

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO AL AÑADIR
FIBRAS DE ACERO EN FORMA TRIANGULAR**



Por:
Sebastián Camilo López Rodríguez



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2019**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO AL AÑADIR
FIBRAS DE ACERO EN FORMA TRIANGULAR**

Por:
Sebastián Camilo López Rodríguez

Anteproyecto presentado como opción de grado para optar al título profesional de
Ingeniero Civil

Aprobado por:
Ing. Alexander Solarte Benavides, Esp., Msc.
Director

Ing. Geovanny González Maldonado, IC, Msc.
Codirector

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

Autoridades Académicas

P. José Gabriel Mesa Angulo, O. P.

Rector General

P. Eduardo González Gil, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García Jara, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón

Decano Sede Villavicencio Facultad Ingeniería Civil

Nota de aceptación

Manuel Eduardo Herrera Pabón

Decano Facultad Ingeniería Civil

Alexander Solarte Benavides

Director Trabajo de Grado

Emiro Andrés Lozano Pérez

Jurado

Villavicencio 29, enero, 2020

A MIS PADRES, HERMANOS,
DOCENTES, AMIGOS

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios nuestro ser todo poderoso por permitirme desarrollar este proyecto.

A los diferentes docentes que participaron en el desarrollo del proyecto, por la dedicación y apoyo que han brindado a este trabajo, por el respeto a mis opiniones, sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que han facilitado a las mismas.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que me estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que me animan a crecer como persona y como profesional.

Gracias a mi familia, a mis padres, que, con esperanzas desmedidas de la utilidad y significado de la formación académica, que me apoyan económicamente.

Gracias a mí pareja, a mis amigos que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

Un agradecimiento de manera muy personal al Ingeniero Geovanny quien fue la persona que estuvo guiando esta investigación, dando su tiempo y su apoyo incondicional para poder culminar este proyecto de manera satisfactoria.

Muchas gracias.

RESUMEN

Debido a que las propiedades mecánicas del concreto muchas veces son insuficientes y no cumplen con los requerimientos que se le imponen, se ha decidido experimentar modificando la forma de las fibras de acero a una forma triangular e implementándolas como refuerzo a la mezcla de concreto, dado que no se desea estudiar los efectos de implementar diferentes dosificaciones en la mezcla sino solo como cambian las propiedades del concreto al cambiar la forma de la fibra, se tomara la dosificación sugerida por el fabricante.

Al mejorar las propiedades mecánicas del concreto añadiendo fibras de acero, se disminuyen los costos y mano de obra en las diferentes construcciones. Principalmente el material pétreo será adquirido de la planta Agremet y se trabajará con el cemento Holcim.

La mezcla de concreto se realizará en las instalaciones de la Universidad Santo tomas, posteriormente se iniciará el proceso de encofrado de las viguetas y cilindros para su posterior ensayo a los 7, 14 y 28 días de curado, llevando las muestras a un laboratorio independiente finalizando con las pruebas de resistencia de las muestras para su posterior toma de datos y análisis de resultado.

En esta investigación se desea comprobar que las muestras reforzadas con fibras de acero en forma triangular son más eficientes y demuestran un mejor resultado que las muestras reforzadas con fibras de acero convencional. De acuerdo a los análisis de resultados se evidencio que las muestras que contienen fibras de acero en forma triangular mejoran en gran parte la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Resulta factible la construcción de elementos como losas y emplear el concreto reforzado con fibras triangulares en elementos donde se presente un riesgo alto al fisuramiento y en construcciones donde el tiempo sea limitado dado que esto reduce el tiempo de construcción comparado con el refuerzo tradicional.

Palabras Clave: *Modulo de elasticidad, Fibras de acero, Resistencia a la compresión, Resistencia a la flexión, Concreto reforzado, Maquina universal.*

ABSTRACT

Because the mechanical properties of concrete are often insufficient and do not meet the requirements imposed on it, it has been decided to experiment by modifying the shape of the steel fibers to a triangular shape and implementing them as reinforcement to the concrete mixture, given that it is not desired to study the effects of implementing different dosages in the mixture but only as the properties of the concrete change when changing the shape of the fiber, the dosage suggested by the manufacturer will be taken.

By improving the mechanical properties of concrete by adding steel fibers, costs and labor in different constructions are reduced. Mainly the stone material will be acquired from the Agremet plant and work with the Holcim cement.

The concrete mix will be carried out at the Santo Tomas University facilities, the formwork process of the joists and cylinders will be started for later testing at 7, 14 and 28 days of curing, taking the samples to an independent laboratory ending with the resistance tests of the samples for later data collection and result analysis.

In this investigation it is desired to verify that the samples reinforced with steel fibers in a triangular shape are more efficient and demonstrate a better result than the samples reinforced with conventional steel fibers. According to the results analysis, it was shown that samples containing triangular shaped steel fibers greatly improve the compressive and flexural strength of concrete.

It is feasible to construct elements such as slabs and to use concrete reinforced with triangular fibers in elements where there is a high risk of cracking and in constructions where time is limited since this reduces construction time compared to traditional reinforcement.

Key Word: *Modulus of elasticity, Steel fibers, Compressive strength, Flexural strength, Reinforced concrete, Universal machine.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	15
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
3.	JUSTIFICACIÓN.....	17
4.	OBJETIVOS.....	18
4.1.	OBJETIVO GENERAL	18
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5.	ALCANCE.....	19
6.	MARCO DE REFERENCIA	20
6.1.	MARCO TEÓRICO	20
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	21
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	22
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	24
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	26
7.1.	PERSONAL	26
7.2.	RECURSOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS	26
8.	METODOLOGÍA	28
8.1.	TIPO DE ESTUDIO.....	28
8.2.	INSTRUMENTOS	28
8.3.	PROCEDIMIENTO	28
8.3.1	Origen y almacenamiento de los materiales.....	28
8.3.2	Elaboración y experimentación	28
9.	ETAPA 1 (ORIGEN Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES).....	33
10.	ETAPA 2 (ELABORACION Y EXPERIMENTACION).....	36
10.1.	DISEÑO DE MEZCLA.....	36
10.1.1	Granulometría	37
10.1.2	Porcentajes de dosificación de agregados	39
10.1.3	Determinación del asentamiento para la mezcla	39
10.1.4	Volumen de Agua.....	40
10.1.5	Resistencia a la compresión de la mezcla.....	41
10.1.6	Relación A/C por resistencia	41
10.1.7	Dosificación baldes de 8 litros	41
10.2.	DOSIFICACIÓN EN LABORATORIO	42
10.3	TOMA DE MUESTRAS PARA ENSAYOS	48
10.3.	ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESION	51
10.4.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION	53
11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
11.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	56
11.1.1	PORCENTAJE DE ERROR	61
11.1.2	TIPO DE FALLA	61
11.2.	RESISTENCIA A LA FLEXION.....	63
11.3.	MODULO DE ELASTICIDAD.....	65
12.	DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES	68
13.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	71
13.1.	CONCLUSIONES	71

13.2. TRABAJOS FUTUROS.....	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Personal Investigador	26
Tabla 2 Recursos Técnicos	27
Tabla 3 Recurso Operativo.....	27
Tabla 4 Diseño de mezcla de concreto 3000 psi por volumen	30
Tabla 5 Diseño de mezcla para baldes de 8 Litros.....	31
Tabla 6 Diseño de mezcla para baldes de 6 litros.....	31
Tabla 7 Especificaciones técnicas malla en bolsa DRAMIX.....	35
Tabla 8 Materiales utilizados para la mezcla.....	37
Tabla 9 Análisis granulométrico grava	37
Tabla 10 Análisis granulométrico arena	38
Tabla 11 Análisis granulométrico	38
Tabla 12 Asentamiento recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación	39
Tabla 13 Volumen de agua	40
Tabla 14 Relación agua/cemento de diseño en peso.....	41
Tabla 15 Dosificación baldes de 8 Litros.....	41
Tabla 16 Volumen encofrado viga.....	42
Tabla 17 Volumen cilindro	42
Tabla 18 Total mezcla y dosificación.....	43
Tabla 19 Total mezcla y dosificación fibras triangulares	46
Tabla 20 formato recopilación de información ensayo a compresión.....	52
Tabla 21 Análisis de resultados tomados en laboratorio resistencia compresión..	56
Tabla 22 Resistencia concreto fibras convencionales respecto al tiempo.....	57
Tabla 23 Resistencia concreto fibras triangulares respecto al tiempo.....	58
Tabla 24 Resistencia concreto sin refuerzo respecto al tiempo	59
Tabla 25 Comparación resistencia de muestras	60
Tabla 26 Porcentaje de error.....	61
Tabla 27 Tipo de falla muestras de concreto	62
Tabla 28 Análisis de resultados tomados en laboratorio resistencia flexión.....	63
Tabla 29 Comparación módulo de rotura muestras	63
Tabla 30 Resultados concreto reforzado con fibras convencionales.....	64
Tabla 31 Resultados concreto reforzado con fibras triangulares.....	65
Tabla 32 Modulo de elasticidad.....	66
Tabla 33 Modulo de elasticidad 28 días	66
Tabla 34 Comparación resistencia a la compresión entre las muestras	69
Tabla 35 Comparación modulo de rotura ensayo a flexión	69
Tabla 36 Modulo de elasticidad muestras de 28 días de curado	69
Tabla 37 Resultados relacionando objetivos	70
Tabla 38 Impactos.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Prototipo Lamina De Acero Forma Triangular	29
Figura 2 Fibra De Acero Convencional	30
Figura 3 Ensayo a Flexión Grafica de Momento Máximo	31
Figura 4 Ensayo Compresión	32
Figura 5 Diagrama Esfuerzo – Deformación	32
Figura 6 Cemento Holcim usado para los ensayos	33
Figura 7 Dramix fibras de acero convencional	34
Figura 8 Fibra de acero en forma triangular	35
Figura 9 Fibras de acero convencionales Dramix	35
Figura 10 Agregado grueso y fino mezclado proveniente Agremet.....	36
Figura 11 Granulometría agregados según Fuller y Weymouth	39
Figura 12 Dosificación fibras de acero convencionales.....	43
Figura 13 Balde 8 litros con dosificación fibras convencionales.....	44
Figura 14 Dosificación de cemento para mezcla fibras convencionales	44
Figura 15 Proceso de mezcla con las fibras convencionales	45
Figura 16 Proceso de mezcla con las fibras convencionales	45
Figura 17 Proceso de mezcla con las fibras convencionales	45
Figura 18 Dosificación cemento Holcim para fibras triangulares.....	46
Figura 19 Dosificación de fibras de acero en forma triangular	47
Figura 20 Integración de fibras triangulares con la mezcla de concreto.....	47
Figura 21 Encofrado viguetas almacenadas 24 horas.	48
Figura 22 Llenado encofrado viguetas	49
Figura 23 Llenado encofrado viguetas	49
Figura 24 Desencofrado de cilindros.....	50
Figura 25 Desencofrado de viguetas y cilindros.....	50
Figura 26 Desencofrado de viguetas.....	50
Figura 27 Desencofrado de viguetas.....	51
Figura 28 Inicio de proceso de curado viguetas y cilindros	51
Figura 29 Cilindro montado en maquina universal	52
Figura 30 Resultado maquina universal fuerza ejercida compresión	53
Figura 31 Ensayo resistencia a flexión.....	53
Figura 32 Aplicación de carga sobre la vigueta.....	54
Figura 33 Resultado maquina universal fuerza ejercida flexión	55
Figura 34 Tipos de fallas en cilindros	61
Figura 35 Fibra convencional y triangular	68

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Resistencia concreto reforzado fibras convencionales respecto al tiempo	57
Grafica 2 Resistencia concreto reforzado fibras triangulares respecto al tiempo ..	58
Grafica 3 Resistencia concreto sin refuerzo respecto al tiempo.....	59
Grafica 4 Comparación resistencia de muestras.....	60
Grafica 5 Comparación modulo de rotura muestras.....	64
Grafica 6 Modulo de elasticidad 28 días	67

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material compuesto del cual están construidas la mayoría de las estructuras que se observan en el entorno, y es más utilizado por arquitectos, ingenieros, constructores y demás profesionales asociados al tema, por lo tanto, este es indispensable para el desarrollo y sostenibilidad de las ciudades y estructuras. Por la anterior razón, se deben desarrollar nuevas maneras para que dicho material adquiera unas propiedades mejoradas tanto químicas como físicas. Una forma de poder lograrlo es añadir fibras de acero a la mezcla de concreto. [1]

El empleo de fibras de acero, en las diferentes áreas de la industria es amplio, pero es más utilizado en el área de la construcción, ya que se les da un mayor uso a estos materiales y se requiere de innovaciones y nuevas aplicaciones, debido a los retos que la industria ingenieril asume diariamente, de la mano con profesionales especialistas en diferentes áreas aportando y participando activamente en los diseños y construcciones innovadoras. [1]

Algunos de los problemas más comunes que se presentan en las estructuras, es que durante o después de construidas comienzan a tener un agrietamiento esto es debido a la exposición que estos tienen al clima, los materiales utilizados en la construcción, un diseño no tan eficiente, la estructura no soporta las cargas impuestas o ya sea por una mala mezcla de los materiales utilizados; Por lo tanto se pretende analizar la forma de cómo disminuir estos riesgos, esto se realizara utilizando fibras de acero en forma triangular, con lo cual se observara de qué manera al añadir este material, cambia el comportamiento del concreto.

