ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Sikafiber® AD DE SIKA Y TOC Fibra500 DE TOXEMENT.

LORENA MARCELA CAÑON SOSA
COD: 20132579072
FABIAN GUILLERMO ALDANA CALDERÓN
COD: 20132579045

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLOGÍCA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2016

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Sikafiber® AD DE SIKA Y TOC Fibra500 DE TOXEMENT.

LORENA MARCELA CAÑON SOSA
COD: 20132579072
FABIAN GUILLERMO ALDANA CALDERÓN
COD: 20132579045

Trabajo presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil

Bajo la dirección del docente:
Ing. Héctor Pinzón

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLOGÍCA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2016

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

A Dios antes que todo porque sin El nada hubiésemos podido lograr, a nuestros padres por el apoyo incondicional a través de todos estos años.

A nuestro docente y tutor Ing. Héctor Pinzón por la paciencia, por el tiempo dedicado y por las observaciones hechas.

A la universidad por los conocimientos adquiridos y puestos en práctica a lo largo de esta carrera.

DEDICATORIA

A Dios, El único que nos permite lograr todo lo que nos proponemos, a Él sea todo nuestro triunfo.

RESUMEN

A lo largo de la historia los ensayos al concreto se han desarrollado con el fin de analizar su comportamiento en diferentes situaciones; ya sea a tensión o a compresión teniendo en cuenta su disposición final, para mejorar la resistencia y otras debilidades del concreto en su estado puro se ha venido adicionando a la mezcla fibras sintéticas, las cuales aportan beneficios tanto en estado plástico como endurecido.

El beneficio de usar fibras sintéticas se ve reflejado en la edad temprana del mismo y avanza cuando el concreto ya este endurecido; y entre estos beneficios se encuentra la mejora significativa de la capacidad para resistir las fuerzas que ocasionan rotura.

Este proyecto busca realizar una comparación entre dos de las fibras de las compañías más reconocidas en el ámbito nacional y establecer los pros y contras de cada una.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 4
1. INTRODUCCIÓN 10
4. OBJETIVOS 14
4.1 OBJETIVO GENERAL 14
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 14
5. MARCO TEORICO 15
5.1 MARCO DE ANTECEDENTES 15
FIBRAS SINTETICAS A ESTUDIAR 15
FIBRAS DE POLIPROPILENO Sikafiber® AD DE SIKA 15
FIBRAS DE POLIPROPILENO Toc FIBRA 500 DE TOXEMENT. 16
5.2.2 POR MATERIAL 17
ASTM C 1399 “Método de ensayo para determinar el esfuerzo residual promedio del concreto reforzado con fibra” 18
ASTM C 1609 “Método de ensayo para determinar el desempeño del concreto reforzado con fibra (Usando una viga cargada en los tercios)” 19
NTC 5214 “Fibras de acero para refuerzo de concreto” (ASTM A 820) 19
NTC 5541 “Hormigones reforzados con fibras” (ASTM C 1116) 19
NTC 5721 “Método de ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía (Tenacidad) de concreto reforzado con fibras” (EFNARC) 19
EL CONCRETO 20
MATERIALES DE LOS QUE SE COMPONE EL CONCRETO: 20
5.3 MARCO CONCEPTUAL: 22

5.3.2 Ensayo a compresión de cilindros de concreto 24
6 METODOLOGIA 26
6.1 CONSECUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS 26
6.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. 28
6.2.1 Agregados 28
6.2.2 Cemento 28
6.2.3 Fibras de Polipropileno 29
6.3 DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES. 29
6.4 ELABORACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO HIDRÁULICO 29
6.5 CARACTERIZACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO 32
7 RESULTADOS 32
7.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN. 32
7.2 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO 34
7.3 ELABORACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO HIDRÁULICO 36
7.4 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DE LOS CILINDROS 40
7.4.1 Ensayo de resistencia a la compresión 40
7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS 41
7.5.1 Resistencia 43
7.5.2 Correlación de los resultados 46
ANÁLISIS DE COSTOS 48
8 CONCLUSIONES 51
9 BIBLIOGRAFIA 53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de Caracterización 32

Tabla 2. Dosificación de concreto por m3 (Mezcla de Referencia)..... 34

Tabla 3. Dosificación de concreto por m3 (5% FIBRAS DE POLIPROPILENO) 34

Tabla 4. Dosificación de concreto por m3 (10% FIBRAS DE POLIPROPILENO)..... 35

Tabla 5. Dosificación de concreto por m3 (15% FIBRAS DE POLIPROPILENO)..... 35

Tabla 6. Tabla de Análisis Estadístico del Concreto- NSR10 Compresión. 43

Tabla 7. Tabla de Desempeño- Muestra de Referencia. 44

Tabla 8. Tabla de Correlación Mezcla al 5% 46

Tabla 9. Tabla de Correlación Mezcla al 10% 46

Tabla 10. Tabla de Correlación Mezcla al 15% 47

Tabla 11. Costos de materia prima de un concreto común/m³ 48

Tabla 12. Costos de materia prima de un concreto con sustitución de FIBRAS DE POLIPROPILENO al 5% Sikafiber® Ad 49

Tabla 13. Costos de materia prima de un concreto con sustitución de FIBRAS DE POLIPROPILENO al 5%/m³ TOC 500 Toxement® 49

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Fibra Sikafiber® AD 16
Ilustración 2 Fibra TOC fibra 500 de Toxement® 16
Ilustración 3 Macrofibras Toxement® 18
Ilustración 4. Elementos de carga en una prueba de compresión 24
Ilustración 5. Proceso de elaboración de cilindros 31
Ilustración 6. Elaboración de la mezcla. 37
Ilustración 7. Elaboración de los cilindros. 38
Ilustración 8. Cilindros con adición de fibras de polipropileno 38
Ilustración 9. Cilindros desencofrados y llevados a la piscina de curado 39
Ilustración 10. Cilindros en la prensa 41
Ilustración 11. Curva de desempeño - Muestra de Referencia 44
Ilustración 12. Curva de desempeño - Muestra con adición de fibra 45
Ilustración 13. Ecuación y línea de tendencia mezclas al 5% 46
Ilustración 14. Ecuación y línea de tendencia mezclas al 10% 47
Ilustración 15. Ecuación y línea de tendencia mezclas al 15% 47

1. INTRODUCCIÓN

La fisuración del concreto es un fenómeno poco deseado que tiene efectos que van desde variaciones en la composición del material, hasta efectos de cambios térmicos. Una fisura muestra que se perdió la “competencia” entre la capacidad del material de resistir un esfuerzo versus el efecto de un esfuerzo actuante.

La ingeniería civil sabe de antemano que la fisuración del material es algo normal y digamos que en algunos casos la provoca. De esta forma, los elementos de concreto diseñados para trabajar a flexión (vigas, placas etc), desde su diseño inicial, que el concreto de recubrimiento en la cara inferior se fisurará y no tendrá en cuenta la resistencia a la tensión del material. El material requerido en este caso es el acero, en la parte inferior de la viga, que el concreto de recubrimiento se fisure es normal y para algunos ingenieros estructurales es prueba de que el acero ha asumido la mayor parte de la carga a tensión. Por supuesto las fisuras tienen un ancho máximo permitido tanto por consideraciones estéticas como de durabilidad de los elementos, en el caso de algunos códigos europeos y otros, éste ancho de fisura máxima depende del medio ambiente y la durabilidad calculada para la estructura, sin embargo, el ancho permitido oscila entre 0 - 0.3 mm.

El refuerzo estructural está destinado a controlar y asumir las cargas externas (estructurales) para las que se diseñó el elemento (momentos, cortantes, torsión), pero los esfuerzos generados por cargas producidas por retracción por secado, ciclos de humedecimiento y secado, los ingenieros estructurales los han resuelto usualmente empleando cuantías adicionales de refuerzo o mallas electrosoldadas. En estado endurecido la malla electrosoldada es más eficiente que en estado plástico, puesto que existe una mejor transmisión de esfuerzos a lo largo de la sección del elemento de modo que la malla puede asumir rápidamente esfuerzos inducidos por cambios hídricos o cambios térmicos, generados en la superficie. Aún así las mallas empleadas como refuerzo secundario tienen algunas limitaciones en cuanto a que su colocación es dispendiosa (tiempo y mano de obra), pero más allá de esto, es el lugar sobre el que todos caminan en la obra y su colocación teórica en el plano termina siendo muy diferente cuando se funden

los elementos en la realidad. No es así extraño ver las mallas marcadas en la parte inferior de placas donde se puede examinar por debajo o mallas marcadas cerca de la superficie. Podríamos incluso atrevernos a afirmar que el que las mallas quede exactamente posicionadas donde las queremos corresponden a los casos menos frecuentes. De esta manera el refuerzo secundario que no está diseñado a asumir o soportar esfuerzos de flexión y cortante, queda alejado de los lugares que pretendemos asegurar. Una placa curva sobre un terreno de forma convexa (día caluroso) con una malla lejos de la superficie no contribuye para nada a la cara expuesta a tensión, por lo que podría fisurarse por el esfuerzo inducido. Debido justamente a las dificultades de colocación y eficiencia en el destino final de estos refuerzos secundarios, hizo su aparición en el concreto el uso de las fibras.

