Vol. 90 n. 2, 1993.
- Bayasi, Z., Zeng, J. "Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 90 n. 6, 1993.
- Ruredil, "Ruredil X Fiber 54, Scheda tecnica.
- Manual de Laboratorio de Hormigones de la Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador
- Portland Cement Association, Design and Control of Concrete Mixtures, 13th Edition
- American Concrete Institute, Comité ACI 211.1, Proporcionamiento de mezclas
- ASTM C 39 Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens
- ASTM C 192/C 192M-02 Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory
- ASTM C 617 Standard practice for capping cylindrical concrete specimens
- ASTM C 33-03 Estándar specification for concrete aggregates
- ASTM C 88-99a Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate
- ASTM C117-03 Standard test method for materials finer than 75µm (Nº 200) sieve in mineral aggregates by washing

- ASTM C 127-01 Standar test method for density, relative density (Specific Gravity), and absorption of coarse aggregate
- ASTM C128-01 Standar test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate
- ASTM C 131-03 Standar test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine
- ASTM C 142-07 Standar test method for clay lumps and friable particles in aggregates
- ASTM C 29/C 29M-97 Standar test method for bulk density (unit weight) and voids in aggregate