Estas fibras de acero, de acuerdo con la investigación procuran mejorar las propiedades mecánicas y la calidad del producto final, brindando a las edificaciones antiguas y actuales mayor durabilidad y todas las posibilidades de aplicar las técnicas y procesos a la amplia variedad de la ingeniería y la arquitectura.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años se han adelantado investigaciones acerca de cómo se puede mejorar el concreto, reforzándolo con muchos materiales como fibras, malla electrosoldada, barras de refuerzo, entre otros, dando soluciones prácticas a los problemas que presentan las edificaciones hechas con concreto convencional. [2]

Debido a las dificultades en el proceso constructivo y eficiencia de los refuerzos complementarios. Se comenzó a experimentar en el concreto el uso de las fibras, existen referencias tempranas del empleo de otros materiales como el refuerzo discontinuo que son los clavos, segmentos de cables y ganchos que se remontan a 1910. [1]

La fisuración es uno de los fenómenos que más afectan las edificaciones, algunas de las causas de esta problemática son variaciones en la composición de los materiales y cambios térmicos que hacen que la estructura se expanda y contraiga. [1]

Para esta problemática se siguen adelantando investigaciones que buscan encontrar un estado ideal del concreto reforzado, con ideal se refiere a que se puedan disminuir patologías de tipo mecánicas como las grietas, fisuras, deformaciones del material y desprendimientos; que se presentan durante o después de construidas las edificaciones y consigo, mejorar sus propiedades mecánicas. [3]

¿Cuál es el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto convencional al añadir láminas de acero en forma triangular con respecto a una muestra patrón de concreto convencional reforzado con fibras de acero con forma regular?

3. JUSTIFICACIÓN

La importancia de este trabajo de investigación radica en mitigar las diferentes patologías mecánicas del concreto después de que este ha sido curado, elaborado y puesto bajo cargas de servicio (soportando las cargas) y a su vez, elevar las propiedades mecánicas para que pueda tener un mayor tiempo de vida.

La importancia de llevar a cabo esta investigación, es debido al fenómeno de la retracción hidráulica y a las variaciones de temperatura y humedad que se generan por los cambios en el clima; el fenómeno de retracción hidráulica es debido a que el concreto contrae su volumen en los procesos de fraguado y endurecimiento causando grietas y fisuras prematuramente en él mismo y cuando se habla de las variaciones de temperatura y humedad estas causan una dilatación o una contracción de los materiales de la estructura provocando a su vez deformaciones del mismo, esto da lugar a la aparición de grietas y fisuras en los puntos más débiles como las esquinas y en las uniones con otros materiales. [4]

En el ámbito académico, esta investigación aportaría al tema de los materiales grandes avances puesto que en la mayoría se agregan diferentes productos a la mezcla del concreto guiando el proyecto más que todo a las cualidades del material; en cambio en la presente se indaga si la forma del material tiene alguna reacción sobre la mezcla. Esto se define debido a que se toma como prototipo de fibra la forma triangular teniendo como concepto que esta geometría es la más estable y resistente. [5]

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto al agregar 9 kg/m³ de láminas de acero en forma triangular, y compararlo con una muestra patrón de concreto reforzado con láminas de acero convencional con la misma dosificación.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la resistencia a la compresión (F'_C) de los cilindros de concreto reforzado con láminas de acero en forma triangular y una muestra patrón siguiendo lo dispuesto en las normas técnicas colombianas (NTC 1377, 3459, 673 y 5541).
- Determinar el módulo de elasticidad del concreto reforzado con láminas de acero en forma triangular y la muestra patrón reforzada con fibras convencionales siguiendo lo estipulado en la Norma Sismo Resistente título C (NSR10).
- Realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto reforzado a la compresión y la flexión con láminas en forma triangular y las de la muestra patrón obtenidas en los ensayos realizados en el laboratorio.

5. ALCANCE

Esta investigación tiene como finalidad, hacer una comparación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero en forma triangular con una muestra patrón de concreto convencional reforzada con fibras de acero convencional. Además, esta debe culminar con una evaluación de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio con el fin de establecer si se requiere o no de la adición de fibras de acero en forma triangular en los diseños de mezcla planteados en esta investigación. Para ello se definen unas metas finales como resultado:

- Fabricación de los cilindros de concreto reforzado con fibras de acero en forma triangular y la muestra patrón de concreto convencional.
- Ensayo de los cilindros a compresión de las muestras de concreto reforzado con fibras de acero convencional y triangular mediante la maquina universal.
- Ensayo de las viguetas a flexión de las muestras de concreto reforzado con fibras de acero convencional y triangular mediante la maquina universal.
- Analizar el módulo de elasticidad del concreto para las muestras de concreto ensayadas a compresión siguiendo lo estipulado en la NSR-10.
- Comparar los resultados obtenidos tanto de la muestra patrón, como la muestra reforzada con fibras de acero en forma triangular.
- Evaluar el beneficio que se pudo obtener con respecto a la comparación de los resultados.

Para este proyecto se contará con la colaboración de los diferentes docentes con la experticia en la materia y de la universidad para realizar los procesos constructivos de los cilindros y los respectivos ensayos en el laboratorio.

6. MARCO DE REFERENCIA

El Concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) es un material compuesto con unas propiedades y ventajas muy específicas. Con la adición de fibras de acero se alcanzan resistencias mecánicas similares a las del armado tradicional. En comparación con las formas tradicionales de armado, el CRFA controla mejor la fisuración. La resistencia mecánica alcanzada por el CRFA permite, la sustitución total o parcial el armado tradicional. El uso de CRFA conlleva, además, un ahorro en tiempo y coste. [6]

El CRFA se lleva utilizando con éxito durante muchos años como una solución para la construcción de estructuras, la utilización de este material permite el control eficaz de los fenómenos de fisuración, es más económico, reducción de los plazos de ejecución, ágil y sencillo uso, se eliminan los riesgos de mala colocación del armado tradicional, excelente resistencia a los impactos y a la fatiga y además proporciona una excelente resistencia a la corrosión. [7]

Las diferentes fibras se han empleado como elementos de construcción durante bastante tiempo. En concreto se suelen utilizar principalmente en concreto premezclado, concreto prefabricado y pavimentos. Pueden ser en acero, plástico, vidrio o materiales naturales como celulosa de madera. Sus longitudes usuales varían de 6 mm a 150 mm con espesores de 0.005 a 0.75 mm. [8]

Se agregan al concreto en proporciones menores al 1% en volumen, en la mayoría de los casos. Impiden las pequeñas fisuras debidas a la contracción de fragua y a la deformación plástica. Dan muy buenos resultados en secciones delgadas. En algunos lugares se han usado las fibras en lugar del refuerzo de varilla de acero, pero generalmente se usan en conjunto con este. [8]

Se presentaron algunas de las propiedades del concreto algunas de ellas es su restringida resistencia a la tracción. Para que este material pueda utilizarse eficientemente en la ingeniería se solicitan de elementos que posibiliten quitar esta limitación. [8]

El acero es una combinación de distintos elementos algunos de ellos son carbono, magnesio, silicio, cromo, níquel y vanadio. El carbono es el elemento el cual tiene un nivel de importancia bastante alto y este determina las propiedades mecánicas. Dependiendo el nivel de carbono que el acero tenga en su composición, la dureza, la resistencia y el límite elástico también es mayor. [8]

6.1. MARCO TEÓRICO

El propósito de esta investigación será analizar las propiedades mecánicas del concreto, logrando una mezcla más consistente, resistente, con una mayor durabilidad, pero para poder llegar a estas metas propuestas se espera que el material de fibras de acero en forma triangular cumpla con todas las necesidades expuestas.

Las aplicaciones más comunes en donde podemos observar las fibras de acero son pistas de aeropuertos, lineamientos de túneles, refuerzo de pisos industriales, comerciales y la estabilización de taludes a través de concreto lanzado. Estas brindan bastantes beneficios ya que sobre estudios anteriores los resultados obtenidos demuestran incrementos notables del comportamiento dúctil del concreto, la cual es la capacidad que tiene el concreto para redistribuir esfuerzo en la masa. Por consiguiente, esta absorción de energía hace que la estructura obtenga una mayor capacidad de carga, además de esto al añadir las fibras de acero esto permite menores espesores. [9]

Últimamente el interés ha aumentado significativamente en cuanto al tema de concreto reforzado con fibras y en la actualidad se llevan a cabo abundantes estudios sobre el tema. Una de ellas es el desempeño de las losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero, el cual de acuerdo a una investigación experimental busca evaluar el contenido necesario de fibras de acero para obtener un desempeño igual al de una losa de concreto reforzada con malla electrosoldada. Diferentes experimentos han demostrado que la adición de fibras en cantidades convenientes que van del 1% al 2% del volumen total, puede mejorar apreciablemente las características del concreto. [10]

El acero es el material más usado para las fibras, los concretos parecen ser más durables si estos recubren de una manera eficiente la fibra de refuerzo. Existen muchos que son usados en los pavimentos, cascarones delgados y productos precolados. [10]

Algunos académicos consideran que la adición de las fibras al concreto disminuye la consistencia y trabajabilidad, así mismo la resistencia. Supuestamente, creen esto porque de ese modo el concreto tiene una consistencia más rígida. En realidad, estas no reducen el revenimiento, a menos que la cantidad sea bastante grande, es decir, muy por encima de alrededor de 1 libra por yarda cubica. Estas solo parecen causar una reducción en la trabajabilidad, sin embargo, la mano de obra no calificada frecuentemente añade más agua a fin de incrementar la proporción agua-cemento y disminuir la resistencia. [10]

6.2. MARCO CONCEPTUAL

Fibras de acero: Es un material delgado y de longitud corta, están formadas por alambre trefilado con acero bajo en carbono. Las fibras de acero se originaron para mejorar las propiedades del concreto, pero principalmente para mejorar la cohesión interna de los materiales, estas constituyen un aditivo que se distribuye en la mezcla de concreto con el fin de controlar el agrietamiento durante y después de su fraguado. [11]

Mezcla: es un material formado por dos o más componentes unidos, pero no combinados químicamente. En una mezcla no ocurre una reacción química y cada uno de sus componentes mantiene su identidad y propiedades químicas. [12]

Concreto reforzado: es un material compuesto en el cual se emplean barras de acero u otro material resistente a la tracción y compresión en una matriz de concreto simple. [13]

Módulo de resiliencia: área bajo la curva esfuerzo-deformación obtenida hasta el límite elástico. En otras palabras, corresponde a la densidad de energía elástica de deformación y su valor indica cuál es la energía que se requiere por unidad de volumen para que el material alcance su límite elástico, es decir, para que se inicie el daño en el mismo. [13]

Índice de ductilidad: corresponde a una relación entre el punto donde el material deja de ser elástico y el punto de ruptura del mismo. Hay dos formas convencionales de expresar el índice de ductilidad, la primera consiste en una relación entre las deformaciones para los dos puntos, la deformación de ruptura sobre la deformación correspondiente al límite elástico. [13]

Resistencia a la compresión F'_c : correspondiente al máximo esfuerzo promedio que puede soportar el material antes de llegar a la rotura. Al valor asumido por el diseñador estructural en sus cálculos para este esfuerzo se le conoce como resistencia especificada a la compresión f'_c . [13]

Resistencia a la tracción F'_t : esfuerzo interno al que está impuesto un cuerpo al momento de aplicarle dos fuerzas que interactúan en sentido opuesto, y tienden a alargarlo. Se entiende que las tensiones de cualquier sección perpendicular son fuerzas normales a esta, y adquieren sentido opuesto a las fuerzas que intentan estirar el cuerpo. [13]

Módulo de poisson: simboliza la relación de la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal o axial de algún elemento, este parámetro se determina normalmente de acuerdo a la norma ASTM C-469 durante una prueba de compresión de un cilindro estándar. [13]

6.3. ESTADO DEL ARTE

- “Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero sometido a esfuerzos de compresión”

En Colombia, la utilización del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) tiene bastante limitaciones, esto es porque en Colombia no ha habido bastante evidencia ni estudios y tampoco requisitos reglamentarios al respecto. En el presente artículo se evidencian los resultados de una investigación sobre el comportamiento del CRFA al agregar fibras ZP306, analizando su comportamiento mediante un ensayo de compresión.

Este estudio involucra la revisión de un programa experimental que incluye el ensayo de 48 especímenes.

Mediante un análisis de regresión de los datos que fueron medidos, se sugieren ecuaciones con las cuales podemos evaluar las propiedades mecánicas del CRFA, algunas como módulo de elasticidad, relación de Poisson y resistencia a compresión. Las ecuaciones relacionan las propiedades mecánicas del concreto con las características de las fibras de acero, como relación de aspecto y como dosificación. [14]

- “Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero”

La capacidad de deformación post-agrietamiento y la resistencia a la tensión que exhibe el concreto reforzado con fibras de acero (CRFA), impulsan su uso en elementos controlados por deformaciones de cortante. Con el propósito de desarrollar ayudas de diseño que promuevan la utilización de CRFA como refuerzo a cortante en el alma de muros de concreto para vivienda de interés social, se llevó a cabo un estudio experimental para caracterizar las propiedades mecánicas del CRFA.