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a que en las diferentes situaciones presentadas en campo o en laboratorio el concreto presenta comportamientos durante el fraguado que permiten ver sus debilidades como lo son fisuraciones por asentamiento o contracción plástica, entre otras; la industria de las concreteras ha venido implementando a la mezcla aditivos u otros materiales con mejores características físicas que optimicen la calidad del producto que sale de las plantas.

Entre estos aditivos se encuentran las fibras poliméricas las cuales hasta el momento han demostrado gran capacidad para reducir fisuraciones e incrementar la resistencia a la abrasión, al impacto y a la rotura, sin embargo, aún no es claro si también beneficia la resistencia a la compresión y si la marca del producto incide en los resultados finales.

3. HIPÓTESIS

¿Cuál de estas fibras (Sikafiber® Ad De Sika y TOC Fibra500 De Toxement) da un mejor resultado para optimizar la resistencia de un concreto sometido a fuerzas de compresión?

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar experimentalmente las características mecánicas de los concretos que contienen adición de estas fibras de manera independiente.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las siguientes propiedades mecánicas en los concretos con adición de fibras sintéticas: Resistencia a la compresión.
- Evaluar la influencia de la adición de fibras sintéticas, en porcentajes del 5%, 10% y 15%, en las propiedades del concreto específicamente la resistencia a la compresión en estado endurecido y su comportamiento en estado fresco.
- Determinar la dosificación óptima para elaborar concretos con adición de fibras sintéticas con características adecuadas para su uso y verificar si la mezcla durante su incorporación sufre cambios con respecto al concreto sin fibras.
- Evaluar la relación costo/beneficio al usar o no fibras de polipropileno en las mezclas.
- Realizar un análisis estadístico básico (Promedio, desviación estándar y correlación de Pearson) con el fin de verificar el comportamiento de las muestras.

5. MARCO TEORICO

5.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Las fibras siempre han estado presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, el muro apisonado y los morteros de cal entre otros. Las fibras vegetales son de uso obligado en el muro apisonado y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le dan cualidades como una capacidad de no fisuración a los elementos. El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. Si hablamos de concreto existen referencias de experimentación que se remontan a 1910.

Probablemente el uso más común de las fibras, como un componente más en materiales aglomerantes, ha sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto cemento. En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo, por consideraciones de salud, estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana. (Colombia, 2014)

FIBRAS SINTETICAS A ESTUDIAR

FIBRAS DE POLIPROPILENO Sikafiber® AD DE SIKA

Sikafiber AD es un refuerzo de fibra de polipropileno modificada que disminuye el agrietamiento de concretos y morteros. Sikafiber AD está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados, polímeros sintéticos que anulan la tendencia a reducir la trabajabilidad y el asentamiento del concreto, propia de otro tipo de fibras convencionales. Durante la mezcla, Sikafiber AD se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.
La adición de Sikafiber AD aporta las siguientes ventajas: Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación. No modifica la trabajabilidad ni el asentamiento de la mezcla de concreto. Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad. La acción del Sikafiber AD es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento. Aumenta la resistencia al fuego en concretos lanzados y convencionales.

Ilustración 1 Fibra Sikafiber® AD



Fuente: Guía Sika Concreto Reforzado con Fibras.

FIBRAS DE POLIPROPILENO Toc FIBRA 500 DE TOXEMENT.

TOC FIBRA 500 es un refuerzo secundario de polipropileno fibrilado, para concreto o mortero. Se utiliza como refuerzo secundario, en placas de concreto o morteros de recubrimiento, otorgando resistencia al movimiento por contracción térmica y de secado; al mezclarse al concreto o mortero en estado fresco, reduce la formación de grietas por retracción plástica. En caso de ocasionarse grietas en estado endurecido por fallas de estructura menores, minimiza el ancho de longitud de las mismas.

La adición de TOC Fibra500 aporta las siguientes ventajas: El refuerzo se realiza de forma multidireccional, mejora las resistencias mecánicas, reduce grietas en estado plástico y endurecido, reduce la permeabilidad y aumenta la durabilidad.

Ilustración 2 Fibra TOC fibra 500 de Toxement®



Fuente: www.toxement.com.co

Las fibras como refuerzo secundario para concreto, en general pueden clasificarse según diferentes consideraciones, hoy en día se emplean principalmente dos tipos de clasificación, así:

5.2.2 POR MATERIAL

Fibras Metálicas

Secciones de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón).

Fibras Sintéticas

Secciones que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por acrílico, aramid, carbón, polipropileno, poliestileno, nylon, poliéster etc.

Fibras de Vidrio

Secciones de fibra de vidrio resistentes al álcali.

Fibras Naturales

Secciones de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%.

5.2.2 POR FUNCIONALIDAD, GEOMETRÍA Y DOSIFICACIÓN

MICROFIBRAS

Estas fibras están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno (Tipo SikaFiber®AD) cuya dosificación en peso oscila entre 0.3 a 1.2 Kg/m3 de concreto. Se trata de dosificaciones extremadamente bajas pero muy eficientes que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm, pueden ser

monofilamento o fibriladas. Las microfibras al tener diámetros tan pequeños se califican con un parámetro denominado Denier. Denier es el peso en gramos de 9.000 metros de una sola fibra.

MACROFIBRAS

Estas fibras están destinadas a prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100.

Ilustración 3 Macrofibras Toxement®



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 NORMAS ACTUALES QUE RIGEN EL EMPLEO DE LAS FIBRAS

ASTM C 1399 “Método de ensayo para determinar el esfuerzo residual promedio del concreto reforzado con fibra”

Esta norma es usada sobre todo para diseño de pisos en donde se determina el esfuerzo residual promedio (postfisuración) luego de prefisurar de manera controlada una viga de concreto fibroreforzado. No requiere una máquina de falla controlada por la deflexión de la viga. (Circuito cerrado).

ASTM C 1609 “Método de ensayo para determinar el desempeño del concreto reforzado con fibra (Usando una viga cargada en los tercios)”

Este ensayo similar al descrito en la ASTM C 1399 no emplea una platina de apoyo sobre la cual prefisurar el material, la deformación post-fisuración es medida gracias a que la aplicación de la carga es controlada por la deflexión del espécimen.

NTC 5214 “Fibras de acero para refuerzo de concreto” (ASTM A 820)

Equivalente a la ASTM A 820 define las propiedades y especificaciones, de las fibras de acero destinadas a ser usadas en concreto.

NTC 5541 “Hormigones reforzados con fibras” (ASTM C 1116)

Constituye en la norma general de fibras, con las definiciones y clases generales de reforzamiento con fibras. Igualmente lista las propiedades del concreto modificadas por la inclusión de las fibras. Así como señala las recomendaciones de mezclado, transporte y manipulación de un concreto reforzado con fibras. Establece igualmente las tolerancias de variación sobre las propiedades más importantes de los hormigones reforzados con fibras.

NTC 5721 “Método de ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía (Tenacidad) de concreto reforzado con fibras” (EFNARC)

Esta norma describe en detalle el procedimiento de ensayo mencionado en las “Especificaciones para Contratistas” de la EFNARC, donde se mide sobre una placa cuadrada de 100 mm de espesor y 600 mm de lado la tenacidad del concreto reforzado con fibra. Su aplicación principal se encuentra sin duda sobre el concreto lanzado. El ensayo se concentra en determinar la curva Carga vs. Deflexión de estas probetas provenientes de campo, constituyéndose en un ensayo sobre un elemento de similares dimensiones que la estructura misma. Esta norma permite evaluar no solamente el cumplimiento frente a una especificación, sino además comparar el desempeño entre diferentes tipos de fibras.

EL CONCRETO

El concreto es un material compuesto que es usado en la construcción de todo tipo de infraestructuras, este material está formado esencialmente por un aglomerante, este aglomerante suele ser el cemento que al mezclarse con agua produce una reacción de hidratación, a esta mezcla se le añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos. Las partículas de agregado pueden ser grava, gravilla o arena, dependiendo de su diámetro medio.

MATERIALES DE LOS QUE SE COMPONE EL CONCRETO:

CEMENTO PORTLAND:

Es un producto obtenido por pulverización del “Clinker” Portland, con la adición de una o más formas de sulfato de calcio, admitiéndose la adición de otros productos que no afecten las propiedades del cemento resultante, como el óxido de hierro que sirve para mejorar la composición química de las materias principales. El cemento Portland es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, además presenta la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química.

En la actualidad se fabrican diversos tipos de cemento dependiendo de las necesidades del constructor, de acuerdo a la norma NTC 121 existen las siguientes clases de cemento:

Tipo UG: cemento hidráulico para construcción general.
Tipo ART: Alta resistencia temprana.
Tipo MRS: Moderada resistencia a los sulfatos.
Tipo ARS: Alta resistencia a los sulfatos.
Tipo MCH: Moderado calor de hidratación.
Tipo BCH: Bajo calor de hidratación.

Las siguientes opciones se aplican para todos los tipos de cementos mencionados anteriormente:

Opción BRA: Baja reactividad de agregados reactivos Álcali – Sílice.
Opción A: Cementos con incorporadores de aire.

