



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE
SIN Y CON FIBRA DE VIDRIO RECICLADA”**

AUTOR: RUEDA PILLAJO, ELIZABETH ZOILA

DIRECTOR: ING. DURÁN, RICARDO

CODIRECTOR: ING. BONIFAZ, HUGO. Msc.

**SANGOLQUÍ
2015**

CERTIFICACIÓN

Ing. Ricardo Durán

Ing. Hugo Bonifaz. Msc.

Declaro que:

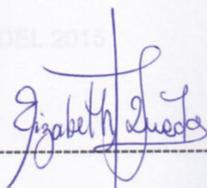
Certifican:

Que el trabajo titulado: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE SIN Y CON FIBRA DE VIDRIO RECICLADA" fue realizado en su totalidad por la Srta. ELIZABETH ZOILA RUEDA PILLAJO como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERA CIVIL.

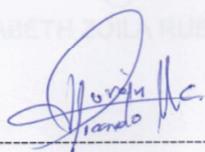
Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

SANGOLQUÍ, 4 DE MARZO DEL 2015

SANGOLQUÍ, 4 DE MARZO DEL 2015

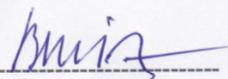


Elizabeth Zoila Rueda Pillajo



Ing. Ricardo Durán.

DIRECTOR



Ing. Hugo Bonifaz Msc.

CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

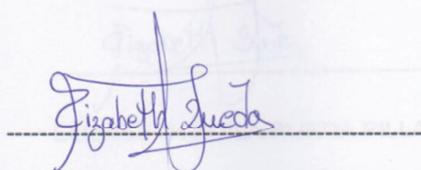
ELIZABETH ZOILA RUEDA PILLAJO

Declaro que:

El proyecto de grado denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE SIN Y CON FIBRA DE VIDRIO RECICLADA" ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas que constan en el texto cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consiguientemente este trabajo es de mi auditoría.

SANGOLQUÍ, 4 DE MARZO DEL 2015



ELIZABETH ZOILA RUEDA PILLAJO

AUTORIZACIÓN

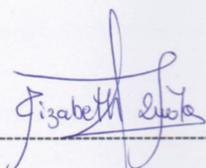
ELIZABETH ZOILA RUEDA PILLAJO

Autorizo que:

El proyecto de grado denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HORMIGÓN SIMPLE SIN Y CON FIBRA DE VIDRIO RECICLADA" sea publicado en la biblioteca virtual de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

SANGOLQUÍ, 4 DE MARZO DEL 2015

Elizabeth Rueda



ELIZABETH ZOILA RUEDA PILLAJO

DEDICATORIA

Dedico a Dios y la Virgen Santísima sobre todas las cosas por ser mi guía, a mis padres Gloria Pillajo y Edison Rueda por apoyo incondicional, a mi hermana Alexandra Rueda por ser mi guía y el sustento en momentos de flaqueza.

Elizabeth Rueda

AGRADECIMIENTO

A Dios mi guía, mi fortaleza, mi corazón agradecido por la vida, la inteligencia y la sabiduría para saber actuar en cada etapa y permitirme llegar a cumplir un objetivo en mi formación académica.

A mis padres Edison y Gloria, que me han formado como una mujer de éxito.

A mi Madre Gloria Pillajo, mi todo mi guía mi ayuda de cada día, esto es tu esfuerzo madre querida doy gracias a Dios, por darme la vida y por tener a la mejor madre del mundo.

A mi hermana Alexandra Rueda mi estrecha colaboradora, mi amiga mi sol de cada día gracias por el apoyo incondicional.

Al Ing. Ricardo Durán y al Ing. Hugo Bonifaz Msc. que han colaborado en el presente trabajo por su motivación, apoyo, ánimo y la confianza depositada en mí, por compartir conmigo sus lecciones y experiencias, formándome como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida. Gracias por su cariño y amistad.

A mis amigos, Ing. Juan Haro, Pablo Salazar gracias por formar parte de mi camino, por su apoyo y ayuda incondicional.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Descripción de la investigación.....	2
1.3. Área de influencia.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.5. Justificación e importancia del problema a resolver.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
GENERALIDADES.....	5
2.1. Caracterización de los agregados para diseño del hormigón.....	5
2.1.1. Conceptos.....	6
2.1.2. Clasificación.....	7
2.2. Diseño del hormigón por el método ACI 211.1.....	9
2.2.1. Objetivo general:.....	9
2.2.2. La Norma ACI 211.1.....	10
2.2.3. Elección del Asentamiento.....	10
2.2.4. Elección del tamaño máximo nominal (TMN).....	12
2.2.5. Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire.....	13
2.2.6. Elección de la relación agua/cemento (a/c).....	16
2.2.7. Cálculo del contenido de cemento.....	20
2.2.8. Estimación del contenido de agregado grueso.....	20

2.2.9.	Estimación del contenido de agregado fino	21
2.2.10.	Ajustes por humedad del agregado.....	24
2.2.11.	Ajustes en las mezclas de prueba	25
2.3.	Hormigón con fibra de vidrio.....	26
2.4.	Métodos de determinación de resistencia a esfuerzo a compresión simple.....	27
2.4.1.	Resistencia a Compresión Simple	27
2.5.	Determinación del módulo de elasticidad en hormigón.	28
2.6.	Módulo de elasticidad en cilindros de hormigón a los 28 Días...	29
2.7.	Determinación de la resistencia a flexión en el hormigón por el método de los 3 puntos.....	33
2.7.1.	Flexión	33
2.1.1.	Método de los tres puntos	35
CAPÍTULO 3.....		37
DISEÑO DE HORMIGÓN.....		37
3.1.	Dosificación del Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.....	37
3.1.2.	Peso específico y absorción en agregado fino y grueso.	44
3.1.3.	Densidad suelta y varillada en agregado fino y grueso.	46
3.1.4.	Contenido de Humedad natural.....	47
3.2.	Producción del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.....	48
3.2.1.	Curado y ensayos de compresión simple.....	51
3.2.2.	Ensayo de compresión en cilindros de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.....	53
3.2.3.	Ensayo a flexión en vigas de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.....	56
CAPÍTULO IV		57
PROCESAMIENTO DE DATOS.....		57
4.1.	Análisis de resultados del Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.....	57
4.1.1.	Análisis de esfuerzo a compresión en cilindros de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.	57