El programa experimental incluyó el ensayo de 128 especímenes en forma de cilindros y vigas. En el estudio se determinaron las propiedades mecánicas del CRFA sometido a esfuerzos de compresión, tensión y flexión. [15]

- “Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero”

La innovación de materiales que cuentan con unos estándares muy altos han motivado la utilización e investigación de las fibras de acero esto con el fin de mejorar las propiedades del concreto. Esta es una investigación experimental la cual busca el contenido necesario de fibras de acero por la cual pueda lograrse que esta tenga una equivalencia igual o superior de la flexión de una losa de concreto reforzada con malla electrosoldada cumpliendo con la cuantía mínima.

Esta investigación experimental se realizaron el ensayo a flexión de 10 losas cuadradas con unas dimensiones de 600 mm de lado, 100 mm de espesor y las cuales poseen tipos de refuerzo diferentes; algunos de estos ejemplos son, losas con malla electrosoldada con diámetro de 5 mm y aberturas de 150×150 mm, losas de concreto simple y losas con variaciones en el contenido de los aceros. [16]

- “Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero”

El concreto reforzado con fibras de acero es una mezcla que pretende mejorar la mayoría de las propiedades, el desempeño y así mismo para optimizar los procesos constructivos haciéndolos más eficientes. En esta investigación se presentan y

analizan los resultados de la experimentación que estudia el comportamiento a flexión de losas de concreto reforzadas con fibras de acero.

En la investigación experimental se realizaron ensayos a flexión de dos losas de concreto simple, seis losas con tres dosificaciones diferentes de fibra de acero y ocho losas de concreto de dimensiones 600 mm de lado y 100 mm de espesor. Para analizar las propiedades mecánicas del concreto se realizaron ensayos en tensión indirecta, módulo de elasticidad, compresión y flexión, para esto se realizaron 12 especímenes en forma de vigas y 36 especímenes de cilindros.

En este artículo principalmente se analiza no solo la relación entre los parámetros de diseño del concreto reforzado con fibras de acero y las propiedades mecánicas del mismo, sino además de esto también del resultado de las curvas carga-deflexión y las curvas de tenacidad-deflexión de las losas de concreto las cuales tienen diferentes cantidades de fibras de acero.

De acuerdo al análisis de resultados se demuestra que, a diferencia de la carga máxima, la tenacidad y las deflexiones en las cargas máxima y última en la falla de las losas incrementaron significativamente si la cantidad de las fibras de acero en estas aumentaban. [17]

6.4. MARCO NORMATIVO

NTC 5721 (2009)- Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de energía de concreto reforzado con fibras: Esta norma establece el método de ensayo para determinar el comportamiento carga contra deflexión de una probeta de concreto reforzada con fibras, con el fin de calcular la capacidad de absorción de energía del elemento hasta una deflexión específica. [18]

NTC 5214 (2010)- Fibras de acero para refuerzo de concreto: Esta norma establece los requisitos mínimos para las fibras de acero destinadas al uso en el concreto reforzado con fibras [18]

NTC 5541 (2018)- Concreto reforzado con Fibras: Esta norma se aplica a todas las formas de concreto reforzado con fibras que se entrega a compradores, con los ingredientes mezclados uniformemente y que pueden ser muestreadas y ensayadas en el sitio de entrega. [18]

NTC 3318 (2008)- Producción de Concreto: principalmente esta brinda las especificaciones necesarias para la producción de concreto, teniendo en cuenta que la mezcla es entregada en la obra en estado fresco. Los requisitos de calidad deben ser los contenidos en esta norma o por el cliente. Si existe una diferencia entre las especificaciones, deben tener más peso las descritas por el cliente. [19]

NTC 3459 (2001)- Agua para la elaboración de concreto: Tiene como objeto determinar cuál es el método por medio de ensayos, si el agua es la correcta para

la elaboración de la mezcla. Cada ensayo a que se está refiriendo esta norma no especifica la durabilidad del concreto. [20]

NTC 890 (1995)- Determinación del tiempo de fraguado de Mezclas de concreto por medio de su Resistencia a la penetración: Este método de ensayo cubre la determinación del tiempo de fraguado del concreto, con asentamiento mayor a cero, por medio de mediciones de resistencia a la penetración sobre el mortero tamizado de la mezcla de concreto. [21]

NTC 4025 (2006)- Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión: Determina la relación de Poisson y el módulo de elasticidad de las muestras de los cilindros de concreto, cuando estos están siendo sometidos a fuerzas de compresión longitudinal. [22]

NTC 673 (2010)- Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto: El método determina la resistencia a compresión de muestras cilíndricas de concreto, como cilindros y núcleos perforados. [23]

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

Para el presente proyecto de investigación será necesario el conocimiento de personal idóneo, el cual permita concluir exitosamente con lo propuesto. A continuación, se realiza una breve descripción de la experiencia del director de esta investigación, así mismo los recursos que se van a utilizar para su desarrollo.

7.1. PERSONAL

El Director del proyecto de investigación el Ingeniero Alexander Solarte Benavides tiene un Magister en Estructuras de la universidad del Valle, el cual ha venido trabajando en la unidad de Investigación de la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio.

El Codirector del proyecto de investigación el Ingeniero Geovanny González Maldonado tiene un Magister en construcción de la universidad Nacional de Colombia, el cual ha venido trabajando en la unidad de Investigación de la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio como director de esta unidad.

Tabla 1 Personal Investigador

Personal	Nombre	Perfil	Experiencia
Estudiante	Sebastián Camilo López Rodríguez	Estudiante Ingeniería civil Universidad Santo Tomas	Desarrollo de Laboratorios de Concretos y toma de Muestras
Director	Alexander Solarte Benavides	Ingeniero Civil con Magister en Estructuras de la Universidad del Valle	Líder en grupo de Investigación de la Universidad Santo Tomas.
Codirector	Geovanny González Maldonado	Ingeniero Civil con Magister en Construcción de la Universidad Nacional	Líder en grupos de Investigación de la Universidad Santo Tomas, guiando diferentes proyectos.

Fuente: Propia

7.2. RECURSOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS

Principalmente los materiales que se van a utilizar están disponibles en la región, el cemento que se utilizara para elaborar la mezcla es con Cemex y la grava y arena será material de planta.

Tabla 2 Recursos Técnicos

Categoría	Requerimiento	Cantidad	Ubicación
Maquinas	Maquina Universal	1	Laboratorio Civil Total Ingeniería Calle 6ª # 31-89 Barrio Rosa Blanca
Herramientas	Palas	1	Universidad Santo Tomas sede Villavicencio
	Palustre	1	
	Baldes	3	
	Carretilla	1	
	Bascula	1	
	Encofrados Vigas	12	
	Encofrados Cilindros	15	
Laboratorios	Concretos		Universidad Santo Tomas sede Villavicencio

Fuente: Propia

Tabla 3 Recurso Operativo

Detalle	Cantidad
Impresiones	Resultados, Informes, Tablas
Papelería	Empastado, Informes Guía
Copias	Tablas de Resultados, Informes
Transportes	Materiales, archivos

Fuente: Propia

8. METODOLOGÍA

A continuación, se describe los métodos y las distintas técnicas utilizadas para el desarrollo de esta investigación, haciendo énfasis en el procedimiento de las muestras de concreto reforzado con fibras de acero convencional y fibras triangulares.

8.1. TIPO DE ESTUDIO

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se analiza y describe las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero en forma triangular; identificando así mismo las diferentes variables que actúan e intervienen en la resistencia del concreto. Algunas de las variables a medir implicadas en este proceso son resistencia a la Flexión, resistencia al corte, módulo de elasticidad y relación de Poisson.

8.2. INSTRUMENTOS

Cilindros o camisas
Encofrados para vigas de ensayos
Concreto de 3000 psi
Fibras de acero forma triangular
Maquina universal

8.3. PROCEDIMIENTO

8.3.1 Origen y almacenamiento de los materiales

Principalmente todos los materiales a utilizar para el diseño de la mezcla serán obtenidos de la región, al igual que las fibras de acero se determinará la disponibilidad en los sectores aledaños, de lo contrario se optará por la opción de buscar en otros proveedores del país.

Todo el proceso de almacenamiento de los materiales y muestras que se van a realizar se llevara a cabo en las instalaciones de la universidad Santo tomas sede Villavicencio, esto con el fin de facilitar todo el proceso de investigación.

8.3.2 Elaboración y experimentación

- Se experimentará con la figura de las fibras de acero en forma triangular ya que esta forma geométrica es la más estable y resistente. Esta forma logra la máxima resistencia con el menor uso de material y siendo una de las estructuras más esbeltas conocidas. [5]

- Identificar la dosificación de las fibras de acero en forma triangular que serán aplicadas a cada una de las muestras de la mezcla del concreto, como se muestra en la figura 1.
- Elaboración de seis (6) viguetas añadiendo una dosificación de 9 kg/m³ de fibras convencionales, posteriormente realizar seis (6) cilindros de mezcla con las mismas fibras y luego se realizan otros tres (3) cilindros con una mezcla sin ningún tipo de fibras para verificar que la resistencia cumpla con el diseño de mezcla propuesto de 3000 psi.
- Elaboración de seis (6) viguetas añadiendo una dosificación de 9 kg/m³ de fibras triangulares, posteriormente realizar seis (6) cilindros de mezcla con las mismas fibras.
- Identificar el vaciado del concreto en cada uno de los especímenes, realizar el desmolde de los cilindros y viguetas a las 24 horas después del vaciado.
- Realizar el curado de las respectivas muestras, sumergiéndolas en el tanque de curado de la universidad Santo Tomas.
- Realizar ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.
- Realizar ensayos de flexión a los 7, 14 y 28 días de curado.

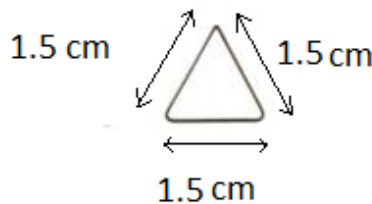


Figura 1 Prototipo Lamina De Acero Forma Triangular
Fuente: Propia

- De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de compresión y flexión podemos analizar aspectos como el módulo de elasticidad.
- Analizar los resultados de la muestra patrón y los especímenes con fibras de acero en forma triangular, los cuales se realizan para hacer una comparación de las propiedades de los dos tipos de mezcla que se van a realizar. Esto se realiza con el fin tener una mayor certeza y confiabilidad de los resultados obtenidos.



Figura 2 Fibra De Acero Convencional
Fuente: Cymper [24]

- DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO DE 3000 PSI

Tabla 4 Diseño de mezcla de concreto 3000 psi por volumen

Cantidades de agregados en volumen suelto por cada saco de cemento de 50 kg. En decímetros cúbicos		
Materiales	Volumen	
Agua	23 litros	
Cemento	42,19 dm ³	
Agregado Fino (Arena)	72,75 dm ³	0,07275 m ³
Agregado Grueso (Grava)	85,37 dm ³	0,08537 m ³

Fuente: Civil total ingeniería [25]

Tabla 5 Diseño de mezcla para baldes de 8 Litros

Materiales	Cantidad	1 m3
Agua	2,9 baldes	22,5 baldes
Cemento	1 saco 50 kg	7,8 bultos
Agregado Fino (Arena)	9,1 baldes	71,2 baldes
Agregado Grueso (Grava)	10,7 baldes	83,5 baldes

Fuente: Civil total Ingeniería [25]

Tabla 6 Diseño de mezcla para baldes de 6 litros

Materiales	Cantidad	1 m3
Agua	3,8 baldes	30 baldes
Cemento	1 saco 50 kg	7,8 bultos
Agregado Fino (Arena)	12,1 baldes	94,9 baldes
Agregado Grueso (Grava)	14,2 baldes	111,4 baldes

Fuente: Civil total ingeniería [25]

- ENSAYO A FLEXION

Es un método para medir el comportamiento de los materiales sometidos a la carga de la viga simple. Por lo general involucra un espécimen que tiene una sección transversal rectangular y esta soportado en sus extremos. La carga es aplicada verticalmente, ya sea en un punto o en dos; como resultado, estos ensayos se conocen como flexión en tres puntos o en cuatro puntos, respectivamente. Los esfuerzos longitudinales en estos especímenes son a tensión en sus superficies inferiores y a compresión en sus superficies superiores. Los esfuerzos a la fractura en flexión se conocen como módulo de ruptura, o resistencia a la ruptura transversal. [6]

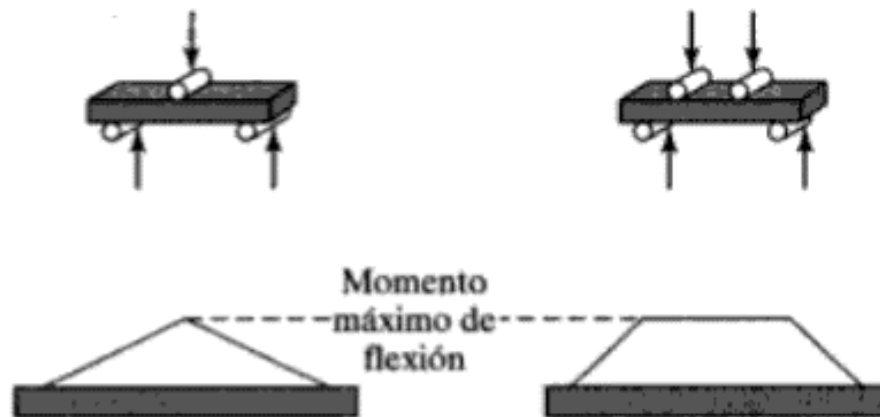


Figura 3 Ensayo a Flexión Grafica de Momento Máximo

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología [6]