La propiedad química principal del cemento es la clinkerización que involucra la transformación de las materias primas a productos más complejos, por medio de reacciones en estado sólido. El cemento está compuesto principalmente por Silicato tricálcico (C_3S), Silicato dicálcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A) y Ferroaluminato tetracálcico (C_4Af).
Las propiedades físicas del cemento incluyen la densidad, finura, consistencia, tiempos de fraguado, fraguado rápido, expansión, fluidez, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

AGUA:

Este es el ingrediente básico para la elaboración del mortero y el concreto. Su importancia parte de que se usa para el lavado de agregados, la preparación de la mezcla y para el proceso de curado, es importante su calidad química y física. Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento. A esto se refiere la relación agua/cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia.
El agua para lavado de agregados debe ser lo suficientemente limpia para no introducir contaminación a los materiales lavados, como puede ser exceso de partículas en suspensión, en particular materia orgánica o sales.
El agua usada en la elaboración de la mezcla es la que determina la fluidez de la misma, la fluidez debe permitir la lubricación adecuada de la mezcla de concreto cuando se encuentre en estado plástico.
El agua para el curado del concreto garantiza la completa hidratación del grano de cemento.

AGREGADOS:

Son partículas sólidas añadidas intencionalmente al concreto que ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento, de tal forma, que en combinación con ésta proporcionan resistencia mecánica al mortero o concreto en estado endurecido.

La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregado grueso y agregado fino, fijando un valor en tamaño de 4,76 mm a 0,075 mm para el fino o arena y de 4,76 mm en adelante para el agregado grueso.

Los agregados finos y gruesos constituyen más del 70% de 1 metro cubico de concreto e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido y en los costos de su elaboración. Los agregados son obtenidos frecuentemente son obtenidos de arenas naturales y depósitos de grava.

5.3 MARCO CONCEPTUAL:

5.3.1 Resistencia

Cuando se habla de la resistencia del concreto, generalmente se hace referencia a la resistencia a compresión del concreto endurecido, la etapa de endurecimiento empieza con el fraguado final del concreto y prosigue en el tiempo dependiendo totalmente de las condiciones de curado del material.

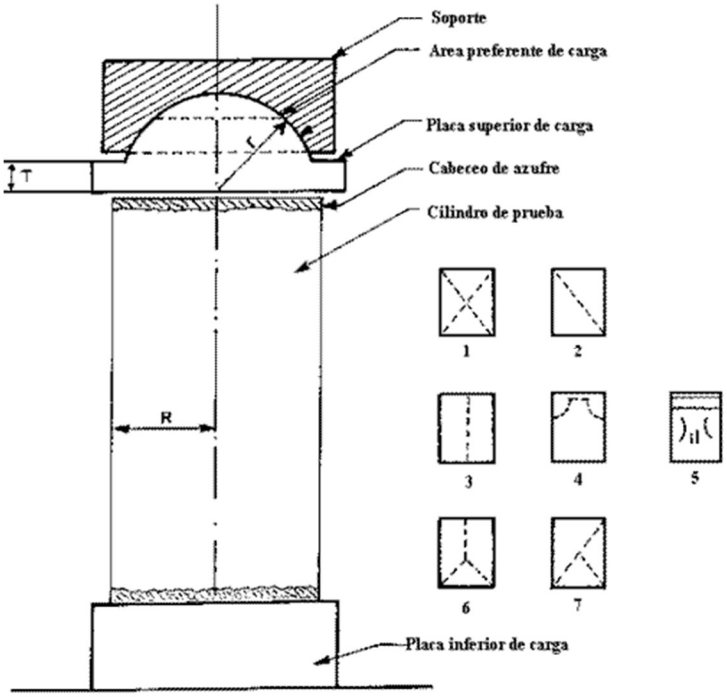
Normalmente la resistencia del concreto se evalúa a los 28 días, sin embargo esta evaluación se puede hacer a diferentes edades según la conveniencia de monitorear la ganancia en resistencia. Para evaluar la resistencia del concreto se emplean cilindros de concreto de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, en la fabricación de los cilindros se sigue la norma (NTC1377, Norma Técnica Colombiana, 1994) y en el ensayo de los cilindros se sigue la norma (NTC673, Norma Técnica Colombiana, 2010).

La imagen muestra un cilindro y las partes que hacen contacto con él en una máquina de ensayes, a un lado del conjunto se muestran algunos croquis de las diversas formas de falla que se pueden observar en un cilindro ensayado, a un lado de los resultados del ensaye se acostumbra dibujar la forma de falla del espécimen probado.

El significado de las formas de falla de acuerdo a la numeración mostrada en la se describe a continuación:

1. Este patrón se observa cuando se logra una carga de compresión correcta sobre un espécimen bien preparado.
2. Este patrón se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de la carga se encuentran en el límite de tolerancia especificada o excediendo a ésta.
3. Este patrón se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o por
deficiencia del material de cabeceo o también por concavidad del material de c abeceo; también por concavidad del plato de cabeceo o por convexidad en una de las placas de carga.
4. Este patrón se presenta en especímenes que tienen una de las caras de aplicación de carga en forma cóncava y/o por deficiencias del material de cabeceo o también por concavidad de una de las placas de carga.
5. Este patrón se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzo en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga por deficiencia del material de cabeceo o rugosidades en el plato de cabeceo o en las placas de carga.
6. Este patrón se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo o del plato del cabeceador.
7. Este patrón se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias de paralelismo establecido o por ligeras desviaciones al centrar el espécimen en la placa inferior de la máquina de ensayes. (www.elconstructorcivil.com, 2011)

Ilustración 4. Elementos de carga en una prueba de compresión



Fuente: www.elconstrctorcivil.com

5.3.2 Ensayo a compresión de cilindros de concreto.

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en Kg/cm2 y con alguna frecuencia lb/pulg2(p.s.i). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 psi es igual a 0.07Kg/cm2. Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en MPa de acuerdo con el sistema internacional de unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas.

El ensayo de compresión es meramente lo contrario del de tensión con respecto a la dirección o el sentido del esfuerzo aplicado. Las razones generales para la elección de uno u otro tipo de ensayo se establecieron. Asimismo, un numero de principios generales

se desarrolló a través de la sección sobre el ensayo de tensión sobre los cuales son igualmente aplicables al ensayo de compresión. Existen, sin embargo, varias limitaciones especiales del ensayo de compresión a las cuales se debe dirigir la atención: La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial. El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga a tensión, Existe siempre una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y a que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue. La fricción entre los puentes de la máquina de ensayo o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de esta. Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente. Las áreas seccionales, relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensayo de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y por lo tanto, tan cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada. Se supone que se desean las características simples del material y no la acción de los miembros estructurales como columnas, de modo que la atención se limita aquí al bloque de compresión corto.

El ensayo más universalmente reconocido para ejecutar pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple es el ensayo de probetas cilíndricas, las cuales se funden en moldes especiales de acero o hierro fundido que tienen 100mm de diámetro por 200mm de altura (relación diámetro: altura 1:2).Los procedimientos relativos a este ensayo se encuentran especificados en las normas (NTC1377, Norma Técnica Colombiana, 1994) y (NTC673, Norma Técnica Colombiana, 2010)que hacen referencia a la elaboración de cilindros y al ensayo de resistencia compresión.

Una vez que la muestra de concreto fresco ha sido correctamente seleccionada de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma (NTC454, Norma Técnica Colombiana, 2011), de manera que sea representativa de toda la masa, se procede de la siguiente manera:

Antes de colocar el concreto en el molde, es necesario aceitar el interior del cilindro para evitar que el concreto se adhiera al metal; para hacer esto, es suficiente untar las paredes y el fondo con una brocha impregnada de aceite mineral; la capa de aceite debe ser delgada y en el fondo no debe acumular aceite.

El cilindro se llena en dos capas de igual altura (10cm) y cada capa se apisona con una varilla lisa de 16mm de diámetro con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa en diferentes sitios de la superficie del concreto, teniendo en cuenta de que la varilla solo atraviese la capa que se está compactando, sin pasar a la capa siguiente. Al final de la compactación se completa el llenado del molde con más mezcla y se alisa la superficie con la ayuda de un palustre o de una regla.
Una vez que se ha llenado cada capa, se dan de 10 a 15 golpes con un martillo de caucho a las paredes de este, hasta que la superficie del concreto cambie de mate a brillante, con el objeto de eliminar las burbujas de aire que se hayan podido adherir al molde o hayan quedado embebidas en el concreto. Los cilindros recién confeccionados deben quedar en reposo, en sitio cubierto y protegidos de cualquier golpe o vibración y al día siguiente se les quita el molde cuidadosamente. Inmediatamente después de remover el molde, los cilindros deben ser sometidos a un proceso de curado en tanques de agua con cal, o en un cuarto de curado a 23ºC, con el fin de evitar la evaporación del agua que contiene el cilindro, por la acción del aire o del sol, y en condiciones estables de temperatura para que el desarrollo de resistencia se lleve a cabo en condiciones constantes a través del tiempo. En estas condiciones los cilindros deben permanecer hasta el día del ensayo.

6 METODOLOGIA

Para este estudio comparativo se manejó un enfoque cuantitativo, que se define por el uso de números y la interpretación de tablas con sus respectivas gráficas.