4.1.2.	Porcentaje de aumento en relación al hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.	60
4.2.	Análisis del módulo de elasticidad del hormigón sin y con fibra de vidrio reciclada.	62
4.3.	Análisis a flexión en vigas de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.	80
CAPÍTULO V.....		86
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1.	Conclusiones	86
5.2.	Recomendaciones	87
Bibliografía.....		88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Asentamiento	11
Tabla 2	Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.	12
Tabla 3	Valores recomendados de TMN según el tipo de construcción	13
Tabla 4	Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN del agregado.....	14
Tabla 5	Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales recomendados	16
Tabla 6	Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c.....	17
Tabla 7	Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando existen datos disponibles para establecer una desviación estándar.....	18
Tabla 8	Factor de modificación para la desviación estándar cuando menos de 30 pruebas están disponibles.....	18
Tabla 9	Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar.....	19
Tabla 10	Una vez se determina el valor de f'_{cr} y si el hormigón será con o sin inclusión de aire se procede a determinar la relación a/c.....	19
Tabla 11	Volumen del agregado por unidad de volumen.....	21
Tabla 12	Primer estimado de peso unitario del hormigón fresco.....	22
Tabla 13	Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m^3 de hormigón.....	23
Tabla 14	Resistencias del hormigón	28

Tabla 15 Requisitos degradación para áridos gruesos.	39
Tabla 16 Requisitos de Gradación Del Árido Fino según la ASTM C 144 ...	40
Tabla 17 Granulometría del Agregado Grueso.	41
Tabla 18 Granulometría del agregado Fino	43
Tabla 19 Determinación de gravedad específica y la absorción de agua del agregado fino.	45
Tabla 20 Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado grueso.	46
Tabla 21 Densidad suelta de la Arena ASTM C 29.....	47
Tabla 22 Densidad suelta de la Grava ASTM C 29	47
Tabla 23 Contenido de Humedad Natural.....	47
Tabla 24 Diseño del hormigón	49
Tabla 25 Número de muestras realizadas y ensayadas.	52
Tabla 26 Hoja del ensayo de compresión.....	53
Tabla 27 Resistencia a compresión $f'c = 21$ MPa.....	57
Tabla 28 Resistencia a compresión $f'c = 24$ MPa.....	58
Tabla 29 Resistencia a compresión $f'c = 28$ MPa.....	58
Tabla 30 Resistencia a compresión $f'c = 35$ MPa.....	59
Tabla 31 Porcentaje de aumento del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.....	60
Tabla 32 Módulo de elasticidad $f'c = 35$ MPa Sin fibra.....	62
Tabla 33 Módulo de elasticidad $f'c = 35$ MPa Con fibra.....	64
Tabla 34 Módulo de elasticidad $f'c = 28$ MPa Sin fibra.....	66
Tabla 35 Módulo de elasticidad $f'c = 28$ MPa Con fibra.....	68
Tabla 36 Módulo de elasticidad $f'c = 24$ MPa Sin fibra.....	70
Tabla 37 Módulo de elasticidad $f'c = 24$ MPa Con fibra.....	72
Tabla 38 Módulo de elasticidad $f'c = 21$ MPa Con fibra.....	74
Tabla 39 Módulo de elasticidad $f'c = 21$ MPa Sin fibra.....	76
Tabla 40 Comparación del Módulo de Elasticidad de las diferentes resistencias.	78
Tabla 41 Resistencia $f'c = 21$ MPa a Flexión.....	80
Tabla 42 Resistencia $f'c = 24$ MPa a Flexión.....	81
Tabla 43 Resistencia $f'c = 28$ MPa a Flexión.....	82
Tabla 44 Resistencia $f'c = 35$ MPa a Flexión.....	83
Tabla 45 Analisis de flexion a los 28 días.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Hormigón Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad.	28
Figura 2 Compresómetro.....	30
Figura 3 Flexión en vigas.....	33
Figura 4 Esfuerzo vs Deformación.....	34
Figura 5 Viga A Flexión	35
Figura 6 Separadores de muestras.....	37
Figura 7 Cuarteo sobre una superficie firme, limpia y nivelada (Hale, 2012)	38
Figura 8 Tamices utilizados.	39
Figura 9 Curva Granulométrica del agregado grueso	42
Figura 10 Curva Granulométrica del agregado fino.....	43
Figura 11 Horno para el Contenido de Humedad	48
Figura 12 a- Moldes de Cilindros; b- Moldes de vigas.....	50
Figura 13 Material Utilizado a – cemento; b – arena	50
Figura 14 Colocación del hormigón en a – cilindros; b – vigas.....	51
Figura 15 a – Control de la temperatura; b – Revenimiento de la mezcla; c - Cilindro terminado.	53
Figura 16 Tipos de falla	54
Figura 17 a - Máquina de compresión simple;b-cilindro, c-Ensayo de compresión de cilindros de hormigón.	55
Figura 18 a - Máquina de flexión; b – cilindros y vigas preparadas; c – medición de muestras, d – viga con fibra de vidrio ensayada.	56
Figura 19 Resistencia a compresión $f'c= 21$ MPa.	57
Figura 20 Resistencia a compresión $f'c= 24$ MPa.	58
Figura 21 Resistencia a compresión $f'c= 28$ MPa.	59
Figura 22 Resistencia a compresión $f'c= 35$ MPa.	60
Figura 23 a –b Porcentaje de aumento del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.	61

Figura 24 Módulo de elasticidad $f'c= 35$ MPa Sin fibra.	63
Figura 25 Módulo de elasticidad $f'c= 35$ MPa Con fibra.....	65
Figura 26 Módulo de elasticidad $f'c= 28$ MPa Sin fibra.	67
Figura 27 Módulo de elasticidad $f'c= 28$ MPa Con fibra.....	69
Figura 28 Módulo de elasticidad $f'c= 24$ MPa Sin fibra.	71
Figura 29 Módulo de elasticidad $f'c= 24$ MPa Con fibra.....	73
Figura 30 Módulo de elasticidad $f'c= 21$ MPa Con fibra.....	75
Figura 31 Módulo de elasticidad $f'c= 21$ MPa Sin fibra.	77
Figura 32 Comparación del Módulo de Elasticidad de las diferentes resistencias.	79
Figura 33 Resistencia $f'c=21$ MPa a Flexión.....	80
Figura 34 Resistencia $f'c=24$ MPa a Flexión.....	81
Figura 35 Resistencia $f'c=28$ MPa a Flexión.....	82
Figura 36 Resistencia $f'c=35$ MPa a Flexión.....	83
Figura 37 Análisis de flexión a los 28 días	85

RESUMEN

Actualmente la política del estado se basa en los lineamientos establecidos por el Buen Vivir, en este contexto, el gobierno central está dando prioridad a la iniciativa de proyectos que involucren la reducción del impacto ambiental, por ejemplo: los electrodomésticos que están siendo desechados por que han cumplido con su vida útil, convirtiéndose en desechos que genera el país, cuya materia prima como la (fibra de vidrio) es reciclable y reutilizable en la fabricación de hormigón. Para la dosificación del Hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada se utilizó las siguientes normas ASTM e INEN. Se realizó ensayos comparativos entre hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada, para lo cual se colocó el 1% de la fibra de vidrio en su mezcla. El porcentaje de fibra de vidrio se determinó en función del peso del cemento. El hormigón simple tuvo una resistencia nominal a la compresión a los 28 días. Las propiedades del hormigón que se estudiaron en la investigación son: la resistencia a la compresión simple, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. La resistencia de los Hormigones con fibra de vidrio reciclada se incrementó en el ensayo de compresión en un 20%, ensayo de módulo de elasticidad en 10.31% y en el ensayo a flexión en un 28%.