- ENSAYO DE COMPRESION

Un ensayo de compresión se realiza de forma similar a un ensayo de tracción, excepto que la fuerza es comprensiva y la probeta se contrae a lo largo de la dirección de la fuerza. Estos ensayos se utilizan cuando se desea conocer el comportamiento del material bajo deformaciones permanentes grandes, tal como ocurren en los procesos de conformación, o bien cuando tiene un comportamiento frágil a tracción. [26]



Figura 4 Ensayo Compresión
Fuente: Ibertest [27]

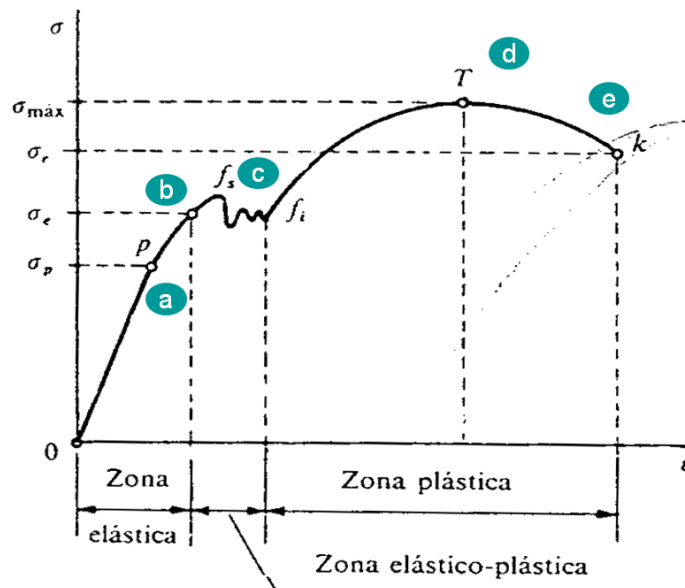


Figura 5 Diagrama Esfuerzo – Deformación
Fuente: Mecánica de materiales [28]

9. ETAPA 1 (ORIGEN Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES)

De acuerdo a lo propuesto los materiales utilizados para realizar los especímenes de concreto fueron de la región, el agregado grueso y fino se obtuvieron de la planta de Agregados del Meta (AGREMET) y el cemento utilizado fue HOLCIM de uso general, el cual está cubierto por el sello de calidad Icontec de acuerdo con la norma NTC 121; este es el resultado de la molienda y mezcla de Clinker, yeso y adiciones.



Figura 6 Cemento Holcim usado para los ensayos
Fuente: Propia

Para las fibras de acero convencionales se tomaron las del fabricante BEKAERT, para lo cual nombraron su producto como DRAMIX malla en bolsa. En la figura 7 se puede observar una clara ilustración del producto y su presentación.

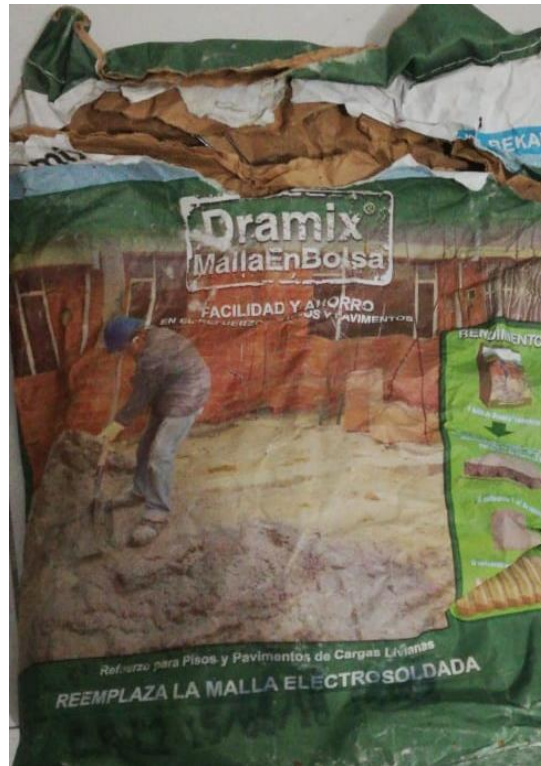


Figura 7 Dramix fibras de acero convencional
Fuente: Propia

Finalmente, para el desarrollo de las fibras de acero en forma triangular se realizó una búsqueda en la ciudad de Villavicencio durante varias semanas visitando varios talleres de ornamentación, dobladoras y cortadoras de acero, pero se llegó a la conclusión que ninguno de estos contaba con la maquinaria necesaria para poder realizar esta forma geométrica en acero.

Por lo anterior se optó por tomar las fibras de acero convencionales DRAMIX y darle forma triangular manualmente, esto tardó alrededor de tres semanas dado que aproximadamente eran tres mil unidades de fibras. Después de realizado este proceso las fibras triangulares resultantes adoptaron dimensiones de un centímetro y medio (1.5cm) por sus tres lados. En la siguiente figura se puede apreciar el resultado del proceso de doblado manual.



Figura 8 Fibra de acero en forma triangular
Fuente: Propia

En la tabla 7 se podrán apreciar las especificaciones técnicas del producto DRAMIX el cual fue usado para esta investigación, estas son fibras de acero de refuerzo y reemplazan la malla electrosoldada, algunas de las ventajas de este producto es su fácil instalación, mezclado y transporte; además representa una disminución en el presupuesto dado que no se requieren traslapos, ahorrando tiempo en su instalación. [29]

Tabla 7 Especificaciones técnicas malla en bolsa DRAMIX

TIPO DE FIBRA	DRAMIX
Longitud (L)	60 mm
Diámetro (D)	0,75 mm
Relación de Esbeltez (L/D)	80
Resistencia a la Tracción	1,225 N/mm ²
Red de Fibra	4,584 fibras/kg
Presentación de las Fibras	Encolada

Fuente: Bekaert [29]



Figura 9 Fibras de acero convencionales Dramix
Fuente: Bekaert [29]

10. ETAPA 2 (ELABORACION Y EXPERIMENTACION)

Para la ejecución de esta investigación se contó con la ayuda de un Ingeniero residente del Consorcio Juan Pablo II esta obra tiene como objeto la construcción de la red de alcantarillado sanitario para los barrios Villa Hermosa, Juan Pablo II y Quintas de San Fernando.

Siendo un proyecto de investigación con fines académicos el ingeniero residente facilitó extraer el agregado grueso y fino disponible en su obra proveniente de la planta Agremet.



Figura 10 Agregado grueso y fino mezclado proveniente Agremet
Fuente: Propia

10.1. DISEÑO DE MEZCLA

Este es un proceso el cual consiste en calcular la cantidad de cada uno de los elementos que están dispuestos en la mezcla de concreto, esto se realiza con el objetivo de lograr unos resultados más acertados.

En la tabla 8 se tienen las características de los materiales utilizados para la mezcla de concreto en general, estas especificaciones fueron tomadas del diseño de mezcla elaborado por Civil Total Ingeniería para las obras del Consorcio Juan Pablo II, adoptándolas para este proyecto de investigación dado que esto no es el objeto de estudio.

Tabla 8 Materiales utilizados para la mezcla

AGUA	VALOR	UND
PESO ESPECIFICO	1000	KG/dm3
MASA UNITARIA	1000	KG/dm3
CEMENTO	MARCA HOLCIM	
PESO ESPECIFICO	3180	KG/dm3
MASA UNITARIA	1185	KG/dm3
AGREGADO GRUESO	GRAVA AGREMET	
DENSIDAD APARENTE	2643	KG/dm3
PORCENTAJE DE ABSORCION	1,518	%
MASA UNITARIA SUELTA	1435	KG/dm3
AGREGADO FINO	ARENA AGREMET	
DENSIDAD APARENTE	2869	KG/dm3
PORCENTAJE DE ABSORCION	1,491	%
MASA UNITARIA SUELTA	1684	KG/dm3

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

10.1.1 Granulometría

El análisis granulométrico es la determinación de la proporción de los materiales que componen el suelo identificando detalladamente su tamaño, para clasificar el agregado grueso el procedimiento más eficiente es el tamizado, pero para materiales más finos se requiere tomar otros procedimientos como el de sedimentación.

En la tabla 9,10 y 11 se aprecia el análisis granulométrico realizado por civil total ingeniería del material proveniente de la planta Agremet.

Tabla 9 Análisis granulométrico grava

GRAVA		
TAMIZ EN "	TAMIZ mm	% PASA
1/2 "	12,7	100
3/8 "	9,52	100
N4	4,75	82,2
N8	2,375	64,8
N16	1,187	49,7
N30	0,593	29,9

N50	0,296	20,9
N100	0,148	3,9
N200	0,075	0,4

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

Tabla 10 Análisis granulométrico arena

ARENA		
TAMIZ EN "	TAMIZ mm	% PASA
2 "	12,7	100
11/2 "	9,52	100
1"	4,75	82,2
3/4"	2,375	64,8
3/8"	1,187	49,7
N4	0,593	29,9
N8	0,296	20,9
N16	0,148	3,9
N100	0,075	0,4

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

Tabla 11 Análisis granulométrico

FULLER	WEYMOUTH
% PASA	% PASA
100,0	100,0
100,0	100,0
100,0	100,0
85,8	89,8
59,0	68,2
40,1	51,1
26,7	37,0
17,1	25,8
10,5	16,6
5,7	9,3
2,4	3,1

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

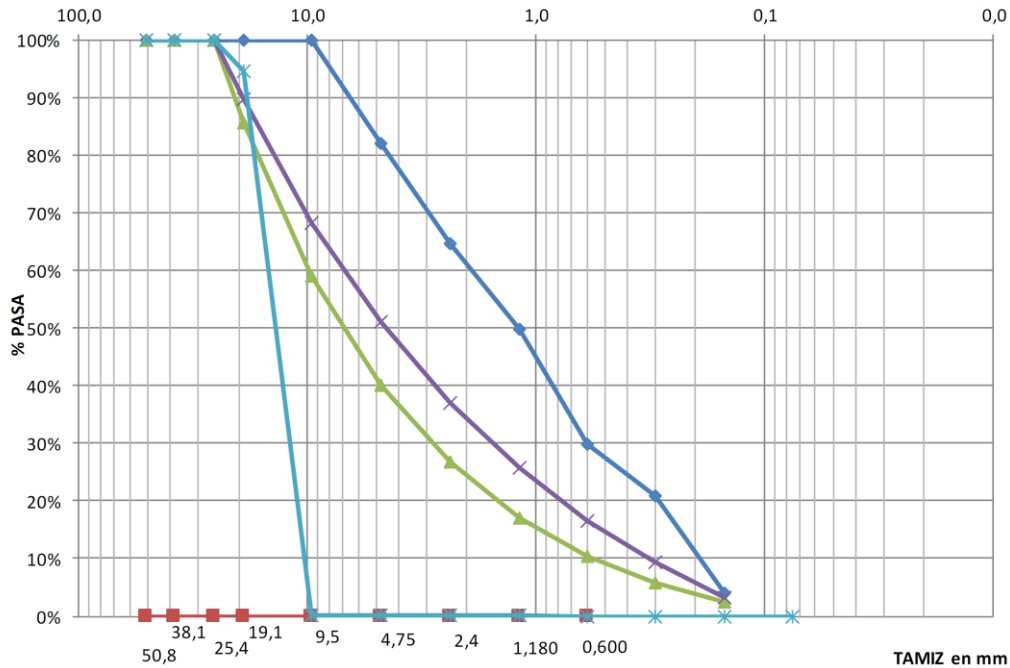


Figura 11 Granulometría agregados según Fuller y Weymouth

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

10.1.2 Porcentajes de dosificación de agregados

Dado que el material aluvial pasa por un proceso de selección de tamaños, se debe realizar una corrección tanto a la grava como a la arena para obtener un ajuste granulométrico a las curvas de Weymouth y Fuller. Luego de varias iteraciones se adoptó la siguiente distribución porcentual de los agregados pétreos. [25]

- ARENA: 50 %
- GRAVA: 50 %

10.1.3 Determinación del asentamiento para la mezcla

Tabla 12 Asentamiento recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO mm	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCION	SISTEMA DE COLOCACION	SISTEMA DE COMPACTACION
MUY SECA	0,0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumáticas (lanzados).	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.

SECA	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con maquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
MEDIA (PLASTICA)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

10.1.4 Volumen de Agua

Cantidad de agua recomendada, en kg/m³ de concreto, para los tamaños máximos nominales indicados obteniendo el valor del asentamiento.

Tabla 13 Volumen de agua

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MAXIMOS NOMINALES						
	(mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0-2,5	175	170	155	150	135	130	120
3,0-5,0	180	175	165	160	145	140	135
5,5-7,5	190	185	175	170	155	150	145
8,0-10,0	200	190	180	175	165	155	150
10,5-15,0	210	195	185	180	170	160	155
15,5-18,0	215	205	190	185	175	165	160
% CONTENIDO DE AIRE	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

Para la selección valor de la cantidad de agua en la mezcla en la tabla nos da un valor entre 175 y 180 se opta por 180 lt por m³ y se toma la determinación de aplicarlo para esta mezcla con las especificaciones dadas de los materiales.