6.1 CONSECUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La consecución de los materiales que componen la mezcla de concreto se realizó de la siguiente manera:

- ✓ **Cemento:**

Se usó el cemento de marca Holcim Tipo UG de uso general, el cual fue adquirido en la planta de la empresa LafargeHolcim; de esta se tomó un saco de 50 kilogramos con el fin tomar una muestra representativa y realizar los ensayos de laboratorio respectivos.

- ✓ **Agregado Fino:**

Se usó un agregado fino de río procedente del Guamo – Tolima cantera de agregados la sierra, que se encuentra en la planta de la empresa LafargeHolcim; en este caso, el muestreo se realizó bajo el procedimiento descrito en la norma NTC 129 “Practica para la toma de muestras de agregados” tomando aproximadamente 100 kilogramos por muestra.

- ✓ **Agregado Grueso:**

Se usó un agregado grueso de cantera procedente de Une – Cundinamarca de la empresa GRAVILLERA ALBANIA, este fue muestreado del acopio que se encuentra en la planta de LafargeHolcim. El muestreo se realizó bajo el procedimiento descrito en la norma NTC 129 “Practica para la toma de muestras de agregados” tomando aproximadamente 100 kilogramos por muestra.

- ✓ **Agua:**

Se usó agua potable procedente del acueducto de Bogotá, se tomó una muestra y se envió para Concrelab y Antek, laboratorios certificados para realizar muestras tanto físicas como químicas.

- ✓ **Fibra TOC fibra 500 de Toxement®:**

Se obtuvo la fibra de la empresa Toxement proveedor de la planta Lafarge-Holcim quienes entregaron los resultados realizados a las fibras en sus instalaciones.

- ✓ **Fibra Sikafiber® AD DE SIKA:**

Se obtuvo la fibra de la empresa Sika proveedor de la planta LafargeHolcim quienes entregaron los resultados realizados a las fibras en sus instalaciones.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.

Debido a que este estudio se realizará en el laboratorio de la empresa Lafarge-Holcim y que se regirá bajo los parámetros establecidos por la compañía, esta a su vez proporciona los resultados de geocaracterización de las materias primas y de acuerdo a estos se regirá el diseño de la mezcla óptima para el estudio comparativo.

6.2.1 Agregados

Para los agregados pétreos se realizaron los siguientes ensayos regidos por las especificaciones de la norma técnica colombiana NTC 174:

- Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos – NTC 77.
- Determinación por lavado del material que pasa el tamiz 75 mm en agregados minerales - NTC 78.
- Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados – NTC 92.
- Determinación de la densidad y la absorción del agregado fino - NTC 237
- Determinación de la densidad y la absorción del agregado fino - NTC 176

6.2.2 Cemento

Con el fin de determinar la cuantía de cemento y la relación agua cemento de la mezcla de concreto se realizaron los siguientes ensayos:

- Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico - NTC 221.
- Determinación del peso unitario del cemento portland.

6.2.3 Fibras de Polipropileno

Los ensayos realizados a las fibras de concreto son realizados por cada compañía productora, se asocian los resultados en los anexos de este informe.

6.3 DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES.

Una vez caracterizados los materiales que componen la mezcla de concreto hidráulico se procedió a calcular la dosificación del diseño de las mezclas.

Uno de los indicadores más importantes en todo diseño de mezcla es la relación agua cemento; de acuerdo a esto la relación estándar que se utilizó para estas mezclas fueron de A/C = 0.55 considerando los respectivos ajustes por humedad de los agregados en el momento de ejecutar la mezcla.

Una vez obtenido el diseño de mezcla de referencia se calcularon tres diseños de mezcla más, sustituyendo el agregado fino por el de fibras de polipropileno proporciones del 5%, 10% y 15% respecto a su masa; esto con el fin de determinar el porcentaje óptimo de fibras de polipropileno.

6.4 ELABORACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Este ensayo se realiza bajo la norma (NTC1377, Norma Técnica Colombiana, 1994) y nos indica el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo un control preciso de los materiales y las condiciones de ensayo, para esto se utilizan los siguientes equipos:

- Varillas de compactación: larga 600 mm de longitud; 16 mm de diámetro.
- Corta 300 mm de longitud; 10 mm de diámetro.
- Mazos: de caucho o cuero, con una masa de 0.6 +/- 0.2 Kg.
- Moldes: lisos, libres de hendiduras.
- Herramientas pequeñas: palas, baldes, palustres, llanas.

- Cono para medir asentamiento.
- Carretillas de fondo plano, impermeables.
- Termómetro.
- Balanzas.
- Aparato para medir el contenido de aire.

Tamaño espécimen de acuerdo al tamaño del agregado:

El diámetro de la muestra cilíndrica o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular, debe ser al menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso en el concreto.

Elaboración de muestras:

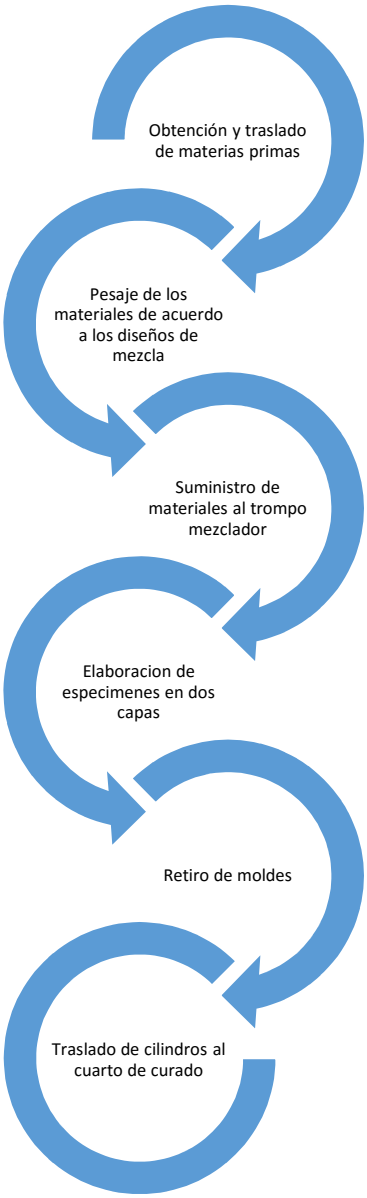
Moldear cerca de donde van a estar almacenadas las primeras 24 horas, en un sitio plano, rígido y libre de vibración, el concreto se coloca en los moldes usando un caucharon o palustre en las capas indicadas:

diametro (mm)	# capas	Diamtreo varilla (mm)	# comp/capa
75 a 100	2	10	25
150	3	16	25
vigas (mm)			
100*100*300	2	10	1 x cada 7 cm2
150*150*600	2	16	1 x cada 14 cm2

Curado:

- Remoción de los moldes: 24 h +/- 8 h después de vaciados.
- Curado húmedo a temperatura de 23 °C +/- 2°C en pileta o cuarto de curado hasta la fecha de falla de cada espécimen.

Ilustración 5. Proceso de elaboración de cilindros



Fuente: Elaboración propia

6.5 CARACTERIZACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

Transcurridos los 28 días, se inició la ejecución de los ensayos físicos y mecánicos que se estipulan en la (NTC454, Norma Técnica Colombiana, 2011). A 30 cilindros de cada tipo de mezcla se les realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto – NTC 673.

Estos ensayos también fueron ejecutados en las instalaciones y con los equipos del laboratorio de HOLCIM

7 RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de los especímenes sometidos a compresión a 28 días se anexan a este informe.

7.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN.

Tabla 1. Resumen de Caracterización

Resumen Caracterización Agregado Fino			
Ensayo	Unidad	Resultado	NTC 174
Granulometría	---	Cumple	
Pasa Tamiz 75 mm (N° 200)	%	2.24	7.0
Módulo de Finura	---	2,86	Máximo 2,9
Densidad Aparente	g/cm^3	2,61	2,3 a 2,7
Absorción	%	1,34	1 a 5
Resumen Caracterización Agregado Grueso			
Ensayo	Unidad	Resultado	NTC 174
Granulometría	---	Cumple	
Pasa Tamiz 75 mm (N°200)	%	0,7	1.0
Tamaño Máximo	mm	25,0	
Partículas Livianas		0.0	0.2

Densidad Aparente	g/cm^3	2,66	
Absorción	%	1.72	
Resumen Caracterización Cemento			
Ensayo	Unidad	Resultado	NTC 121
Densidad	g/cm^3	3,10	N.A.