PALABRAS CLAVES:

AGREGADOS

FIBRA DE VIDRIO RECICLADA

COMPRESIÓN SIMPLE

MÓDULO DE ELASTICIDAD

FLEXIÓN EN VIGAS.

ABSTRACT

The Now days the state's policy is based on the lineaments established by the Good Life, in this context, the central government is giving priority to the initiative of projects involving the reduction of environmental impact, for example: the appliances that are being discarded because have met their useful life, these becoming wastes generated by the country, whose raw material like (fiberglass) is recyclable and reusable in the manufacture of concrete. For the dosing of the concrete with recycled fiber glass simple or without. The following ASTM and INEN standards used. Made Comparative tests between plain concrete was performed without and recycled glass fiber, which was placed for 1% of the glass fiber in its blend. The percentage of glass fiber was determined according to the weight of cement. Plain concrete had a nominal compressive strength at 28 days. The Concrete's properties that were studied in this research are the unconfined compressive strength, the flexural strength and modulus of elasticity. Concrete resistance of recycled glass fiber was increased in the compression test by 20%, modulus of elasticity test at 10.31% and flexural test at 28%.

KEYWORDS:

AAGGREGATES

RECYCLED FIBER GLASS

COMPRESSION SIMPLE

ELASTIC MODULUS

FLEXURAL IN BEAMS

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Actualmente la política del estado se basa en los lineamientos establecidos por el Buen Vivir, en este contexto el gobierno central está dando prioridad a la iniciativa de proyectos que involucren la reducción del impacto ambiental, por ejemplo: los electrodomésticos que están siendo desechados por que han cumplido con su vida útil, variando los requisitos como consumo eficiente de energía y reducción de la emisión de gases contaminantes, se están convirtiendo en desechos que genera el país, cuya materia prima como la (fibra de vidrio) es reciclable y reutilizable en la fabricación de hormigón.

El hormigón utilizado en la construcción, está formado por la mezcla de cemento, arena, grava y agua; estos materiales aglomerantes tienen propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuada.

En la fabricación del hormigón, es importante realizar ensayos de compresión, flexión y cálculo del módulo de elasticidad; estos ensayos se hacen elaborando cilindros de hormigón, que permiten determinar el esfuerzo a compresión simple en cada una de las dosificaciones y al esfuerzo a flexión; las cuales permite verificar las características de sus componentes, buscando obtener que la estructura sea más resistente, durable y de mayor seguridad estructural.

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio influyen directamente en el diseño de los elementos estructurales en la construcción de edificaciones, como es en la fabricación del hormigón para usarlo en el dimensionamiento de peraltes y deformaciones.

Estos ensayos buscan lograr el buen desempeño de las estructuras, considerando la materia prima de la fibra de vidrio reciclada de los electrodomésticos, como lo más importante. La fibra de vidrio reciclada se utiliza en el desarrollo de este Proyecto, con el fin de cuidar nuestro planeta, y dotar al hormigón de un elemento reciclado para aumentar su capacidad de resistencia a flexión y compresión.

1.2. Descripción de la investigación

Para lograr alcanzar los objetivos y las metas planteadas en esta investigación, se realizó el estudio aplicando diferentes métodos de investigación, los cuales se complementará mediante los ensayos que se realizarán en el laboratorio, poniendo en práctica y desarrollando lo indicado en las normas: ASTM C 136 (Método para realizar un análisis granulométrico de agregados finos y gruesos), ASTM C29 Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados, ASTM C 127 (Gravedad específica y la absorción del material grueso), ASTM 128 (Gravedad específica y la absorción del material fino), ASTM C 566 (Ensayo para determinar el contenido de humedad en el agregado por secado), ASTM C 172 (Muestreo), ASTM C1064 (Temperatura), ASTM C 31 (Curado de Muestras), ASTM C143 (Revenimiento), ASTM C 39 (Método de ensayo a compresión en cilindros), ASTM C 469 (Modulo de elasticidad en cilindros) y ASTM C 78 (Flexión en Vigas).

Se realizó ensayos comparativos entre hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclado. El porcentaje de fibra de vidrio se determinó en función

del peso del cemento. El hormigón simple tuvo una resistencia nominal a la compresión a los 28 días, de 21 MPa, 24 MPa, 28 MPa y 35 MPa. Las propiedades del hormigón que se estudiarán en la investigación son trabajabilidad, la resistencia a la compresión simple, la resistencia a la flexión, módulo de elasticidad.

1.3. Área de influencia

Esta investigación beneficia aquellas personas o instituciones públicas o privadas que tengan una relación directa con el diseño y construcción de hormigones, debido a que impulsa la reducción del impacto ambiental causado por el uso desmedido de materiales contaminantes como la fibra de vidrio o gases, los cuales podrían reciclarse y reutilizarse en el área de la construcción. Además entre los objetivos del presente estudio se establece una comparación entre el hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada, lo cual garantiza un producto que cumple con los más altos estándares de calidad requeridos en la fabricación de hormigón.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un Análisis comparativo del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada con resistencia de 21MPa, 24 MPa, 28 MPa, 35 MPa.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Comparar las propiedades mecánicas a compresión y flexión del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

- Determinar el porcentaje óptimo de la fibra de vidrio con respecto al peso de cemento.
- Determinar el módulo de elasticidad del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

1.5. Justificación e importancia del problema a resolver

Hoy en día, la necesidad de realizar grandes construcciones que ocupen un mínimo espacio y sean más resistentes, nos llevan a investigar sobre el uso de nuevos materiales para emplearlos en la construcción.

Toda estructura independientemente del material con que se edifique, debe ser construida de tal manera que brinde seguridad a los usuarios y durabilidad a su estructura, frente a los agentes ambientales y eventos sísmicos, de tal forma de cubrir las necesidades de los sectores de vivienda, trabajo e industria.

El Ecuador se encuentra en una zona de alta peligrosidad sísmica, en la cual la mayoría de las construcciones no se encuentran preparadas para un evento de gran magnitud, por lo que se requiere realizar los ensayos a compresión, esfuerzo a flexión en losas.

A través del proceso de la toma de muestras de hormigón sin y con fibra de vidrio reciclada se verificará el aumento de la resistencia y se establecerá el porcentaje de fibra óptimo a ser utilizado, por medio del mismo se cuantificará y se observará la calidad del hormigón después de un periodo de 28 días, evaluando parámetros como: la resistencia a compresión, flexión en vigas y módulo de elasticidad.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES

2.1. Caracterización de los agregados para diseño del hormigón.

Antiguamente se decía que los agregados eran elementos inertes dentro del hormigón ya que no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas, la tecnología moderna establece que siendo este material el de mayor porcentaje de participación dentro de la unidad cúbica de hormigón sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del hormigón.

La influencia de estos materiales en las propiedades del hormigón tiene efectos importantes no sólo en el acabado y calidad final del hormigón, sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del hormigón endurecido. (León, 2010).