10.1.5 Resistencia a la compresión de la mezcla

Dado que la resistencia necesaria es de 3000 psi o 21 Mpa, la mezcla a diseñar es para una compresión de 210 kg/cm² y se utilizara un factor de seguridad por manipulación en obra (+70 kg/cm²) contemplado en la especificación 630-12 del invias. Por lo tanto, la resistencia de diseño será.

- $F''_c = (210 + 70) = 280 \text{ kg/cm}^2 = 3850 \text{ psi}$

10.1.6 Relación A/C por resistencia

Tabla 14 Relación agua/cemento de diseño en peso

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (kg/cm ²)	CONCRETO SIN AIRE	CONCRETO CON AIRE
450	0,38	--
400	0,43	--
350	0,48	0,4
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

La resistencia se encuentra entre los valores de 250 y 300, A/C entre 0.53 y 0.46, por lo tanto, se trabajará con la relación 0.46 porque es la más crítica.

- Contenido de cemento (C) = Volumen de agua (A) / A/C.
- $C = 180 / 0.46 = 391.3 \text{ kg por m}^3 \text{ de concreto.}$

10.1.7 Dosificación baldes de 8 litros

Tabla 15 Dosificación baldes de 8 Litros

Materiales	Cantidad	1 m ³
Agua	2,9 baldes	22,5 baldes
Cemento	1 saco 50 kg	7,8 bultos
Agregado Fino (Arena)	9,1 baldes	71,2 baldes
Agregado Grueso (Grava)	10,7 baldes	83,5 baldes

Fuente: Civil Total Ingeniería [25]

10.2. DOSIFICACIÓN EN LABORATORIO

Para realizar la dosificación en laboratorio siguiendo los parámetros exigidos en el diseño de mezcla, evitando realizar desperdicio de material se optó por cubicar los encofrados de vigas y los cilindros, de esta manera se obtendría los m³ de mezcla necesaria para realizar el llenado de estos mismos.

Tabla 16 Volumen encofrado viga

ENCOFRADO VIGA		
	CM	M
ALTO	15	0,15
ANCHO	15	0,15
LARGO	54	0,54
	CM3	M3
VOLUMEN	12150	0,01215

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta todas las dimensiones del borde interior del encofrado viga se puede obtener el volumen en m³ como lo muestra la tabla 16, de igual manera la tabla 17 muestra el volumen de los cilindros.

Tabla 17 Volumen cilindro

CILINDRO		
	CM	M
ALTURA	30	0,30
DIAMETRO	15	0,15
	CM2	M2
AREA	176,71	0,02
	CM3	M3
VOLUMEN	5301,4	0,01

Fuente: Propia

Con el volumen de un cilindro y de un encofrado viga se puede seguir con el cálculo del volumen total necesario para la mezcla de concreto reforzada con fibras convencionales, esta se vaciará seis encofrado vigas y nueve cilindros de los cuales tres no llevarán ningún tipo de refuerzo, con el fin de realizar una verificación de que la mezcla de concreto en general cumpla con la resistencia de 3000 psi.

Tabla 18 Total mezcla y dosificación

	VOLUMEN (m3)
9 cilindros	0,0477
6 viguetas	0,0729
PARA EL LABORATORIO BALDES 8 LT	
0,12	M3 DE CONCRETO
2,7	BALDES DE AGUA
0,9	BULTOS HOLCIM = 47 KG
9	BALDES ARENA
10	BALDES GRAVA
19	TOTAL, BALDES
37	TOTAL, PALADAS

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la tabla 18 el volumen total de concreto necesario para realizar el llenado de nueve encofrados de cilindros y seis encofrados de viguetas es 0.12 m3, de los cuales 0.10 m3 llevan fibras de acero en forma convencional, el volumen faltante es el ocupado por los 3 cilindros que no llevan ningún tipo de refuerzo.

Por lo tanto, la dosificación en fibras de acero convencionales para 0.10 m3 de concreto son 0.94 kg dado que para el proyecto de investigación se optó por experimentar con 9 kg por m3 de concreto.



Figura 12 Dosificación fibras de acero convencionales

Fuente: Propia



Figura 13 Balde 8 litros con dosificación fibras convencionales
Fuente: Propia



Figura 14 Dosificación de cemento para mezcla fibras convencionales
Fuente: Propia

Así, con todos los elementos preparados y proporcionados se inició con la mezcla manual de todos los elementos que conforman la mezcla de concreto.



Figura 15 Proceso de mezcla con las fibras convencionales
Fuente: Propia



Figura 16 Proceso de mezcla con las fibras convencionales
Fuente: Propia



Figura 17 Proceso de mezcla con las fibras convencionales
Fuente: Propia

Este mismo proceso se realiza con la mezcla de fibras de acero en forma triangular, para este caso se van a realizar seis cilindros y seis viguetas.

Tabla 19 Total mezcla y dosificación fibras triangulares

	VOLUMEN (m3)
6 cilindros	0,03
6 viguetas	0,07
PARA EL LABORATORIO BALDES 8 LT	
0,10	M3 DE CONCRETO
2,4	BALDES DE AGUA
0,8	BULTOS HOLCIM = 41 KG
7	BALDES ARENA
9	BALDES GRAVA
16	TOTAL, BALDES
32	TOTAL, PALADAS

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la tabla 19, el volumen de concreto total que se debe producir es 0.10 m3, por lo tanto, la dosificación de fibras de acero en forma triangular es de 0.94 kg.



Figura 18 Dosificación cemento Holcim para fibras triangulares

Fuente: Propia



Figura 19 Dosificación de fibras de acero en forma triangular
Fuente: Propia



Figura 20 Integración de fibras triangulares con la mezcla de concreto
Fuente: Propia

10.3 TOMA DE MUESTRAS PARA ENSAYOS

Para cada edad se ensayaron 2 muestras de cada uno de los especímenes de encofrado de cilindros y de encofrado de vigas, se tomará el promedio entre estos dos y se trabaja con ese resultado. Los encofrados se aceitan con ACPM con el fin de que la mezcla no se adhiera a estos y se procede a realizar el llenado de los encofrados, esta se realiza en tres capas de igual volumen, cada capa debe compactarse con 25 golpes de la varilla compactadora la cual esta echa de acero liso estructural, estos golpes se deben distribuir uniformemente en toda el área transversal del encofrado, a medida que se va compactando cada capa la varilla debe penetrar aproximadamente 25 mm en la capa inmediatamente inferior.

Los cilindros y las viguetas son desencofrados pasadas las 24 horas como máximo y estos se referencian detalladamente, luego se sumergen en el tanque de curado hasta que cumplan su tiempo el cual es a los 7, 14 y 28 días.



Figura 21 Encofrado viguetas almacenadas 24 horas.

Fuente: Propia



Figura 22 Llenado encofrado viguetas
Fuente: Propia



Figura 23 Llenado encofrado viguetas
Fuente: Propia



Figura 24 Desencofrado de cilindros
Fuente: Propia



Figura 25 Desencofrado de viguetas y cilindros
Fuente: Propia



Figura 26 Desencofrado de viguetas
Fuente: Propia



Figura 27 Desencofrado de viguetas
Fuente: Propia



Figura 28 Inicio de proceso de curado viguetas y cilindros
Fuente: Propia

10.3. ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESION

Para este ensayo se debe verificar que las bases de los cilindros de concreto estén planas de lo contrario se debe hacer un proceso de refrentado con mortero de azufre

o yeso. Por consiguiente, se lleva a la maquina universal para su ensayo y aplica la carga a una velocidad constante hasta que el cilindro falle.



Figura 29 Cilindro montado en maquina universal
Fuente: Propia

Luego de fallar el cilindro se debe reportar su resistencia a la compresión seguido de su número de referencia, edad y tipo de fractura. La resistencia a la compresión del concreto se determina como el promedio de los dos cilindros ensayados.

- Cálculo de la resistencia a la compresión

$$RC = \frac{P}{A} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

P = Carga máxima aplicada en Kg.

A = Área de la sección transversal en cm².

RC = Resistencia a la compresión del cilindro en Kg/cm².

Tabla 20 formato recopilación de información ensayo a compresión

DISEÑO O RESISTENCIA (PSI)	DIAMETRO ELEMENTO (CM)	ALTURA DEL ELEMENTO (CM)	PESO DEL ELEMENTO (GR)	CONCRETO PESO UNITARIO (GR/CM ³)	CARGA APLICADA (KN)	CARGA APLICADA (KG)	RESISTENCIA (KG/CM ²)	RESISTENCIA (PSI)	% RESISTENCIA OBTENIDA
3000	15,0	30,0	12215	2,304	61,70	6291,5	35,603	506,39	17%

Fuente: Propia

La tabla 20 está diseñada con el fin de recopilar toda la información necesaria para poder calcular la resistencia a la compresión de cada uno de los cilindros ensayados, en la cual se puede evidenciar un ejemplo de un cilindro que se le es aplicada una carga final de 61.7 Kn que equivalen a 6291.5 kg; resolviendo la ecuación para el cálculo de la resistencia a compresión se obtiene un resultado de $35.603 \text{ kg/cm}^2 = 506.39 \text{ PSI}$, este es un cilindro que fue ensayado a los 7 días de curado.



Figura 30 Resultado maquina universal fuerza ejercida compresión

Fuente: Propia

10.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION

El método empleado para medir la resistencia a la flexión utilizado en esta investigación es usando una viga simplemente apoyada aplicando carga en los tercios de la luz.

Las viguetas al igual que los cilindros fueron desencofrados en un tiempo máximo de 24 horas, inmediatamente se sumergieron en el tanque de curado y fueron extraídas a medida que se cumplía el tiempo de los 7, 14 y 28 días de curado, las muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar las pruebas de resistencia a la flexión en cada uno de los tiempos.



Figura 31 Ensayo resistencia a flexión

Fuente: Propia

Las viguetas se giran 90 grados respecto a la posición de elaboración y se aplica carga a una velocidad constante hasta que esta falle. La resistencia a la flexión se calcula de la siguiente manera.

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

Donde:

MR = Modulo de rotura de la viga (Kg/cm²).

P = Carga máxima aplicada (Kg).

L = Distancia entre apoyos (cm).

b = Ancho de la viga en la posición de ensayo (cm).

d = Altura de la viga en la posición de ensayo (cm).

La resistencia a la flexión del concreto se determina como el promedio de las muestras en este proyecto se trabajó con 2 especímenes por muestra.



Figura 32 Aplicación de carga sobre la vigueta

Fuente: Propia

La tabla 20 es donde se recopiló la información necesaria para calcular la resistencia a la flexión de todas las viguetas, en esta tabla se puede observar un claro ejemplo de los resultados arrojados al ensayar una vigueta esta obtuvo un resultado de 16.17 Kg/cm² al aplicarle una carga de 12.70 Kn.



Figura 33 Resultado maquina universal fuerza ejercida flexión
Fuente: Propia

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

11.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión de las muestras de concreto reforzadas con fibras de acero en forma triangular y convencional.

Donde:

- C representan las muestras reforzadas con fibras convencionales.
- N representan las muestras las cuales no tienen ningún tipo de refuerzo.
- T representan las muestras reforzadas con fibras triangulares.

Tabla 21 Análisis de resultados tomados en laboratorio resistencia compresión

FEC HA DE TOM A	EDAD DE FRAGUA DO (DIAS)	FECH A DE ROTU RA	TIPO DE MUEST RA	MUEST RA #	RESISTEN CIA (PSI)	PROME DIO (PSI)	% RESISTEN CIA OBTENIDA
13-dic	7	20-dic	C	1	1204,01	1212,32	40%
13-dic	7	20-dic		2	1220,63		41%
13-dic	14	27-dic		3	1704,46	1735,85	57%
13-dic	14	27-dic		4	1767,24		59%
13-dic	28	10-ene		5	2444,96	2394,18	81%
13-dic	28	10-ene		6	2343,40		78%
13-dic	7	20-dic	T	1	2635,17	2623,16	88%
13-dic	7	20-dic		2	2611,16		87%
13-dic	14	27-dic		3	3022,96	2991,57	101%
13-dic	14	27-dic		4	2960,18		99%
13-dic	28	10-ene		5	3671,13	3676,67	122%
13-dic	28	10-ene		6	3682,21		123%

13-dic	7	20-dic	N	1	1643,52	1643,52	55%
13-dic	14	27-dic		2	2025,77	2025,77	68%
13-dic	28	10-ene		3	2697,95	2697,95	90%