Tabla 2. Ensayos de Control al Material utilizado

		ENSAYOS DE CONTROL											
Requisito de calidad Arena - NTC 174		Tamices (mm.) y Limites Granulométricos (%)								Módulo de Finura	Pasa Tamiz 0,075mm. (Màx.%)	Densidad Aparente (SSS) (Máx.%)	Absorción (Máx. %)	Contenido de Materia Orgánica (Máx. No)
		9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,08					
Proveedor y tipo de arena		NTC 174								NTC 174	NTC 174	NTC 174	NTC 174	NTC 174
LA SIERRA	ARENA NATURAL	100	95 - 100	80 - 100	50 - 85	25 - 60	10 - 30	2 - 10	---	Maximo 2,9	7,0	2,3 a 2,7	1 a 5	3,0
RESULTADOS LABORATORIO CONCRELAB	ARENA NATURAL	100	95	83	72	48	12	4	---	2,86	2,24	2,61	1,34	0,0

Requisito de calidad Gravas Para Concreto Hidráulico - NTC 174		Tamices (mm.) y Limites Granulométricos (%)									Terrones de arcilla particulas Deleznables	Maxima Cantidad de Madera	Sumatoria de terrones de arcilla, particulas deleznables y Cherts (peso especifico s.s.s. menor de 2,40)	Material que pasa el tamiz 0,075 mm (No.200)	% Particulas Livianas Carbón y Lignito (Máx %):	Abrasión (a)	Sanidad por sulfato de magnesio (5 ciclos) (b)
		50	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18							
Proveedor y tipo de Grava		NTC 174									NTC 174	NTC 174	NTC 174	NTC 174	NTC 174	NTC 174	NTC 174
UNE	Grava No. 5	---	100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 - 15	0 - 5	0 - 1	---	5,0	10g/Tn	7,0	1,0 (d)	0,2	50	18
RESULTADOS LABORATORIO CONCRELAB	Grava No. 5	---	---	96	71	20	6	2	1	---	0,1	10g/Tn	7,0	0,7	0	19,6	5,8

Fuente: Elaboración propia

7.2 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Mezcla de Referencia.

Tabla 3. Dosificación de concreto por m3 (Mezcla de Referencia)

Datos de entrada

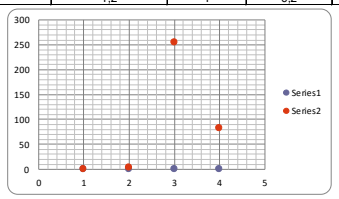
Resistencia	3000	kg / cm2	Tamaño maximo	25	mm	Colocación	
(x) Compresión ( ) Flexión			Manejabilidad	2	horas	Volumen a Colocar	m3
Relacion A / C	0,55		Edad	28	( ) Horas (x) Dias	Requisitos legales	
Asentamiento min	170	mm	Tipo de Estructura				
Asentamiento max	170	mm	Tipo de Exposicion				

Ejecución de la mezcla

Para 1 m3					Para 40 Litros		
Material Fuente	%	Densidad (kg / l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Corrección x Humedad (kg)
Cemento	11%	3,10	255,00	82,26	10,20	3,29	10,20
Arena 1	37%	2,53	870,00	343,87	34,80	13,75	36,17
Arena 2	0%		0,00	0,00	0,00		0,00
Arena 3				0,00	0,00		0,00
Grava 1				0,00	0,00		0,00
Grava 2	32%	2,54	750,00	295,28	30,00	11,81	29,97
Grava 3	15%	2,54	350,00	137,80	14,00	5,51	14,03
Agua	6%	1,00	140,00	140,00	5,60	5,60	4,23
Aditivo 1 %Peso MC				0,00	0,0000		0,0000
Aditivo 2 %Peso MC				0,00	0,0000		0,0000
Adicion				0,00	0,00		0,00
Total mortero			**1265,00**	**566,13**			
Totales			**2365,00**	**999,20**	**94,60**	**39,97**	**94,60**

Humedad

Material	Humedad total (%)	Absorcion (%)	Humedad libre (%)	Correccion por humedad
Arena 1	5,1	1,3	3,8	
Arena 2			0	
Arena 3			0	
Grava 1			0	
Grava 2	1	1,1	-0,1	
Grava 3	1,2	1	0,2	



Fuente: Elaboración propia

Mezcla con el 5% de fibra de polipropileno.

Tabla 4. Dosificación de concreto por m3 (5% FIBRAS DE POLIPROPILENO)

Datos de entrada

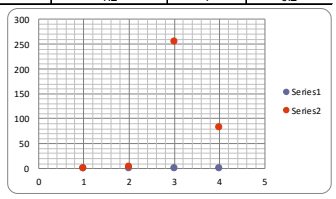
Resistencia	3000	kg / cm2	Tamaño maximo	25	mm	Colocación	
(x) Compresión ( ) Flexión			Manejabilidad	2	horas	Volumen a Colocar	m3
Relacion A / C	0.55		Edad	28	( ) Horas (x) Dias	Requisitos legales	
Asentamiento min	170	mm	Tipo de Estructura				
Asentamiento max	170	mm	Tipo de Exposicion				

Ejecución de la mezcla

Para 1 m3					Para 40 Litros		
Material Fuente	%	Densidad (kg / l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Corrección x Humedad (kg)
Cemento	11%	3.10	255.00	82.26	10.20	3.29	10.20
Arena 1	32%	2.53	826.50	326.68	33.06	13.07	34.37
Arena 2	0%						
Arena 3							
Grava 1							
Grava 2	32%	2.54	750.00	295.28	30.00	11.81	29.97
Grava 3	15%	2.54	350.00	137.80	14.00	5.51	14.03
Agua	6%	1.00	140.00	140.00	5.60	5.60	4.30
Aditivo 1 %Peso MC	5%	0.85	43.50	51.18	1.7400	2.0471	1.7400
Aditivo 2 %Peso MC	0%						
Adicion							
Total mortero			**1265.00**	**548.94**			
Totales			**2365.00**	**1033.19**	**94.60**	**41.33**	**94.60**

Humedad

Material	Humedad total (%)	Absorcion (%)	Humedad libre (%)	Correccion por humedad
Arena 1	5.1	1.3	3.8	
Arena 2				
Arena 3				
Grava 1				
Grava 2	1	1.1	-0.1	
Grava 3	1.2	1	0.2	



Fuente: Elaboración propia

Mezcla con el 10% de fibras de polipropileno.

Tabla 5. Dosificación de concreto por m3 (10% FIBRAS DE POLIPROPILENO)

Datos de entrada

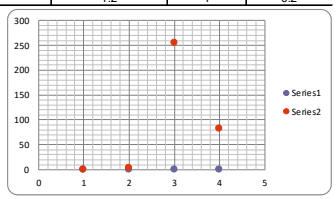
Resistencia	3000	kg / cm2	Tamaño maximo	25	mm	Colocación	
(x) Compresión ( ) Flexión			Manejabilidad	2	horas	Volumen a Colocar	m3
Relacion A / C	0.55		Edad	28	( ) Horas (x) Dias	Requisitos legales	
Asentamiento min	170	mm	Tipo de Estructura				
Asentamiento max	170	mm	Tipo de Exposicion				

Ejecución de la mezcla

Para 1 m3					Para 40 Litros		
Material Fuente	%	Densidad (kg / l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Corrección x Humedad (kg)
Cemento	11%	3.10	255.00	82.26	10.20	3.29	10.20
Arena 1	27%	2.53	783.00	309.49	31.32	12.38	32.56
Arena 2	0%						
Arena 3							
Grava 1							
Grava 2	31%	2.54	750.00	295.28	30.00	11.81	29.97
Grava 3	15%	2.54	350.00	137.80	14.00	5.51	14.03
Agua	6%	1.00	140.00	140.00	5.60	5.60	4.36
Aditivo 1 %Peso MC	10%	0.85	87.00	102.35	3.4800	4.0941	3.4800
Aditivo 2 %Peso MC	0%						
Adicion							
Total mortero			**1265.00**	**531.74**			
Totales			**2365.00**	**1067.17**	**94.60**	**42.69**	**94.60**

Humedad

Material	Humedad total (%)	Absorcion (%)	Humedad libre (%)	Correccion por humedad
Arena 1	5.1	1.3	3.8	
Arena 2				
Arena 3				
Grava 1				
Grava 2	1	1.1	-0.1	
Grava 3	1.2	1	0.2	



Fuente: Elaboración propia

Mezcla con el 15% de fibras de polipropileno.

Tabla 6. Dosificación de concreto por m3 (15% FIBRAS DE POLIPROPILENO)

Datos de entrada

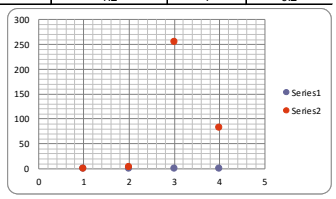
Resistencia	3000	kg / cm2	Tamaño maximo	25	mm	Colocación	
(x) Compresión ( ) Flexión			Manejabilidad	2	horas	Volumen a Colocar	m3
Relacion A / C	0.55		Edad	28	( ) Horas (x) Dias	Requisitos legales	
Asentamiento min	170	mm	Tipo de Estructura				
Asentamiento max	170	mm	Tipo de Exposicion				

Ejecución de la mezcla

Para 1 m3					Para 40 Litros		
Material Fuente	%	Densidad (kg / l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Peso (kg)	Volumen (l)	Corrección x Humedad (kg)
Cemento	11%	3.10	255.00	82.26	10.20	3.29	10.20
Arena 1	22%	2.53	739.50	292.29	29.58	11.69	30.75
Arena 2	0%						
Arena 3							
Grava 1							
Grava 2	31%	2.54	750.00	295.28	30.00	11.81	29.97
Grava 3	15%	2.54	350.00	137.80	14.00	5.51	14.03
Agua	6%	1.00	140.00	140.00	5.60	5.60	4.43
Aditivo 1 %Peso MC	15%	0.85	130.50	153.53	5.2200	6.1412	5.2200
Aditivo 2 %Peso MC	0%						
Adicion							
Total mortero			**1265.00**	**514.55**			
Totales			**2365.00**	**1101.15**	**94.60**	**44.05**	**94.60**

Humedad

Material	Humedad total (%)	Absorcion (%)	Humedad libre (%)	Correccion por humedad
Arena 1	5.1	1.3	3.8	
Arena 2				
Arena 3				
Grava 1				
Grava 2	1	1.1	-0.1	
Grava 3	1.2	1	0.2	



Fuente: Elaboración propia

7.3 ELABORACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Una vez realizados los diseños de mezcla, se procedió con la elaboración de los cilindros, para ello se contó con la ayuda de la empresa LAFARGE-HOLCIM que es una empresa dedicada a la producción de concreto según las especificaciones de la obra a despachar y cumpliendo con las normas vigentes para la construcción en el país. Los cilindros se fabricaron en las instalaciones de LAFARGE-HOLCIM Puente Aranda, haciendo uso de sus equipos especiales, tales como la prensa hidráulica para fallar cilindros, mezcladora, etc., y del personal apropiado para la correcta fabricación de los cilindros de concreto hidráulico.