La forma de las partículas afecta la trabajabilidad y colocación del hormigón en estado fresco, la mezcla del hormigón está asociado a la superficie específica de los agregados. Las partículas con una superficie específica menor, como las de forma cúbica o redondeada requieren menos pasta de cemento para alcanzar la misma trabajabilidad que una mezcla de hormigón producida con agregados de mayor superficie específica, como aquellos que contienen partículas elongadas y aplanadas (Shilstone, 1999).

Adicionalmente, las partículas aplanadas, alargadas, angulares y rugosas al acomodarse tienen un alto contenido de vacíos, que hacen que la mezcla requiera de más arena para proporcionar un hormigón manejable. Cuando esto sucede, la finura de la mezcla de agregados es mayor, es decir

que tiene una superficie específica mayor, y por ende el requerimiento de pasta incrementa (Legg, 1998). Además de tener un efecto directo sobre la trabajabilidad de la mezcla, las partículas aplanadas, alargadas, angulares y rugosas producen mezclas que dificultan el acabado superficial del hormigón, así como su compactación. Aunque la textura superficial afecta la trabajabilidad, su influencia no es tan representativa como la que tiene la gradación y la forma de los agregados (Galloway, 1994). La demanda de agua en una mezcla de hormigón también está influenciada por la forma y textura de los agregados. Una demanda mayor de agua para obtener una trabajabilidad dada, reduce la resistencia y aumenta la exudación del hormigón.

2.1.1. Conceptos

Agregado

Generalmente se entiende por "agregado" a la mezcla de agregado fino y agregado grueso de granulometría variable. El hormigón es un material compuesto básicamente por agregados y pasta cementicia, elementos de comportamientos bien diferenciados.

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre el ACI 211.

Los agregados son la fase discontinua del hormigón y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de hormigón.

Los agregados son materiales inorgánicos naturales o artificiales que están embebidos en los aglomerados (cemento, cal y con el agua forman los hormigones y morteros) (León, 2010).

Los agregados naturales para hormigón son una mezcla de rocas y minerales. Minerales es una sustancia sólida natural con una estructura

interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. (Kosmatka, 2004).

Clasificación de los Agregados

Según (Moreira de Souza, Thomaz Ripper, 2009), los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos; los finos consisten en arenas naturales o manufacturados con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; mientras que los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

Los agregados conforman el esqueleto granular del hormigón y son el elemento mayoritario ya que representan el 80-90% del peso total de hormigón, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

Mortero

Es la mezcla del conjunto de la pasta (cemento, agua, y aditivos) y los áridos con tamaño menor que 4mm (arena) (Roncero, 2010)

Cada elemento tiene su rol dentro de la masa de hormigón y su proporción en la mezcla es clave para lograr las propiedades deseadas, estas son: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía (Rivera, 2009).

2.1.2. Clasificación

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

2.1.2.1. Por su naturaleza

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el hormigón se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón. (Norma técnica ecuatoriana, 2010).

- **El agregado fino** se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración y triturado (Norma técnica ecuatoriana, 2010).
- **El agregado grueso** es aquel que queda retenido en el tamiz N° 4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava (Norma técnica ecuatoriana, 2010).
- **El hormigón es** el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera (Norma técnica ecuatoriana, 2010).

2.1.2.2. Por su densidad

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75. (Alatorre González, 1998).

2.1.2.3. Por el origen, forma y textura superficial

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordos casi eliminados.
- Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

2.2. Diseño del hormigón por el método ACI 211.1

Según (Sanchez de Guzman, 2001) el documento ACI 211.1 resume el procedimiento de diseño de mezclas de hormigón.

2.2.1. Objetivo general:

“Determinar la combinación más práctica de los materiales con los que se dispone para producir un hormigón que satisfaga los requerimientos de comportamiento, bajo las condiciones particulares de uso”

Para lograr tal objetivo una mezcla de hormigón deberá poseer las siguientes propiedades:

- En el hormigón fresco, trabajabilidad aceptable.
- En el hormigón endurecido, resistencia, durabilidad, densidad.

El procedimiento descrito en ACI 211.1 detalla 2 métodos de proporcionar mezclas de hormigón de peso normal y denso que son:

- Basado en un peso estimado del hormigón por volumen unitario.
- Basado en el cálculo del volumen absoluto ocupado por los componentes del hormigón.

Los métodos descritos proporcionan una aproximación preliminar de las cantidades de materiales necesarios para elaborar la mezcla de hormigón, que luego deben ser verificadas mediante mezclas de prueba en el laboratorio o en el campo y efectuar los ajustes que sean necesarios, con el objetivo de lograr las características deseadas en el hormigón fresco y endurecido.

2.2.2. La Norma ACI 211.1

Resume el procedimiento de diseño de mezclas de hormigón, en 9 pasos que son:

1. Elección del Asentamiento.
2. Elección del tamaño máximo nominal.
3. Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire.
4. Elección de la relación agua- cemento.
5. Cálculo del contenido de cemento.
6. Estimación del contenido de agregado grueso.
7. Estimación del contenido de agregado fino.
8. Ajuste por humedad del agregado.
9. Ajustes en las mezclas de prueba.

2.2.3. Elección del Asentamiento

Los valores de asentamiento indicados en la tabla 2.1. Se usan cuando el método de compactación utilizado es la vibración, cuando se emplean otros métodos diferentes a los de la tabla 2.1 se deben aumentar en 25cm cuando

el asentamiento no se encuentra especificado, puede adoptar un valor apropiado para la obra.

Tabla 1

Asentamiento

ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA (TIPO DE HORMIGÓN)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0-2,0	Muy Seco	Muy Pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de formaleta.
2,0-3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica.
3,5-5,0	Semi-seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en hormigón simple. Pavimentos con vibradores normales.
5,0-10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano, columnas vigas fundaciones y muros, con vibración.
10,0-15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarla con demasiada vibración.

Fuente: (Sanchez de Guzman, 2001)

Tabla 2

Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	REVENIMIENTO (cm) MÁXIMO	REVENIMIENTO (cm) MÍNIMO
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7.5	25
Muros de sub estructuras, cajones y zapatas sin refuerzo	7.5	25
Vigas y muros reforzados	10.0	25
Columnas de edificios	10.0	25
Losas y pavimentos	7.5	25
Hormigón masivo	7.5	25

Fuente: (Sanchez de Guzman, 2001).

2.2.4. Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de:

- 1/5 de la menor dimensión entre los costados de los moldes.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales.

Tabla 3

Valores recomendados de TMN según el tipo de construcción

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN mm(plg)			
	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6-15	12 (1/2") -19(3/4")	19(3/4")	19(3/4") -25(1")	19(3/4") -38(1 1/2")
19-29	19(3/4") - 38 (1 1/2")	38 (1 1/2")	38 (1 1/2") -76 (3")	
30-74	38 (1 1/2") - 76 (3")	76(3")	38 (1 1/2") -76 (3")	76 (3")
75 o mas	38 (1 1/2") -76 (3")	152 (6")	38 (1 1/2") -76 (3")	76(3") -152(6")

Fuente: (Hale, 2012)

2.2.5. Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire

La tabla 4 de la norma ACI 211.1, proporciona la cantidad de agua (en kg/m³ de hormigón) y el porcentaje de aire atrapado en función de las siguientes variables:

a) Tipo de hormigón.