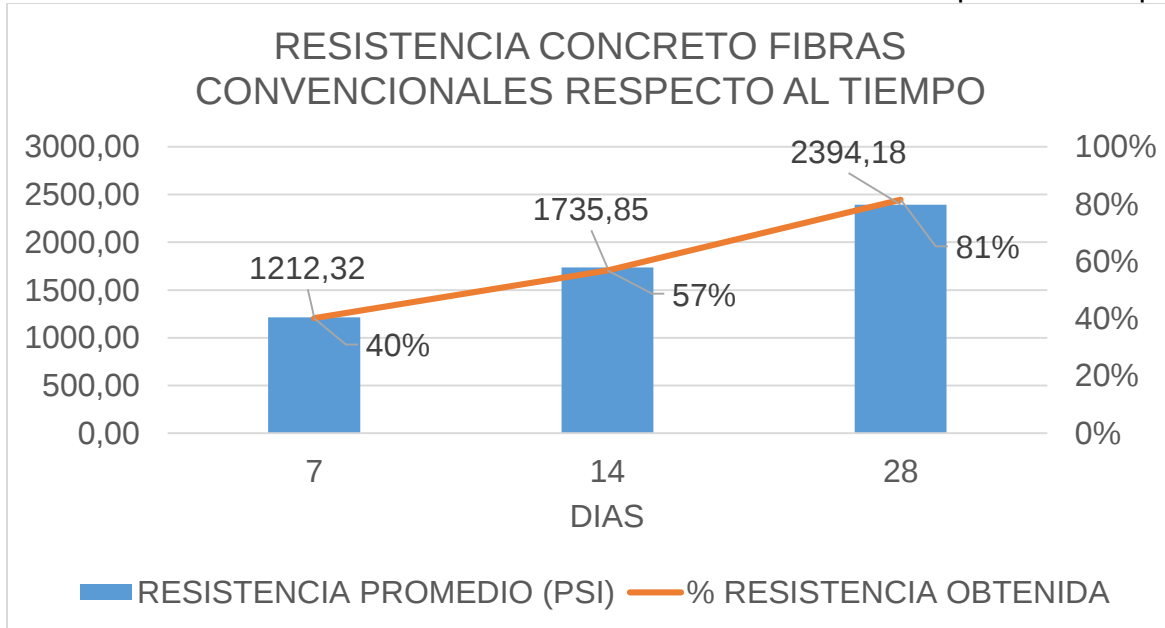
Fuente: Propia

Tabla 22 Resistencia concreto fibras convencionales respecto al tiempo

RESISTENCIA RESPECTO AL TIEMPO		
EDAD DE FRAGUADO	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)	% RESISTENCIA OBTENIDA
7	1212,32	40%
14	1735,85	57%
28	2394,18	81%

Fuente: Propia

Grafica 1 Resistencia concreto reforzado fibras convencionales respecto al tiempo



Fuente: Propia

En el grafico 1 se observa que hay un aumento gradual en la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto reforzado con fibras convencionales, cuyo aumento para el día 7 es el 40% respecto al diseño de mezcla de 3000 psi, el incremento del día 7 al 14 es del 17% y para el final del ensayo a los 28 días se

alcanzó un 81% de la resistencia diseñada, por lo tanto, la resistencia a la compresión en psi es de 2394.18, con relación al día 14 se presentó un aumento del 24%.

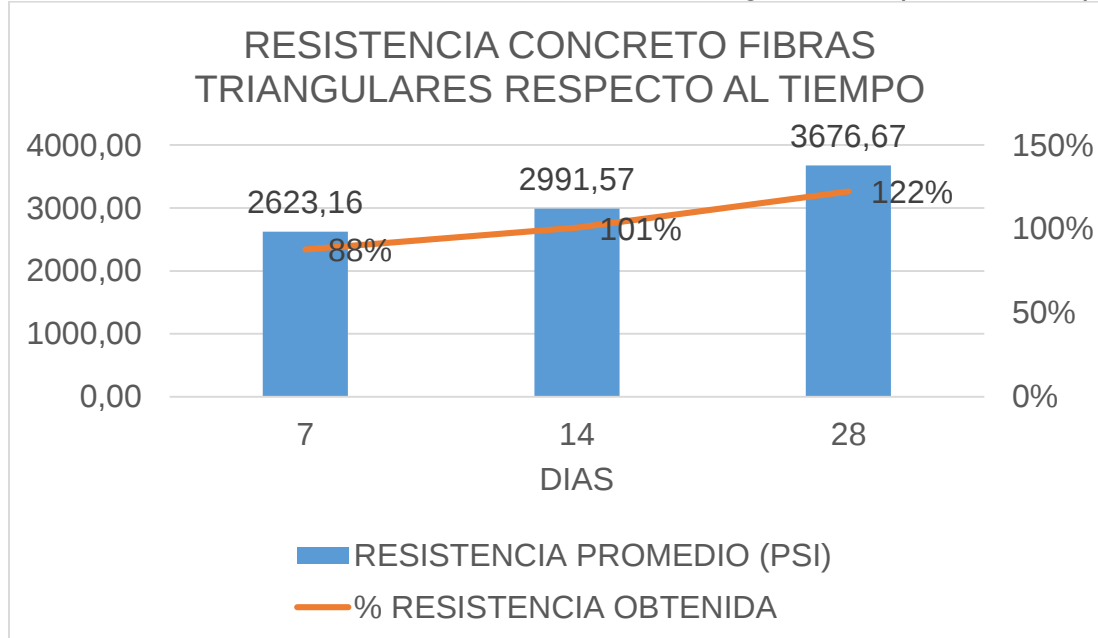
Tabla 23 Resistencia concreto fibras triangulares respecto al tiempo

FIBRAS TRIANGULARES		
RESISTENCIA RESPECTO AL TIEMPO		
EDAD DE FRAGUADO	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)	% RESISTENCIA OBTENIDA
7	2623,16	88%
14	2991,57	101%
28	3676,67	122%

Fuente: Propia

En la tabla 23 se aprecia que los resultados del concreto reforzado con fibras triangulares desde su primer ensayo a los 7 días de curado tiene una resistencia promedio bastante alta equivalente al 88% de la resistencia diseñada.

Grafica 2 Resistencia concreto reforzado fibras triangulares respecto al tiempo



Fuente: Propia

En la gráfica 2 se puede apreciar de una manera más clara los resultados obtenidos en los ensayos del concreto reforzado con fibras triangulares, de la cual se analiza inicialmente que para el día 14 de curado esta muestra ya tiene un 101% de la resistencia obtenida con respecto a la diseñada, para el final del ensayo en el día

28 de curado se alcanza un 122% lo cual representa 3676.67 psi de resistencia a la compresión cumpliendo plenamente con el diseño.

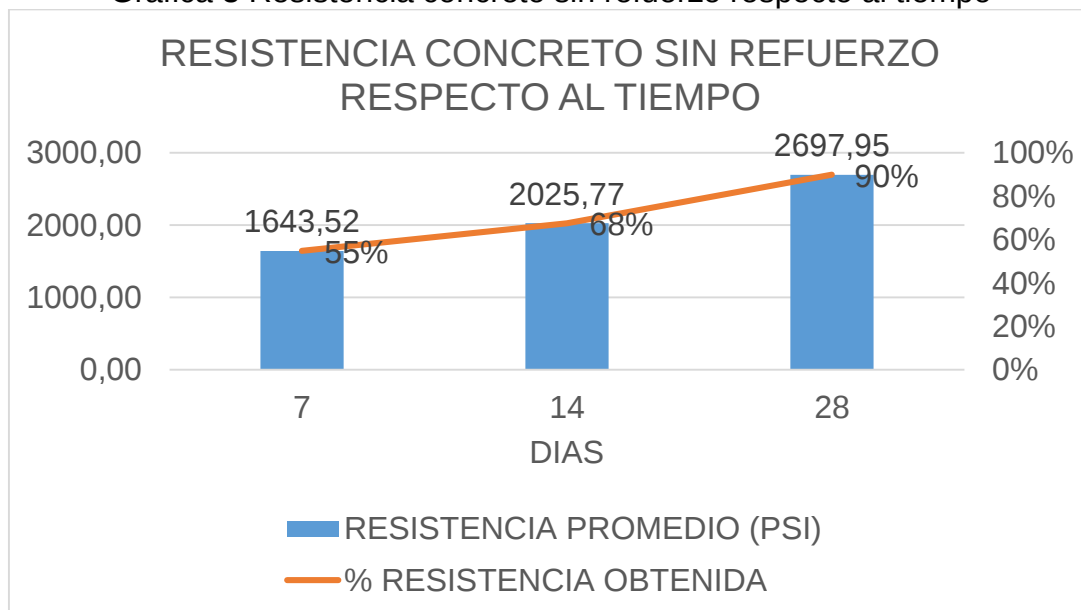
Tabla 24 Resistencia concreto sin refuerzo respecto al tiempo

SIN REFUERZO		
RESISTENCIA RESPECTO AL TIEMPO		
EDAD DE FRAGUADO	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)	% RESISTENCIA OBTENIDA
7	1643,52	55%
14	2025,77	68%
28	2697,95	90%

Fuente: Propia

Inicialmente este ensayo de concreto sin ningún tipo de refuerzo es realizado con el fin de comprobar que la mezcla alcanza la resistencia de diseño, con lo cual en la tabla 24 se observa que solamente alcanza un 90% de la resistencia diseñada.

Grafica 3 Resistencia concreto sin refuerzo respecto al tiempo



Fuente: Propia

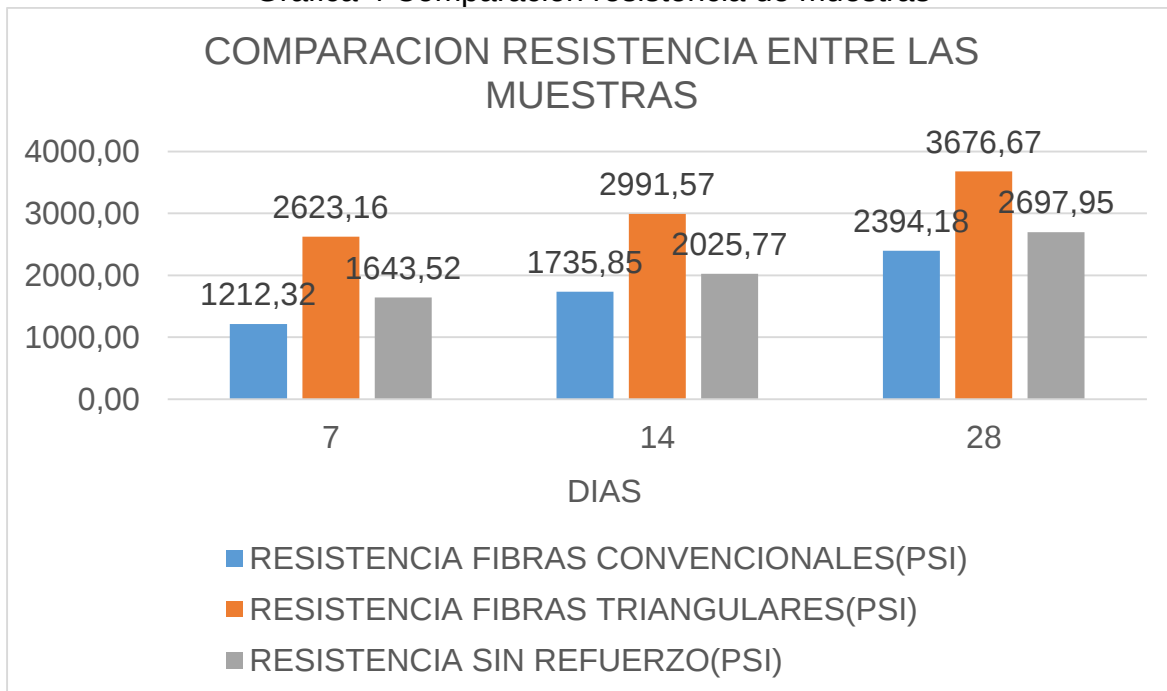
A partir de la gráfica 3 se puede deducir que la mezcla de concreto sin ningún tipo de refuerzo a los 7 días de curado ya alcanza una resistencia de 1643.52 psi esto representa más de la mitad de la resistencia diseñada, pero al llegar a los 28 días de curado su resistencia es de 2697.95 psi esto es un 90% de la resistencia proyectada.

Tabla 25 Comparación resistencia de muestras

COMPARACION RESISTENCIA ENTRE LAS MUESTRAS			
EDAD DE FRAGUADO	RESISTENCIA FIBRAS CONVENCIONALES (PSI)	RESISTENCIA FIBRAS TRIANGULARES (PSI)	RESISTENCIA SIN REFUERZO (PSI)
7	1212,32	2623,16	1643,52
14	1735,85	2991,57	2025,77
28	2394,18	3676,67	2697,95

Fuente: Propia

Grafica 4 Comparación resistencia de muestras



Fuente: Propia

En el grafico 4 se realiza la comparación de las diferentes muestras ensayadas donde se evidencia de una manera más clara y concisa que el concreto reforzado con fibras triangulares en cada uno de los tiempos de curado alcanza la mayor de las resistencias en comparación con las otras muestras.

Para el día 7 se evidencia el buen comportamiento de los cilindros, demostrando una diferencia notable la muestra de fibras triangulares entre las muestras sin refuerzo y con refuerzo de fibras convencionales, de igual manera para los días 14 y 28 la diferencia sigue siendo notable.

11.1.1 Porcentaje de error

En la tabla 26 se evidencia el porcentaje de error de cada una de las muestras a los 28 días, la fórmula que representa este error es la siguiente:

$$\% \text{ error} = \left(\frac{f'_c - R}{f'_c} \right) * 100\% \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

f'_c = Resistencia de diseño.

R = Resistencia obtenida de la muestra.

Tabla 26 Porcentaje de error

TIPO DE MUESTRA	MUESTRA #	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)	% ERROR
RESISTENCIA DE DISEÑO		3000	
C	1	2394,18	20%
T	2	3676,67	-23%
N	3	2697,95	10%

Fuente: Propia

11.1.2 Tipo de falla

Teniendo en cuenta la Norma INV E-410 existen 5 tipos de fallas en los cilindros en los ensayos a compresión.