La determinación de la cantidad de especímenes fue tomada teniendo en cuenta las declaraciones descritas en el titulo C para ser exactos en el artículo C.5.3.1 (Sísmica, 2010, págs. C-70) respecto a los ensayos relacionados a la construcción, en esta se determina que cuando en número de resultados de ensayos es menor a 30, los valores de desviación estándar y coeficiente de variación no son confiables, por este motivo se fabricaron 30 cilindros de concreto por cada dosificación y tipo de fibra.

Forma:	Cilindros de concreto.
Masa de Concreto:	Bicapa
Altura:	200 mm
Diámetro:	100 mm

La estructura del cilindro está compuesta de un molde metálico con un diámetro de 100 mm y una altura de 200 mm

En las instalaciones de LAFARGE HOLCIM teniendo en cuenta las dosificaciones de los diseños de mezcla, se clasificaron y pesaron todos los materiales para posteriormente iniciar con la mezcla y la fabricación de las muestras de referencia y las muestras que contenían las adiciones de fibra.

El mezclado se realizó en una mezcladora de concreto tipo trompo con el fin de garantizar una correcta hidratación de las partículas de cemento, la distribución de los agregados y las fibras.

Ilustración 6. Elaboración de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Después de darle un tiempo de mezclado a los materiales se procedió a realizar el ensayo de asentamiento para garantizar que todas las mezclas tuvieran la misma medida y no afectar los resultados.

Inmediatamente se bajó la mezcla en una carretilla debidamente humedecida para evitar perdida de manejabilidad del concreto y se procedió a elaborar las muestras de concreto en los moldes metálicos engrasados con aceite.

Ilustración 2. Elaboración de los cilindros.



Fuente: Elaboración Propia.

Se efectuó el mismo procedimiento para las siguientes muestras con adiciones de fibra según porcentaje y marca de acuerdo al diseño de mezcla.

Ilustración 8. Cilindros con adición de fibras de polipropileno



Fuente: Elaboración Propia

Una vez fabricados los cilindros de concreto, se enrazaron y se dejaron en el laboratorio durante las primeras 24 horas protegidos de las condiciones climáticas adversas y a una temperatura y humedad controladas, se desencofraron y se llevaron a la piscina de curado donde estuvieron hasta que cumplieron la fecha para ser ensayados a compresión a la edad programada.

Ilustración 9. Cilindros desencofrados y llevados a la piscina de curado



Fuente: Elaboración Propia

7.4 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DE LOS CILINDROS

Luego de la elaboración y curado de los cilindros, los especímenes se fueron sacando y se ensayaron a las edades estipuladas en la norma (NTC673, Norma Técnica Colombiana, 2010) Los ensayos se realizaron a 30 especímenes de cada tipo de mezcla.

7.4.1 Ensayo de resistencia a la compresión

Para realizar este ensayo se requiere de una máquina de ensayo para la determinación a la resistencia a la compresión que debe ser capaz de aplicar cargas hasta de 500 KN y debe cumplir con los demás requisitos establecidos en la (NTC673, Norma Técnica Colombiana, 2010). La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante un ensayo por la sección transversal de área del espécimen.
Los especímenes se fallan a las edades indicadas en la norma 3,7 y 28 días y se deben mantener en un cuarto de curado o pileta antes de ser fallados.

Para realizar este ensayo se saca un listado con las muestras que se van a fallar y a las edades establecidas, se buscan en la piscina y se transportan en una carretilla hasta la prensa ubicada en el laboratorio de LAFARGE HOLCIM, se procede a meterlas en la prensa con los apoyos y se inicia con el fallado, cabe aclara que la prensa del laboratorio cumple con todas las características de la norma (NTC673, Norma Técnica Colombiana, 2010) y se encuentra calibrada.

Ilustración 30. Cilindros en la prensa



Fuente: Elaboración Propia

7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los distintos ensayos realizados a los especímenes de la mezcla de referencia y a los especímenes de las mezclas propuestas que contienen las fibras de polipropileno y su análisis.

A los resultados se les realizaron los siguientes análisis estadísticos consultados de (Mendenhall, 2010)

Media Aritmética (Resistencia Característica) :

La media aritmética o promedio de un conjunto de n mediciones es igual a la suma de las mediciones dividida entre n.

$$\mu = \frac{\Sigma\, xi}{n}$$

Este cálculo se aplica con el fin de tener un dato representativo de los resultados obtenidos del ensayo al que se sometió cada tipo de mezcla.

Desviación estándar:

La desviación estándar de un conjunto de mediciones es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Este dato nos permite determinar si en algún momento existe un cambio brusco en los resultados de alguna de las muestras sometidas al ensayo de resistencia.

Coeficientes de Correlación

El coeficiente de correlación de Pearson (1896) es, quizá, el mejor coeficiente y el más utilizado para estudiar el grado de relación lineal existente entre dos variables cuantitativas. El coeficiente toma valores entre -1 y 1, siendo 1 relación lineal perfecta positiva y -1 relación perfecta negativa.

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n S_x S_y}$$

Este valor nos permite identificar si los resultados de los ensayos de las muestras de diferente tipo de fibra tienen una similitud que los pueda relacionar entre si.

7.5.1 Resistencia

Tabla 6. Tabla de Análisis Estadístico del Concreto- NSR10 Compresión.

Análisis Estadístico del Concreto – NSR 10 Compresión

Fecha Documento: 15/06/2016

Planta: PUENTE ARANDA

Rango de fecha: **ABRIL 04– MAYO 16**
Mes Corte: ABRIL 04- MAYO 2016

Producto Código	Resistencia f'c (Mpa)	N. Muestras	Total Cemento (kg)	Resistencia Objetivo (MPa)	Resistencia 3D (MPa)	Resistencia 7D (MPa)	Resistencia 28D (MPa)	Resistencia Caracteris. f"c (MPa)	Desviación estandar 3D	Desviación estandar 7D	Desviación estandar 28D	Sobrediseño (MPa)	Resistencia requerida (NSR-10) f'cr (MPa)	Criterio de Resistencia f'cr < x	Todos Los Criterios NSR-10
10010993	21	30	255	21	13,18	17,38	23,05	23,05	1	1,4	1,5	2,1	23,0	Cumple NSR10	Cumple NSR10
10010993-5%-T	21	30	255	21	14,49	20,33	27,67	27,67	1,1	1,5	1,7	6,7	23,3	Cumple NSR10	Cumple NSR10
10010993-10%-T	21	30	255	21	13,13	18,24	25,62	25,62	1,3	1,7	1,8	4,6	23,4	Cumple NSR10	Cumple NSR10
10010993-15%-T	21	30	255	21	14,03	18,58	25,59	25,59	1,1	1,5	1,9	4,6	23,5	Cumple NSR10	Cumple NSR10
10010993-5%-S	21	30	255	21	13,48	18,02	26,25	26,25	1	1,2	1,6	5,3	23,1	Cumple NSR10	Cumple NSR10
10010993-10%-S	21	30	255	21	14,68	19,19	27,46	27,46	1,3	1,4	1,7	6,5	23,3	Cumple NSR10	Cumple NSR10
10010993-15%-S	21	30	255	21	15,12	20,49	26,99	26,99	1	1,5	1,8	6	23,4	Cumple NSR10	Cumple NSR10

Observaciones:

Elaboró	FABIAN ALDANA LORENA CAÑON

f'c : Resistencia especificada
f"c : Resistencia característica
f'cr : Resistencia requerida (NSR-10)