- Sin aire incluido.
- Con aire incluido (dependiendo si el nivel de exposición es bajo, medio o extremo).

b) Revenimiento.

- De 1 a 2"
- De 3 a 4"
- De 6 a 7"

c) Tamaño máximo nominal del agregado

Para 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 3" y 6".

Tabla 4

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN del agregado.

CONDICIONES DEL CONTENIDO DEL AIRE	ASENTAMIENTO (cm)	AGUA EN Kg/cm ³ DE CONCRETO PARA LOS TMN DEL AGREGADO							
		10	12.5	20	25	40	50	70	150
CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente (Gomez, 1978).

^x Estas cantidades de agua de mezcla deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son los máximos agregados gruesos angulares razonablemente bien formados graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

^{xx} Los valores de asentamiento para un hormigón que contenga un agregado mayor de 40 mm se basan en pruebas de asentamiento efectuado después de remover las partículas mayores de 40mm por medio del cribado húmedo.

Exposición ligera.- Cuando se desee la inclusión de aire por otros efectos benéficos que no sean la durabilidad, por ejemplo, para mejorar la cohesión o trabajabilidad, o para incrementar la resistencia del hormigón con bajo factor de cemento, pueden emplearse contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad. Esta exposición incluye servicio interior o exterior en climas en los que el hormigón no estará expuesto a agentes de congelación o deshielo.

Exposición moderada.- Implica servicios en climas donde es probable la congelación, pero en los que el hormigón no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos. Como ejemplos puede señalarse: vigas exteriores, columnas, muros, trabes o losas que no estén en contacto con el terreno húmedo y que estén ubicadas de manera que no reciban aplicaciones directas de sales descongelantes.

Exposición severa.- El hormigón expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el hormigón pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de lo anterior son: pavimentos, pisos de puentes, guarniciones, desagües, aceras, revestimiento de canales, tanques exteriores para agua o resumideros.

Se presenta el cuadro del contenido de aire según el tipo de exposición del hormigón.

Tabla 5

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales recomendados

REVENIMIENTO		Agua, Kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado incluidos							
(cm)	(pulg)	9.5 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19mm (3/4")	25mm (1")	37.5mm(1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
CONCRETO SIN AIRE									
2.5 a 5.0	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE									
2.5 a 5.0	1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	Baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	Media	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: (Hale, 2012)

2.2.6. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Se conoce como relación agua/cemento (a/c) a la razón existente entre el peso del agua con respecto al peso del cemento, es decir:

$$\frac{a}{c} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de cemento}}$$

Si se mantienen constantes las cantidades de agregado seco en una determinada proporción de hormigón, se observa que a medida que la relación agua/cemento (a/c) se incrementa, existe una disminución en la resistencia del hormigón. Por eso es importante tener un adecuado balance de dicha relación, de forma que permita, determinar la cantidad de cemento fija en la mezcla, y disponer de la suficiente cantidad de agua que permita un adecuado manejo del hormigón con cierta resistencia específica ($f'c$).

Tabla 6

Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c .

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS kg/cm³ (pul)	HORMIGÓN SIN INCLUSOR DE AIRE RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO	HORMIGÓN CON INCLUSOR DE AIRE RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO
175 (2 500)	0.65	0.56
210 (3 000)	0.58	0.50
245 (3 500)	0.52	0.46
280 (4 000)	0.47	0.42
315 (4 500)	0.43	0.38
350 (5 000)	0.40	0.35

Fuente: (Hale, 2012).

Los valores que están por debajo del valor promedio pueden representar problemas si están significativamente por debajo de $f'c$.

De ahí que en ACI 318-02 se recomiendan 3 casos para estimar el valor de $f'cr$ en función de la disponibilidad de registros de ensayos previos y tomar en cuenta el valor de la desviación estándar obtenida. A continuación se resumen las 3 situaciones descritas:

- Se disponen de una cantidad de 30 o más registros.
- Se dispone de 15 a 29 registros.
- Se cuenta con menos de 15 registros.

Tabla 7

Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando existen datos disponibles para establecer una desviación estándar.

ESFUERZO DE COMPRESIÓN ESPECIFICADO $F'c$	ESFUERZO PROMEDIO REQUERIDO A COMPRESIÓN $F'c$ Kg/cm ²
$F'c \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$	$F'cr = F'c + 1.34s$ $F'cr = F'c + 2.33s - 35$ Usar el mayor valor que se obtenga.
$F'c \geq 350 \text{ kg/cm}^2$	$F'cr = F'c + 1.34s$ $F'cr = 0.90F'c + 2.33s$ Usar el mayor que se obtenga

Fuente (Sandino, 1984)

Se dispone de 15 a 29 registros.

Tabla 8

Factor de modificación para la desviación estándar cuando menos de 30 pruebas están disponibles

N° de Pruebas	FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR
< 15	Usar tabla 9 ACI 318-02
15	1.16
20	1.08
25	1.03
≥ 30	1.00

Fuente (Sánchez de Guzmán, 1987)

Se cuenta con menos de 15 registros.

Tabla 9

Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar.

ESFUERZO A COMPRESIÓN ESPECIFICADO $F'c$, Kgf/cm^2	ESFUERZO PROMEDIO REQUERIDO A COMPRESIÓN ESPECIFICADO $F'cr$, Kgf/cm^2
< 210	$F'c + 70$
210-350	$F'c + 84$
>350	$1.10 F'c + 49$

Fuente: (Hale, 2012).

Tabla 10

Una vez se determina el valor de $f'cr$ y si el hormigón será con o sin inclusión de aire se procede a determinar la relación A/C.

ESFUERZO A COMPRESIÓN A 28 DÍAS, Kgf/cm^2	RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR PESO	
	HORMIGÓN SIN AIRE INCLUIDO	HORMIGÓN CON AIRE INCLUIDO
420	41	-
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: (Hale, 2012).

2.2.7. Cálculo del contenido de cemento

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación a/c. Si no obstante, la especificación incluye un límite mínimo sobre el cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio de lograr una mayor cantidad de cemento.

Dónde:

$$C = \frac{A}{(A/C)}$$

C = Cantidad de cemento por m³ de hormigón.

A = Cantidad de agua por m³ de hormigón.

A/C = Relación agua-cemento.

2.2.8. Estimación del contenido de agregado grueso

Se muestra el volumen de agregado en m³, con base al peso volumétrico varillado seco (PVV), para un m³ de hormigón. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un m³ de hormigón, multiplicándolo por el peso volumétrico varillado en seco por m³ de agregado grueso.