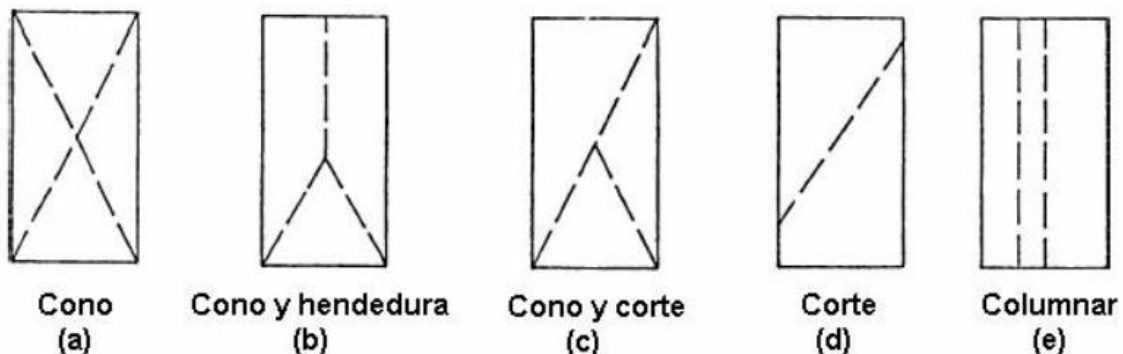


Figura 34 Tipos de fallas en cilindros

Fuente: INV E-410

Tabla 27 Tipo de falla muestras de concreto

TIPO DE MUESTRA	MUESTRA #	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)	% RESISTENCIA OBTENIDA	TIPO DE FALLA
C	1	1204,01	1212,32	40%	A
	2	1220,63			B
	3	1704,46	1735,85	57%	D
	4	1767,24			B
	5	2444,96	2394,18	81%	A
	6	2343,40			C
T	1	2635,17	2623,16	88%	A
	2	2611,16			B
	3	3022,96	2991,57	101%	C
	4	2960,18			B
	5	3671,13	3676,67	122%	A
	6	3682,21			C
N	1	1643,52	1643,52	55%	A
	2	2025,77	2025,77	68%	A
	3	2697,95	2697,95	90%	B

Fuente: Propia

El tipo de falla que más se presentó en las muestras de los 15 cilindros es una falla tipo A de cono, esta se presentó en 6 cilindros representando el 40% de la totalidad de los cilindros, seguidos de la falla tipo B de cono y hendedura presentándose en 5 cilindros con un porcentaje del 33.3%, el porcentaje restante equivale a fallas tipo C y D.

11.2. RESISTENCIA A LA FLEXION

En la tabla 28 se evidencia los resultados de ensayos de resistencia a la flexión de muestras de concreto reforzadas con fibras de acero en forma triangular y fibras de acero convencionales.

Tabla 28 Análisis de resultados tomados en laboratorio resistencia flexión

TIPO DE MUESTRA	MUESTRA #	MODULO DE ROTURA (KG/CM2)	MODULO DE ROTURA (PSI)	PROMEDIO MR (PSI)	PROMEDIO MR (KG/CM2)
C	1	26,47	376,47	384,53	27,04
	2	27,60	392,59		
	3	29,67	422,07	415,57	29,22
	4	28,76	409,07		
	5	30,68	436,35	429,50	30,20
	6	29,72	422,66		
T	1	31,04	441,43	440,70	30,98
	2	30,93	439,97		
	3	33,33	474,11	465,41	32,72
	4	32,11	456,72		
	5	36,68	521,76	506,75	35,63
	6	34,57	491,74		

Fuente: Propia

El módulo de rotura representa la capacidad de resistencia a la flexión de un elemento vigueta el cual está siendo analizado, en la tabla 29 se evalúa la diferencia existente entre un concreto reforzado con fibras de acero convencional y un concreto reforzado con fibras de acero en forma triangular.

Tabla 29 Comparación módulo de rotura muestras

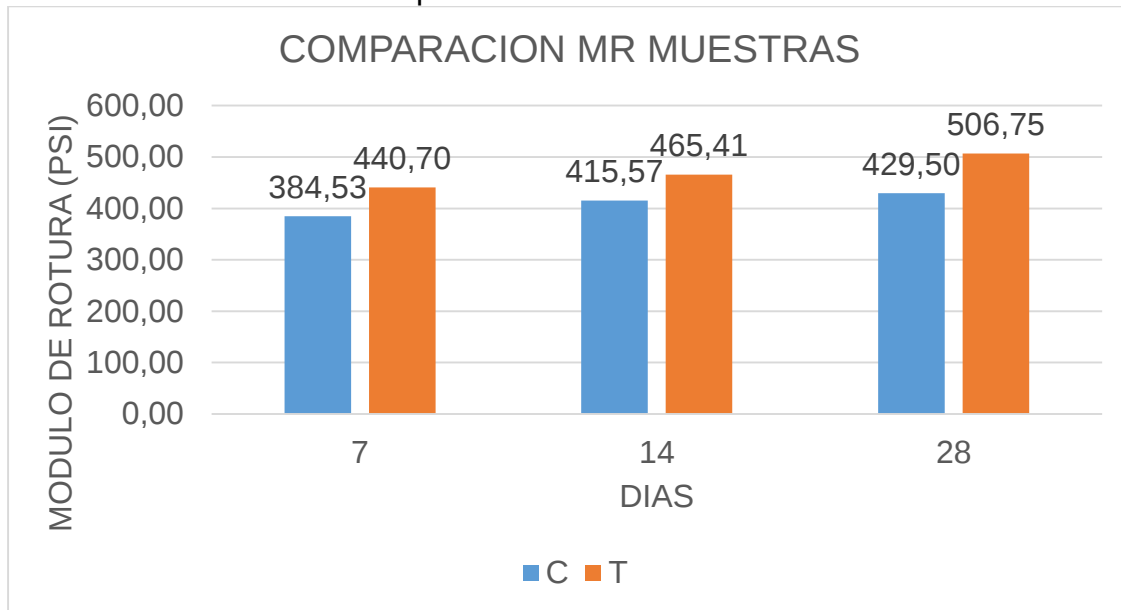
	MUESTRAS MR (PSI)	
DIAS	C	T
7	384,53	440,70
14	415,57	465,41
28	429,50	506,75

Fuente: Propia

De la tabla 29 se puede apreciar que el concreto reforzado con fibras triangulares desde un inicio en los ensayos realizado arroja un MR más alto que el concreto reforzado con fibras convencionales, en el día 7 se presenta una diferencia de 56.17

psi, pero para el día 28 donde el concreto alcanza una de sus mayores resistencias la diferencia incrementa a 77.25 psi.

Grafica 5 Comparación módulo de rotura muestras



Fuente: Propia

En la gráfica 5 se puede ilustrar de una mejor manera la diferencia que se presenta en la resistencia a la flexión de cada uno de los tipos de muestras a través del tiempo, C para concreto reforzado con fibras convencionales y T para concreto reforzado con fibras Triangulares.

Para el día 28 la muestra tipo c alcanza una resistencia a la flexión de 506.75 psi esto equivale a 35.63 Kg/cm².

Tabla 30 Resultados concreto reforzado con fibras convencionales

EDAD DE FRAGUADO (DIAS)	FECHA DE ROTURA	TIPO DE MUESTRA	PROMEDIO MR (PSI)	PROMEDIO MR (KG/CM2)
7	20-dic	C	384,53	27,04
7	20-dic			
14	27-dic		415,57	29,22
14	27-dic			
28	10-ene		429,50	30,20
28	10-ene			

Fuente: Propia

La tabla 30 refleja los resultados de las muestras de concreto reforzado con fibras convencionales, en el día 7 la muestra alcanza un 89.52% del total de su resistencia y para el día 14 su resistencia aumenta a 96.76%.

Tabla 31 Resultados concreto reforzado con fibras triangulares

FECHA DE TOMA	EDAD DE FRAGUADO (DIAS)	FECHA DE ROTURA	TIPO DE MUESTRA	PROMEDIO MR (PSI)	PROMEDIO MR (KG/CM2)
13-dic	7	20-dic	T	440,70	30,98
13-dic	7	20-dic			
13-dic	14	27-dic		465,41	32,72
13-dic	14	27-dic			
13-dic	28	10-ene		506,75	35,63
13-dic	28	10-ene			

Fuente: Propia

En la tabla 31 se recopilaron los resultados de la muestra de concreto reforzado con fibras triangulares teniendo una resistencia a la flexión para el día 28 de 506.75 psi esto equivale a 35.63 Kg/cm².

11.3. MODULO DE ELASTICIDAD

De acuerdo con los resultados de los ensayos a compresión de cada una de las muestras y teniendo en cuenta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) título c, se reemplaza el valor de la ecuación de módulo de elasticidad que plantea la NSR-10.

En la tabla 32 se puede observar los resultados obtenidos del módulo de elasticidad aplicando la formula suministrada por la NSR-10. Reemplazando cada uno de los valores promedio obtenidos de la resistencia a la compresión de las diferentes muestras de concreto se obtiene el valor del módulo de elasticidad en Mpa.

Teniendo en cuenta lo estipulado por la NSR-10 el valor medio para toda la información experimental nacional, se toma la siguiente formula:

$$E_c = 3900 \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

E_c = Modulo de elasticidad (Mpa).

f'_c = Resistencia a la compresión (Mpa).

Tabla 32 Modulo de elasticidad

ANALISIS MODULO DE ELASTICIDAD				
MUESTRA	EDAD DE FRAGUADO	RESISTENCIA PROMEDIO (PSI)	RESISTENCIA PROMEDIO (MPA)	MODULO DE ELASTICIDAD (MPA)
CONCRETO FIBRAS CONVENCIONALES	7	1212,32	8,4	11275,4
	14	1735,85	12,0	13492,1
	28	2394,18	16,5	15845,4
CONCRETO FIBRAS TRIANGULARES	7	2623,16	18,1	16585,8
	14	2991,57	20,6	17712,2
	28	3676,67	25,3	19635,9
CONCRETO SIN REFUERZO	7	1643,52	11,3	13128,4
	14	2025,77	14,0	14575,4
	28	2697,95	18,6	16820,6

Fuente: Propia

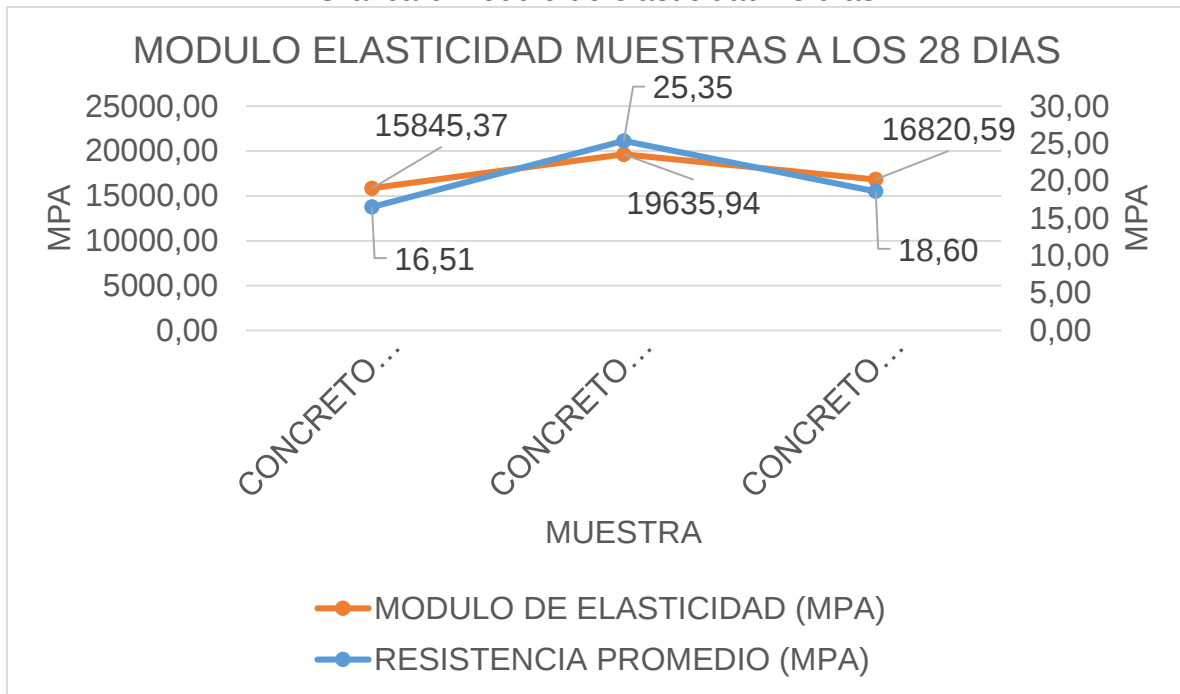
Tabla 33 Modulo de elasticidad 28 días

MODULO ELASTICIDAD MUESTRAS A LOS 28 DIAS		
MUESTRA	RESISTENCIA PROMEDIO (MPA)	MODULO DE ELASTICIDAD (MPA)
CONCRETO FIBRAS CONVENCIONALES	16,51	15845,37
CONCRETO FIBRAS TRIANGULARES	25,35	19635,94
CONCRETO SIN REFUERZO	18,60	16820,59

Fuente: Propia

En la tabla 23 se aprecia los resultados finales con el módulo de elasticidad a los que las muestras llegaron en su resistencia más alta, dando como resultado máximo el módulo de elasticidad del concreto reforzado con fibras triangulares.