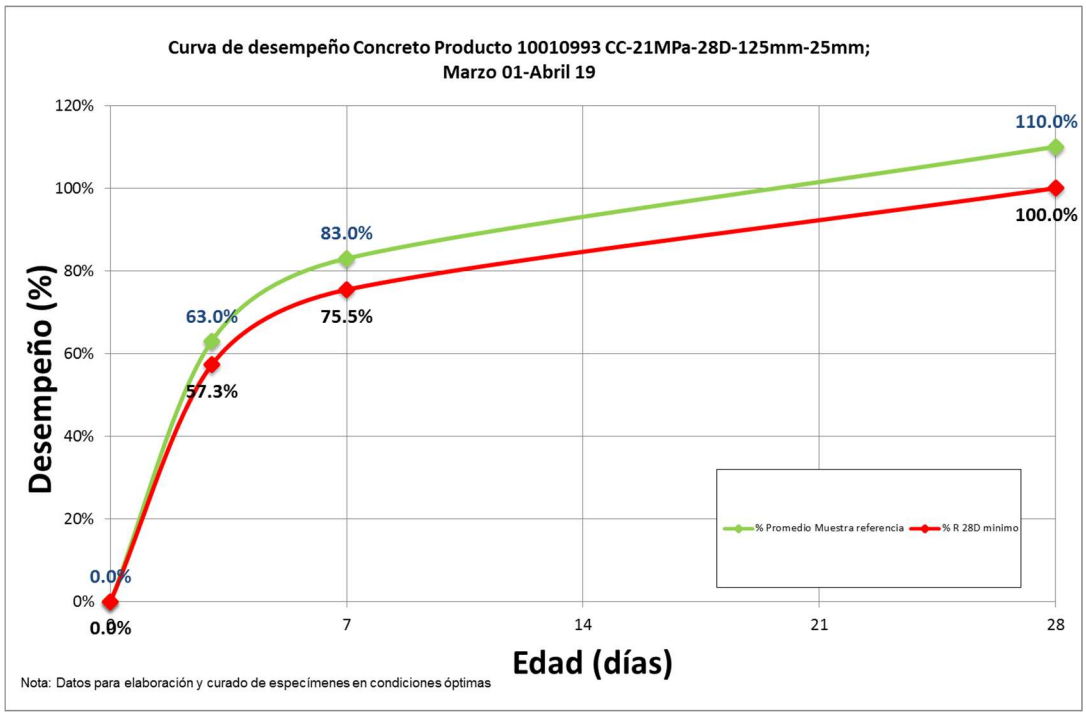
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Tabla de Desempeño- Muestra de Referencia.

Días	% Promedio Muestra referencia	% Resistencia mínima teórica
0	0.0%	0.0%
3	63.0%	57.3%
7	83.0%	75.5%
28	110.0%	100.0%

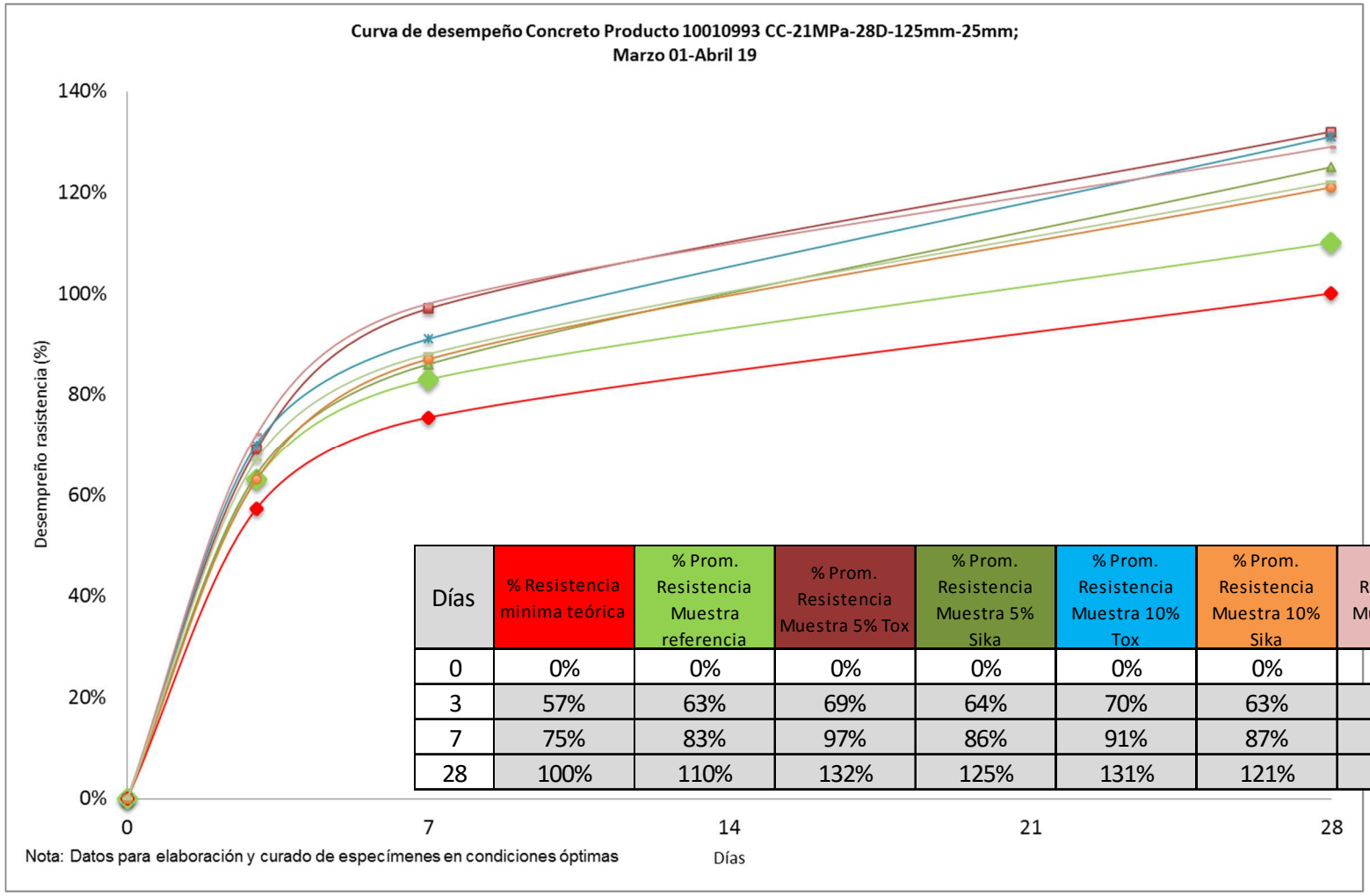
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 41. Curva de desempeño - Muestra de Referencia



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 52. Curva de desempeño - Muestras con adición de fibra



Días	% Resistencia minima teórica	% Prom. Resistencia Muestra referencia	% Prom. Resistencia Muestra 5% Tox	% Prom. Resistencia Muestra 5% Sika	% Prom. Resistencia Muestra 10% Tox	% Prom. Resistencia Muestra 10% Sika	% Prom. Resistencia Muestra 15% Tox	% Prom. Resistencia Muestra 15% Sika
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	57%	63%	69%	64%	70%	63%	72%	67%
7	75%	83%	97%	86%	91%	87%	98%	88%
28	100%	110%	132%	125%	131%	121%	129%	122%

Fuente: Elaboración propia

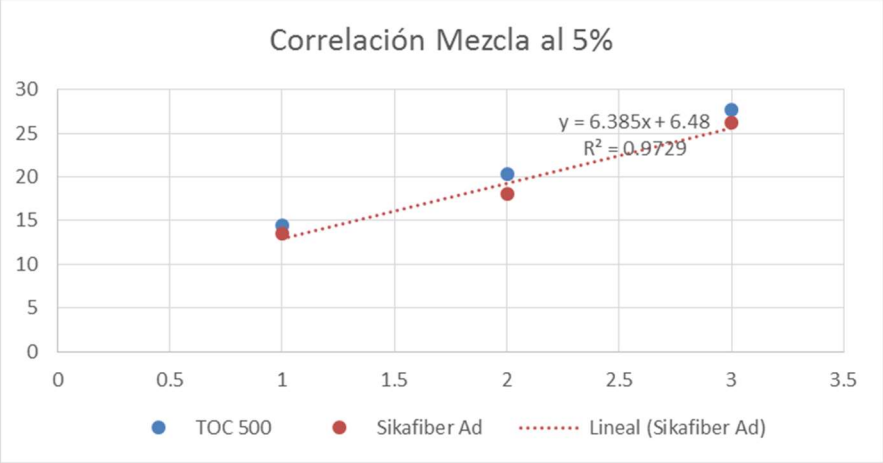
7.5.2 Correlación de los resultados

Tabla 9. Tabla de Correlación Mezcla al 5%

Mezcla al 5%		
	TOC 500	*Sikafiber Ad*
TOC 500	1	
Sikafiber Ad	0.995034605	1

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 63. Ecuación y línea de tendencia mezclas al 5%