Tabla 11

Volumen del agregado por unidad de volumen

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO VARILLADO EN SECO POR VOLUMEN UNITARIO DE HORMIGÓN PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DEL AGREGADO FINO			
		2.4	2.6	2.8	3.00
9.5 mm	3/8 "	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 mm	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19 mm	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25 mm	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 mm	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50 mm	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75 mm	3"	0.82	0.8	0.78	0.76
150 mmm	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente (Clark, 2012).

2.2.9. Estimación del contenido de agregado fino

Se determina mediante el método ACI 211.1:

- Por el método de peso
- Por el método de volumen absoluto.

Por el método de peso

Tabla 12

Primer estimado de peso unitario del hormigón fresco.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		PRIMER ESTIMADO DEL PESO UNITARIO DE HORMIGÓN, kgf/m ³	
		CONCRETO SIN INCLUSIÓN DE AIRE	HORMIGÓN CON AIRE INCLUIDO
9.5 mm	3/8"	2280	2200
12.5 mm	1/2"	2310	2230
19 mm	3/4"	2345	2275
25 mm	1"	2380	2290
37.5 mm	1 1/2"	2410	2350
50 mm	2"	2445	2345
75mm	3"	2490	2405
150mm	6"	2530	2435

Fuente: (Hale, 2012).

Cuando se desea un cálculo teóricamente exacto del peso del hormigón fresco por m³, puede emplearse la siguiente fórmula:

$$U = 10G_a (100-A) + C_M(1 - \frac{G_a}{G_c}) - W_M(G_a-1)$$

Dónde:

- U : Peso del hormigón fresco, por m³.
- G_a : Promedio pesado del peso específico de la combinación de agregado fino y grueso, a granel en condición SSS.
- G_c : Peso específico del cemento (generalmente es 3.15).
- A : Porcentaje de contenido de aire.
- W_M : Requerimiento de agua de mezclado, kg/m³.
- C_M : Requerimiento de cemento, kg/m³.

La estimación del contenido de agregado fino se hace restando al peso del hormigón fresco a la suma de las cantidades de agua, cemento y agregado grueso que se han determinado previamente:

$$\text{Agregado fino} = \text{Peso del hormigón} - (\text{peso del agua} + \text{peso del cemento} + \text{peso agregado grueso}) \text{ En kg/m}^3 \text{ de hormigón.}$$

Densidad

$$D_{prom} = \frac{\text{Peso de la masa}}{\text{volumen}}$$

Tabla 13

Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m³ de hormigón.

MATERIAL	PESO (w) (Kg/m ³)	DENSIDAD APARENTE (Kg/m ³)	VOLUMEN V (g ³ /m ²)
AGUA	K/W	1000	Vw
AIRE	O	O	Va
CEMENTO	Wc	dc	Vc
AGREGADO GRUESO	Wg	dg	Vg
AGREGADO FINO	Wf	df	Vf
TOTAL	WT		1.00m³

Fuente (Hale, 2012)

El coeficiente m³ significa que está calculado para 1m³ de cemento.

Por el método de volumen absoluto

Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregados finos, implica el empleo de volúmenes desplazados por los

componentes (determinación de gravedades específicas). En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos (el agua, aire, cemento y agregado grueso) se resta del volumen unitario del hormigón para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el hormigón es igual a su peso dividido entre la densidad de ese material (siendo ésta el producto del peso unitario del agua por el peso específico del material), (Hale, 2012).

Con las cantidades de cemento, agua y agregado grueso establecido y la cantidad aproximada de aire atrapado de 1% que se determinó en la tabla 5 el contenido de arena puede calcularse de la siguiente manera.

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{PESO}{VOLUMEN}$$

$$\text{Volumen} = \frac{PESO}{PESO \text{ VOLUMÉTRICO}}$$

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso volumétrico}}{\text{Peso volumétrico del agua}}$$

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Gravedad específica} \times \text{peso volumétrico del agua}}{1000 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\text{Volumén} = \frac{Peso}{\text{Gravedad específica} \times \text{peso volumétrico del agua}}$$

2.2.10. Ajustes por humedad del agregado

Debido a que los agregados pétreos presentan cierta porosidad el agua de mezclado puede ser absorbida dentro del cuerpo de las partículas. Por otra parte, la superficie de las partículas también puede retener agua formando una película de humedad.

Las proporciones iniciales calculadas deben verificarse por medio de ensayos de asentamiento y resistencia hechos a mezclas de prueba elaboradas ya sea en el laboratorio o en el campo, teniendo en cuenta la humedad de los agregados, cuando no se cumple con el asentamiento y/o la

resistencia requerida se debe hacer los ajustes a la mezcla de prueba. (Gomez, 1978)

2.2.11. Ajustes en las mezclas de prueba

Ajuste por asentamiento

Al preparar la primera mezcla de prueba deberá utilizarse la cantidad de agua necesaria para producir el asentamiento escogido. Si esta cantidad de agua por m^3 de hormigón difiere de la estimada, es necesario, calcular los contenidos ajustados de agua, cemento, y agregados, y las proporciones ajustadas, teniendo en cuenta que si se mantiene constante el volumen absoluto de agua y agregado grueso por unidad de volumen de hormigón, el asentamiento no presenta mayor cambio al variar un poco los volúmenes absolutos del cemento y agregado fino. (Hale, 2012)

Ajuste por resistencia

Se prepara una segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas, que debe cumplir con el asentamiento y se elaboran muestras para el ensayo de resistencia

Si las resistencias obtenidas difieren de la resistencia de dosificación, se reajusta los contenidos de agua, cemento y agregados, sin perjudicar la durabilidad. Las proporciones reajustadas se calculan variando las cantidades de cemento y agregado fino para obtener la nueva relación agua/cemento, pero dejando constante la cantidad de agua y agregado grueso por volumen unitario de hormigón, para mantener el asentamiento (Rivera, 2009).

2.3. Hormigón con fibra de vidrio.

2.3.1. Generalidades de la fibra de vidrio.

La lana de vidrio se comienza a fundir a una temperatura de 1450 °C con una mezcla de arena de sílice (SiO₂), carbonato de sodio (Na₂CO₃) y caliza (CaCO₃), aditivos como óxido de magnesio (MgO) y vidrio reciclado el cual es convertido en fibras. Para ello se recurre a un método de alta velocidad, forzándolo a través de una rejilla fina mediante una fuerza centrífuga, enfriándose al entrar en contacto con el aire. La cohesión y resistencia mecánica del producto se obtiene rociando a los millones de filamentos con una solución aglutinante que adhiere a las fibras entre sí. La masa de fibras embebidas en el aglutinante es calentada a una temperatura de unos 200 °C para polimerizar la resina y es curada para darle resistencia y estabilidad. La etapa final comprende el corte de la lana y el empaclado en rollos o paneles a alta presión previo a paletizar el producto terminado, para facilitar su transporte y almacenamiento (Melter, 2010).