Grafica 6 Modulo de elasticidad 28 días



Fuente: Propia

12. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES

Teniendo en cuenta el desarrollo de los laboratorios en los cuales se obtuvo la información necesaria para realizar los análisis de los ensayos de resistencia a compresión y flexión de las muestras de concreto reforzadas con fibras convencionales y fibras triangulares. Se presentará un resumen de toda la información recopilada esto con el fin de dar solución a los problemas planteados en el inicio.

Las fibras de acero convencionales y triangulares se obtuvieron del fabricante Bekaert, el cual nombro su producto como DRAMIX malla en bolsa, este producto está regido por la ASTM A820 cumpliendo con los niveles de calidad EN 14889 Clase 1 para uso estructural. En cuanto a la dosificación que se aplicó a la mezcla de concreto para las diferentes muestras es de 9 Kg por metro cubico de concreto, este dato fue tomado por sugerencia del fabrican, por esta razón no se decidió experimentar con diferentes dosificaciones ya que el objetivo de esta investigación es realizar una comparación entre las fibras de acero convencionales y triangulares, analizando cómo cambian las propiedades del concreto cuando se modifica la forma de la fibra. [30]

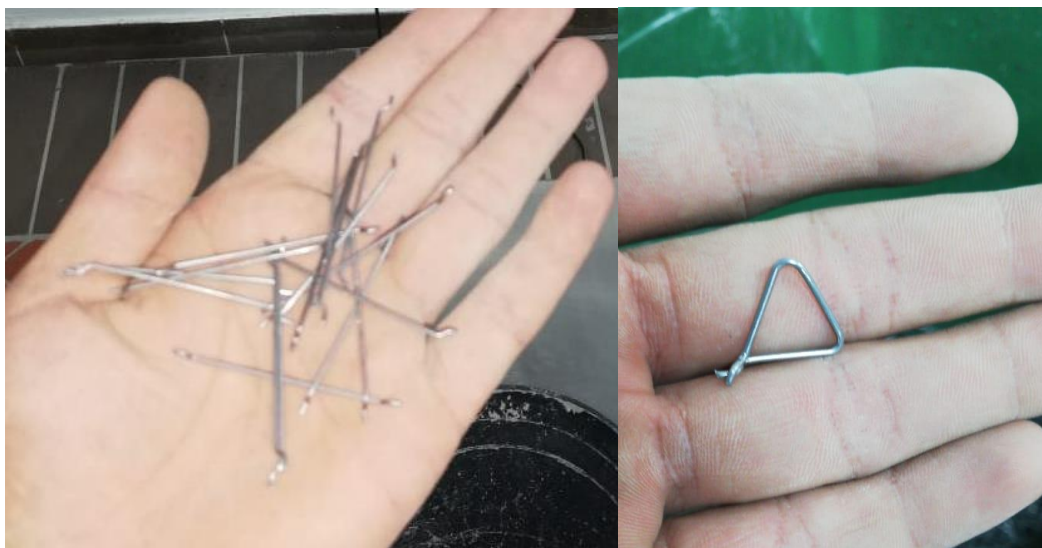


Figura 35 Fibra convencional y triangular
Fuente: Propia

Realizando el análisis de las muestras de concreto reforzado con fibras de acero triangular en comparación con la muestra de concreto reforzada con fibras convencionales y las muestras sin refuerzo se puede deducir que la mezcla reforzada con fibras triangulares obtuvo mayor resistencia a la compresión y un módulo de rotura más alto. En la tabla 34 y 35 se puede observar esta diferencia.

Tabla 34 Comparación resistencia a la compresión entre las muestras

COMPARACION RESISTENCIA COMPRESION ENTRE LAS MUESTRAS			
EDAD DE FRAGUADO	RESISTENCIA FIBRAS CONVENCIONALES (PSI)	RESISTENCIA FIBRAS TRIANGULARES (PSI)	RESISTENCIA SIN REFUERZO (PSI)
7	1212,32	2623,16	1643,52
14	1735,85	2991,57	2025,77
28	2394,18	3676,67	2697,95

Fuente: Propia

Tabla 35 Comparación módulo de rotura ensayo a flexión

DIAS	MUESTRAS MR (PSI)	
	CONVENCIONAL	TRIANGULAR
7	384,53	440,70
14	415,57	465,41
28	429,50	506,75

Fuente: Propia

Tabla 36 Modulo de elasticidad muestras de 28 días de curado

MODULO ELASTICIDAD MUESTRAS A LOS 28 DIAS		
MUESTRA	RESISTENCIA PROMEDIO (MPA)	MODULO DE ELASTICIDAD (MPA)
CONCRETO FIBRAS CONVENCIONALES	16,51	15845,37
CONCRETO FIBRAS TRIANGULARES	25,35	19635,94
CONCRETO SIN REFUERZO	18,60	16820,59

Fuente: Propia

Tabla 37 Resultados relacionando objetivos

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Análisis y comparación de resultados de las muestras de concreto	Muestras de concreto	Objetivo específico 1
Mediante fórmulas establecida en la NSR-10 el módulo de elasticidad fue analizado	Módulo de elasticidad	Objetivo específico 2
Análisis de factibilidad al añadir fibras de acero en forma triangular a la mezcla de concreto	Comparación de resultados	Objetivo específico 3

Fuente: Propia

Tabla 38 Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Académico	Inspira a otros investigadores, con el fin de que sus estudios tengan diferentes maneras de realizar, mejorando sus procesos y análisis.	Se puede realizar esta investigación con diferentes dosificaciones guiando la investigación hacia otros objetivos dado que en este proyecto se afirma que las fibras triangulares son aún mejor las convencionales.	Corto, Mediano y Largo plazo
Económico	Reducción de los costos de Materiales y mano de obra	Debido a las altas resistencias obtenidas en los ensayos de compresión y flexión se puede decir que las fibras triangulares mejoran la resistencia a la compresión y el módulo de rotura de las viguetas.	Corto y Mediano plazo

Fuente: Propia

13. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

13.1. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación se puede afirmar que el concreto reforzado con fibras triangulares mejoro considerablemente la resistencia a la compresión (f'_c) y la resistencia a la flexión, superando los estándares y lo que se había previsto inicialmente.
- Se puede afirmar que las fibras triangulares pueden lograr los mismos resultados que las fibras convencionales, pero con una menor cantidad de material, esto a su vez representaría disminución de los costos y mano de obra.
- Se pudo constatar una mejora en la resistencia a la compresión de los cilindros con fibras triangulares respecto a los cilindros sin ningún tipo de refuerzo, verificando que la mezcla con fibras tuvo una resistencia promedio de 25.35 Mpa y la mezcla sin refuerzo 18.60 Mpa, superando por una diferencia de 6.75 Mpa en la resistencia final.
- Analizando los momentos en que las viguetas son falladas, se pudo deducir que cuando estas tienen refuerzo con fibras logran ser más dúctiles que las que no poseen ningún tipo de refuerzo.
- En el proceso de mezclado del concreto se pudo evidenciar que este perdía manejabilidad cuando se agregaban las fibras de acero, dificultando en baja medida el encofrado de los cilindros y viguetas.
- Analizando los resultados de los módulos de elasticidad de las diferentes muestras se puede afirmar que la muestra de concreto con fibras triangulares alcanzo el mayor resultado adquiriendo un valor de 19635.94 Mpa, igualmente sucedió en la prueba de compresión logrando un valor máximo de 3676.67 Psi.

13.2. TRABAJOS FUTUROS

- Se recomienda perfeccionar este estudio variando las dosificaciones y dado que esta investigación comprueba que modificando la forma de la fibra de acero se obtienen mejores resultados se debe experimentar con otras formas geométricas.
- Se recomienda antes de iniciar una investigación con una nueva forma de fibra de acero se estudie detalladamente su disponibilidad en forma industrializada dado que para esta investigación las fibras triangulares se doblaron manualmente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sika, «Concreto reforzado con Fibras,» Publicaciones Sika Colombia, Colombia, 2014.
- [2] J. Carrillo, G. Gonzalez y W. Aperador, «Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. XIV, nº 3, p. 17, 2013.
- [3] E. Zanni, *Patología de la Construcción y Restauración de obras de Arquitectura*, Argentina: Brujas, 2008.
- [4] J. C. Toirac, «Patología de la construcción, grietas y fisuras en las obras de hormigón, origen y prevención,» *Ciencia y Sociedad*, vol. 29, nº 1, p. 44, 2004.
- [5] F. Pfenninger, «Resistencia por Geometría,» *Arquitectura más Acero*, Asociación latinoamericana, 2018.
- [6] K. Serope y S. T. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Notre Dame: Pearson Educación, 2002, p. 1294.
- [7] A. Mittal, «Fibras de acero,» Wiresolutions sales ibérica, Toledo, 2011.
- [8] T. E. Harmsen, *Diseño de estructuras de concreto armado*, Plaza Francia: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005.
- [9] J. Hop y C. Peter, «Mitos y realidades sobre el concreto reforzado con fibras metálicas,» Marzo 2019. [En línea]. Available: <http://www.imcyc.com/cyt/agosto03/metalias.htm>. [Último acceso: 20 Diciembre 2019].
- [10] J. C. Brown y H. Russell, *Diseño de Concreto Reforzado- Octava edición*, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A, 2011.
- [11] S. C. HC3, «C - Tres,» Consultores Web, [En línea]. Available: <http://www.ctres.mx/blog/usos-de-la-fibra-de-acero-slash-metalica>. [Último acceso: 26 12 2019].
- [12] J. C. Saldaña, C. C. Gutierrez y J. A. Jimenez, *Termodinámica para Ingenieros*, México: Patria, 2015.
- [13] F. L. Baez, *Concreto reforzado : Fundamentos.*, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2015.
- [14] L. P. Gallo, G. Gonzales y J. Carrillo, «Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresión,» vol. 23, nº 1, p. 17, 2013.
- [15] J. Carrillo, W. Aperador y G. Gonzalez, «Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero,» *Ingeniería investigación y tecnología*, vol. 14, nº 3, p. 16, 2013.
- [16] J. Carrillo, D. Silva y M. Sanchez, «Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero,» *Ingeniería investigación y tecnología*, vol. 17, nº 4, p. 12, 2016.
- [17] J. Carrillo y D. S. Paramo, «Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero,» *Ingeniería investigación y tecnología*, vol. 17, nº 3, p. 14, 2016.

- [18] I. International, «Norma Tecnica Colombiana,» Norma Colombiana, Colombia, 1993.
- [19] N. T. Colombiana, «Producción de Concreto,» Publicaciones Norma Tecnica Colombia, Bogotá D.C, 2008.
- [20] N. T. Colombiana, «Agua para la elaboración de concreto,» Publicaciones Norma Tecnica Colombia, Bogotá D.C, 2001.
- [21] N. T. Colombiana, «Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración,» Publicaciones Norma Tecnica Colombia, Bogotá D.C., 1995.
- [22] N. T. Colombiana, «Método de Ensayo para Determinar el Modulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión,» Publicaciones Norma Tecnica Colombia, Bogotá D.C, 2006.
- [23] N. T. Colombiana, «Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto,» Publicaciones Norma Tecnica Colombia, Bogotá D.C, 2010.
- [24] P. Francisco, «Cymper.com,3D, Dramix,» [En línea]. Available: <https://www.cymper.com/online/hormigon/228139-dramix-3d-fibras-de-acero-para-refuerzo-del-hormigon.html>. [Último acceso: 22 Octubre 2019].
- [25] C. t. Ingenieria, «Diseño de Mezcla,» Villavicencio/ Rosa Blanca Calle 6a # 31 - 89, 2019.
- [26] W. D. Callister, Introduccion a la Ciencia e Ingenieria de los materiales 1, Barcelona. España: Reverté, 2007.
- [27] I. A. T. Solutions, «Ibertest Advanced Testing Solutions,» [En línea]. Available: <https://www.ibertest.es/products/ensayo-de-compresion/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2019].
- [28] Meca, «Mecanica de materiales,» 27 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <http://mecatronica4b.blogspot.com/2011/11/diagrama-esfuerzo-deformacion-unitaria.html>. [Último acceso: 25 Noviembre 2019].
- [29] Bekaert, «Proalco, Dramix Malla en Bolsa,» [En línea]. Available: <https://proalco.bekaert.com/es-MX/construccion/dramix-mallaenbolsa>. [Último acceso: 3 Enero 2020].
- [30] Homecenter, «Dramix malla en bolsa,» [En línea]. Available: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/225405/Dramix-malla-en-bolsa-x-9kg>. [Último acceso: 3 Enero 2020].

ANEXOS

ANEXO A

RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESION DE LABORATORIO CIVIL TOTAL INGENIERIA (PDF)

ANEXO B

RESULTADOS ENSAYOS A FLEXION DE LABORATORIO CIVIL TOTAL INGENIERIA (PDF)

ANEXO C

HOJA DE CALCULO FORMULADA EN EXCEL CON LOS CALCULOS DE RESISTENCIA COMPRESION, FLEXION Y CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD (XLS)