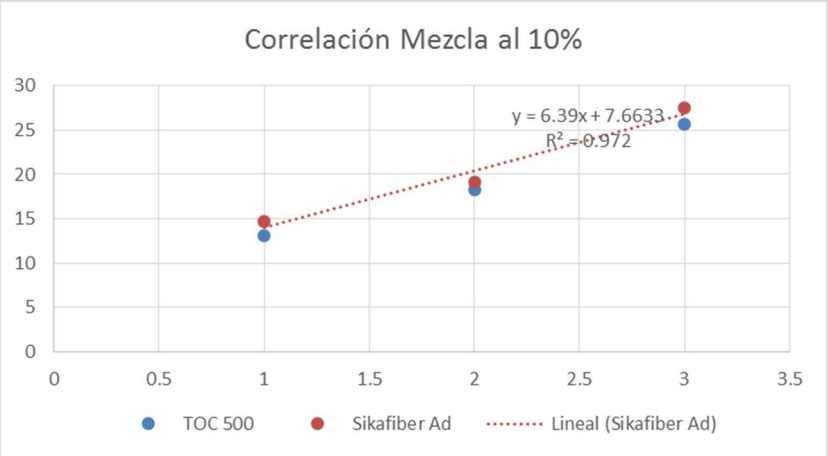
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Tabla de Correlación Mezcla al 10%

Mezcla al 10%		
	TOC 500	*Sikafiber Ad*
TOC 500	1	
Sikafiber Ad	0.997971337	1

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 74. Ecuación y línea de tendencia mezclas al 10%



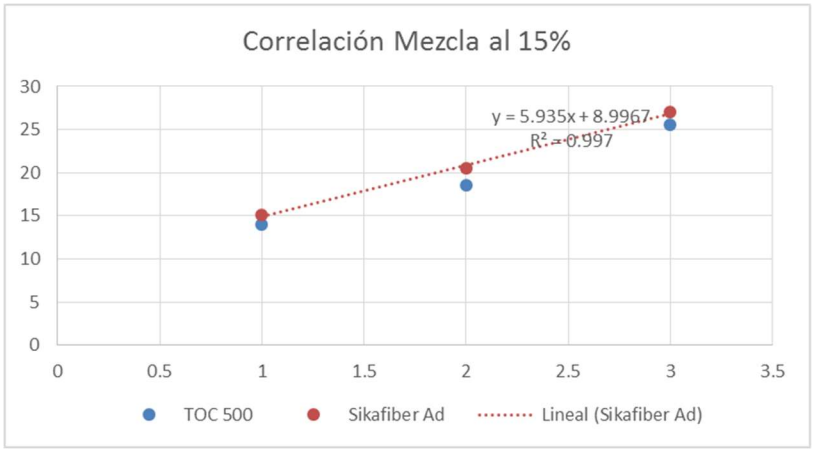
Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Tabla de Correlación Mezcla al 15%

Mezcla al 15%		
	TOC 500	*Sikafiber Ad*
TOC 500	1	
Sikafiber Ad	0.997733402	1

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 85. Ecuación y línea de tendencia mezclas al 15%



Fuente: Elaboración propia

Los resultados cumplen con la especificación de la NTC 673, se observa que las mezclas que contienen las adiciones de fibra comportan de muy manera similar entre sí, y entre ellas tienen una desviación estándar máxima de 1,90%, lo que significa que la dispersión es baja.

Y existe una correlación positiva entre las dos marcas de fibra lo cual indica que el uso de cualquiera de las dos cumplirá con los requisitos exigidos por la (NTC 5541, Norma Técnica Colombiana, 2007)

ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación, se presentan en análisis de precios unitarios para un concreto convencional y los concretos con adición de fibras de polipropileno. Según los resultados de resistencia a la compresión optamos por no considerar viable analizar los costos de una mezcla de concreto de fibras de polipropileno al 10-15% debido a que la mezcla con el 5% fue la que mejor resultado reflejo.

Tabla 12. Costos de materia prima de un concreto común/m³

Componente	Cantidades	Precio Unitario	Precio Total
Cemento (Kg)	255	$550.00	$140.250.00
Agregado Fino (Kg)	870	$54.00	$46.980.00
Agregado Grueso (Kg)	1.100	$65.00	$71.500.00
Agua (m³)	0.140	$40.00	$5.60
Fibras de polipropileno Sikafiber® (Kg)	---	---	---
		Total	$258,735.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Costos de materia prima de un concreto con sustitución de FIBRAS DE POLIPROPILENO al 5% Sikafiber® Ad

Componente	Cantidades	Precio Unitario	Precio Total
Cemento (Kg)	255	$550.00	$140.250.00
Agregado Fino (Kg)	826.5	$54.00	$44.631.00
Agregado Grueso (Kg)	1.100	$65.00	$71.500.00
Agua (m³)	0.140	$40.00	$5.60
Fibras de polipropileno Sikafiber® (Kg)	43.5	$8000.00	$348.000.00
		Total	$604.386.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Costos de materia prima de un concreto con sustitución de FIBRAS DE POLIPROPILENO al 5%/m³ TOC 500 Toxement®

Componente	Cantidades	Precio Unitario	Precio Total
Cemento (Kg)	255	$550.00	$140.250.00
Agregado Fino (m3)	826.5	$54.00	$44.631.00
Agregado Grueso (m3)	1.100	$65.00	$71.500.00
Agua (m3)	0.140	$40.00	$5.60
Fibras de polipropileno TOC 500 Toxement® (Kg)	43.5	$6500.00	$282.750.00
		Total	$539.136.60

Fuente: Elaboración propia.

Realizando un comparativo de los costos de las materias primas de un concreto convencional y los concreto con adición de fibras de polipropileno al 5% de las dos marcas estudiadas encontramos que existe un incremento en su valor de más del 100%, para ser exactos el 133% y el 108% respectivamente.

Los precios unitarios usados para este análisis fueron de tomados del mercado comercial en mayor escala.

8 CONCLUSIONES

La curva de resistencia del concreto mantiene el mismo comportamiento con la edad en concreto con fibras y concreto sin fibra, lo cual demostró que la adición de fibras no causo una modificación significativa en el desempeño de la resistencia.

El efecto que genera la sustitución de agregado fino por la de fibras de polipropileno no presenta ningún cambio en cuanto a la particularidad de absorción de agua, es decir, este permanece constante en cada una de las muestras elaboradas. La absorción de las fibras se comportó de manera similar a la absorción del agregado fino.

Luego de practicar los ensayos al concreto fresco se observó que en el concreto con fibras aumento del asentamiento y el peso unitario, así como también hubo una disminución del porcentaje de aire incorporado con respecto al concreto sin fibras.

El costo de elaboración de un m^3 de concreto con adición de fibras es mayor en un alto porcentaje con respecto a un concreto convencional, un valor demasiado elevado si se compara con los beneficios que esta adición con lleva al concreto lo cual solo asciende al 20%.

En cuanto al uso de los dos tipos de fibras refiriéndonos a las casas matrices objeto de estudio (Sika y Toxement) se pudo verificar que las fibras de Toxement son mejores por un 10% lo cual es un valor poco significativo, sin embargo la variación de costo entre ellas también deja en desventaja a las fibras de la marca Sika.

Los valores promedio de la resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días del concreto con fibras son mayores que los obtenidos para esas mismas edades de ensayo en el concreto sin fibras, sin embargo el resultado fue mejor para la mezcla que tenía el 5% de las mismas.

El uso de las fibras demostró que si afecta la resistencia del concreto. Y es una opción viable sin embargo se debe evaluar la variable costo beneficio ya que a pesar del aumento

de la resistencia, el costo de la fibra por kilo es alto y se convierte en un gasto adicional que tal vez no sea necesario, dependiendo del tipo de proyecto a desarrollar.

Las fibras de polipropileno favorecen la manejabilidad del concreto fresco y al observar sus resultados en cuando a la fisuración se puede decir que estas serían de mayor utilidad en elementos estructurales con una gran área como placas de contrapiso, entrepiso o pavimentos hidráulicos, los elementos estructurales principales como lo son vigas y columnas no representan un beneficio significativo, esta afirmación se basa en la experiencia al ver el desarrollo del proyecto de ampliación del aeropuerto internacional EL DORADO, para el cual se están utilizando fibras de polipropileno en las placas y las cuales están reportando un porcentaje de fisuración por retracción mínimo, beneficio que se le atribuye a las fibras.

9 BIBLIOGRAFIA

COLOMBIA, S. (2012). *Manual Sikafiber Ad.* Tocancipa: SIKA.

Colombia, S. (08 de 2014). *Concretos reforzados con fibra.*

Instituto del Concreto. (2009). Tecnología y propiedades. Bogotá D.C., Colombia.

Mendenhall, W. B. (2010). Introducción a la probabilidad y estadística. México: Cengage Learning Editores, S.A. Obtenido de http://investigadores.cide.edu/aparicio/data/refs/Mendenhall_Prob_Estadistica_13.pdf

NTC 550, Norma Técnica Colombiana. (2000). Concretos. Elaboración y curado de especimenes de concreto en obra. Colombia.

NTC 5541, Norma Técnica Colombiana. (2007). Concretos reforzados con fibra. Colombia.

NTC1377, Norma Técnica Colombiana. (1994). Ingenieria civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Colombia.

NTC454, Norma Técnica Colombiana. (2011). Concretos fresco. Toma de muestras. Colombia.

NTC673, Norma Técnica Colombiana. (2010). Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especimenes cilíndricos de concreto. Colombia.

Sísmica, A. C. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE.* Bogotá.

Walpole, R. E. (1999). Probabilidad y Estadistica para Ingenieros. México.

www.elconstructorcivil.com. (20 de Enero de 2011). Obtenido de http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/resistencia-del-concreto.html