Una gran ventaja de este material, es de ser un material aislante térmico y acústico sumamente eficiente y de fácil manejo, también puede fabricarse a partir de materiales reciclables, lo cual permite una reducción en los costos de fabricación; hecho que se percibe al comparar su costo con otros materiales con propiedades similares como la fibra de carbono (Koch & Lupton, 2013).

Aplicaciones en edificación residencial:

- Cerramientos verticales.
- Cubierta inclinada.
- Divisorias interiores y techos.
- Conductos de aire acondicionado.

- Aislamiento acústico para suelos
- Aislamiento acústico para falsos techos

Aplicaciones en edificación industrial:

- Cubiertas y fachadas de doble chapa metálica.
- Divisiones interiores
- Aislamiento de techos.
- Conductos de aire acondicionado
- Aislamiento de conductos de aire acondicionado (Hidalgo, 2014)

2.4. Métodos de determinación de resistencia a esfuerzo a compresión simple.

2.4.1. Resistencia a Compresión Simple

La medida de la resistencia a la compresión simple se realiza mediante la norma ASTM C 39 (Ensayo de Compresión en cilindros) y ASTM C 31. (Curado de muestras).

La resistencia a la compresión se mide en la máquina de compresión de cilindros que aplica carga sobre la superficie superior del cilindro a una velocidad específica mientras ocurre la falla tarda entre dos a tres minutos y la carga a la que falla a la probeta queda registrada en la máquina de compresión, este valor se divide por el área de la sección transversal del cilindro obteniéndose así el esfuerzo de rotura del hormigón (Niño Hernández, 2010).

$$f_c = \frac{P_{max}}{\text{Área}}$$

La resistencia a los 28 días es el período normado en donde el hormigón alcanza una resistencia aproximada a la que tendrá el resto de su vida útil.

Tabla 14

Resistencias del hormigón

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN SIMPLE			USO MAS COMÚN
Psi	Mpa	MPa	
2500	17.24	172.4	Hormigón armado y ciclópeo
3000	21	210	Hormigón armado
4000	28	280	Hormigón armado y preesforzado
5000	34	344	Hormigón preesforzado
6000	41	410	Hormigón preesforzado
7000	48	480	Hormigón preesforzado
8000	55	550	Aplicaciones especiales

Fuente (Galloway, 1994).

2.5. Determinación del módulo de elasticidad en hormigón.

El hormigón no es un material eminentemente elástico, esto se puede observar fácilmente si se somete un espécimen a esfuerzos de compresión crecientes hasta llevarlo a la falla, si para cada nivel de esfuerzo se registra la deformación unitaria del material, se podría dibujar la curva que relaciona estos parámetros.

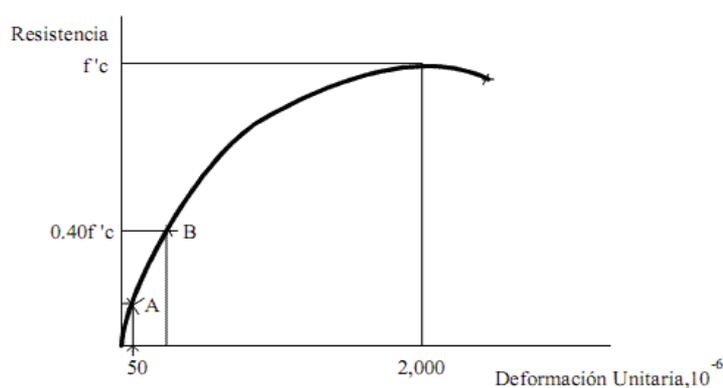


Figura 1 Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Hormigón Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad.

Fuente: Norma ASTM C-469.

De la Figura 1, de acuerdo a la norma ASTM C-469, el módulo de elasticidad (E_c) se obtiene calculando la pendiente del segmento de recta que pasa por los puntos A y B, para lo cual es necesario obtener del trazo de la curva (o en el transcurso de la prueba) la ordenada correspondiente a las 50 micro deformaciones y la abscisa correspondiente al esfuerzo $0.40f'_c$. De la figura 1. Se observa también corresponde a 2,000 micro deformaciones. Aún después de que el hormigón alcanza su resistencia máxima, y si la carga se mantiene (el esfuerzo disminuye) hasta lograr la falla, el cilindro se fractura.

El módulo de elasticidad es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de hormigón ya que se emplea en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales.

2.6. Módulo de elasticidad en cilindros de hormigón a los 28 Días.

Se determina de acuerdo a la norma ASTM C469, sobre cilindros elaborados de la misma manera que los que se ensayan a compresión, a los cuales se les adapta un dispositivo en forma de corona que tiene un deformímetro vertical que sirve para hallar el módulo de elasticidad. La velocidad de carga es la misma que se utiliza en el ensayo de compresión, y para no dañar el dispositivo por un exceso de deformación, sólo se debe aplicar carga hasta cuando la deformación longitudinal, definida como la deformación vertical dividida sobre la luz del deformímetro, sea de 50 millones, o hasta el 40% de la resistencia a compresión.

En la figura 1 muestra un diagrama esfuerzo deformación típica para un espécimen de concreto cargado y descargado en la cual se aprecia el módulo elástico tangente y secante.

El módulo tangente más importante es el inicial y a pesar de que es difícil determinarlo, se puede obtener su valor aproximado ya que la

secante de la curva esfuerzo – deformación casi siempre es paralela a la tangente de la curva durante la carga. (Niño Hernández, 2010).

Compresómetro.- Para determinar el Módulo de elasticidad del Hormigón se proveerá de un equipo sensible (deformímetro) para medir con una aproximación de 5 millonésimas la deformación promedio de dos líneas de medición diametralmente opuestas, ambas paralelas al eje y ambas centradas alrededor de la mitad de la altura del espécimen.

La longitud efectiva de cada línea de medida no será menor de 3 veces el tamaño máximo del granulado del hormigón, ni más de los $\frac{2}{3}$ de la altura del espécimen, la longitud preferida de la línea medida es la mitad de la altura del espécimen. Los puntos de calibración pueden ser embebidos dentro, o pegados al espécimen y las deformaciones de las dos líneas se deben leer independientemente, o con compresómetro.

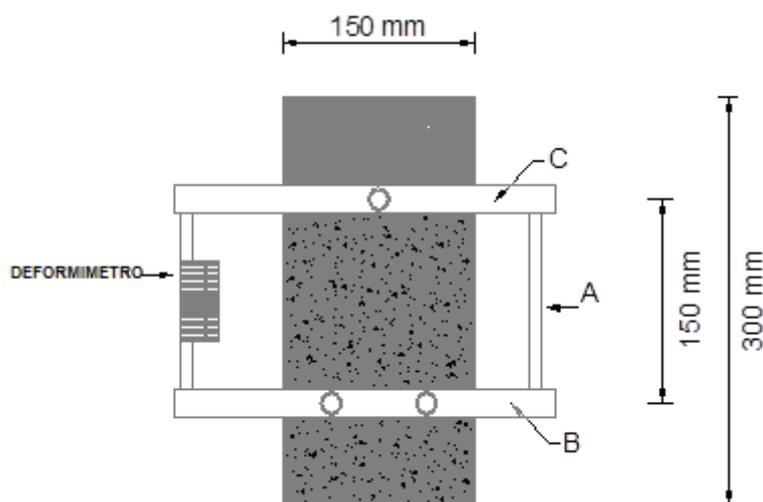


Figura 2 Compresómetro.

Consiste en dos anillos abrazaderas, uno de los cuales (Vea B en la figura 2) está rigidamente sujeto al espécimen y el otro (vea C en la Figura 2), está sujeta en dos puntos diametralmente opuestas, de manera que pueda rotar libremente. En un punto sobre la circunferencia del anillo rotatorio, a media distancia entre los dos puntos de sujeción, se debe

emplear una varilla pivote (vea A en la figura 2) para mantener una distancia constante entre los dos anillos.

En el punto opuesto sobre los dos anillos (esto es la lectura del calibrador), es igual a la suma del desplazamiento debido a la rotación del anillo alrededor de la varilla pivote.

La deformación puede ser medida por un dial de cuadrantes utilizado directamente.

Los procedimientos para calibrar los aparatos para medir deformaciones están dados en la práctica ASTM E 83.

Precisión.- La precisión está definida en la práctica ASTM E-177, sobre el rango del 17,3 a $27,6 \times 10^9$ Pa, entonces los resultados de ensayos de cilindros duplicados de diferentes amasadas no deben diferenciarse en más del 5 % del promedio de los dos. (CIVIL, 2010)

ENSAYO ASTM C 469-94

Material Necesario:

- Máquina universal de 100T
- Anillos giratorios.
- Compresómetro A = + / - 0,001mm.
- Cilindros de Hormigón.

Modo de uso.-

Durante el ensayo debe registrarse los cambios de temperatura y porcentaje de humedad en el laboratorio. Se colocará en la probeta el compresómetro ajustando bien los tornillos y cuidadosamente se traslada en el cabezal inferior de la máquina Universal, cuidadosamente se alinea el eje de la probeta con el centro del cabezal superior mientras baja lentamente para ponerse en contacto con la probeta.

Con los equipos calibrados, preparados y encerados se dará carga a la probeta cilíndrica de manera continua y sin impacto hasta el 40% de la resistencia promedio obtenido en las probetas ensayadas a compresión.

La fase de descarga debe realizarse a la misma velocidad con que se realizó la fase de carga.

La velocidad de la aplicación de la carga debe ser constante dentro del rango de 241 ± 34 KPa / seg, pero la mejor opción, es sin duda el tiempo necesario para que los operadores tengan tiempo suficiente para leer y anotar las mediciones.

Se enceran los equipos y se da dos ciclos más de carga y descarga, encerando los equipos entre ciclo y ciclo. Terminado el tercer ciclo se procede a aflojar el anillo giratorio y se aplicará carga hasta la rotura.

En otras palabras para determinar el Módulo Estático de Elasticidad del hormigón, mediante ensayos de compresión con medidas de deformación, es necesario determinar las variaciones de deformación longitudinal que sufre el hormigón en intervalos simultáneos de carga, para dicho efecto se procede de la siguiente manera; para medir las variaciones de deformación por compresión, acoplamos a la probeta estándar de hormigón un sistema que consta de dos anillos, uno superior y otro inferior los mismos que se aseguran a la probeta mediante tornillos sujetándose de punta cónica de manera que el anillo quede lo más centrado posible, su longitud de medida es de 150 mm.

El anillo inferior permanecerá fijo, mientras que el anillo superior es el que gira en un pivote o eje conforme se comprime el hormigón. En él un extremo de los dos anillos se va a colocar un sistema de apoyo mientras que el otro extremo va acoplado al deformímetro o dial, el mismo que tienen una sensibilidad de 0.0010 mm.

Por efectos de montaje del aparato del dial de deformaciones nos da lecturas igual al doble de la deformación verdadera de la probeta, lo cual es ventajoso para mayor sensibilidad de las lecturas. En este ensayo se debe tener la precaución de retirar el equipo (anillos) antes de la carga de rotura para precautelar daños en el equipo.

CÁLCULOS:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Dónde:

E_c = Módulo de Elasticidad MPa.

σ_2 : Esfuerzo 1 MPa.

σ_1 = Esfuerzo 2 MPa.

ε_2 : Deformación 1 (mm/mm).

ε_1 : Deformación 2 (mm/mm)

2.7. Determinación de la resistencia a flexión en el hormigón por el método de los 3 puntos.

2.7.1. Flexión

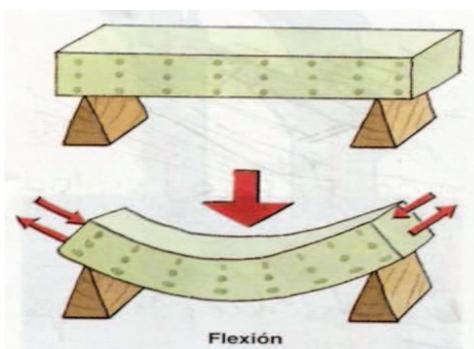


Figura 3 Flexión en vigas

El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.

Sin embargo y por comodidad para realizar el ensayo de los distintos materiales bajo la acción de este esfuerzo se emplea generalmente a las mismas comportándose como vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio (flexión practica u ordinaria).

En estas condiciones además de producirse el momento de flexión requerido, se superpone al esfuerzo cortante, cuya influencia en el cálculo de la resistencia del material varia con la distancia entre apoyos, debido a que mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen con esta, los esfuerzos cortantes se mantienen constantes, como puede comprobarse fácilmente en la figura 3, por lo que será tanto menor su influencia cuanto mayor sea la luz entre apoyos.

Es por esta razón que la distancia entre los soportes de la probeta se ha normalizado convenientemente en función de la altura o diámetro de la misma, pudiendo aceptar entonces que la acción del esfuerzo de corte es lo que se mide no es despreciable. Para ensayos más precisos la aplicación de la carga se hace por intermedio de dos fuerzas con lo que se logra “flexión pura”.

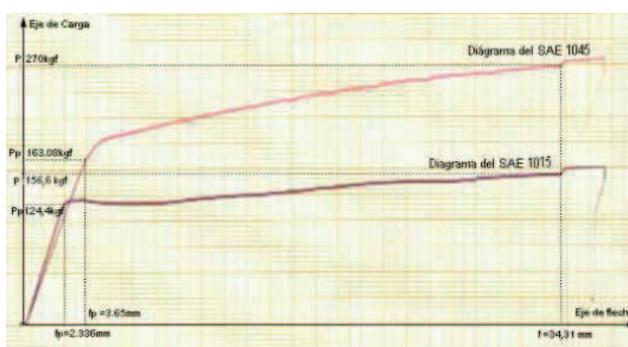


Figura 4 Esfuerzo vs Deformación

2.1.1. Método de los tres puntos

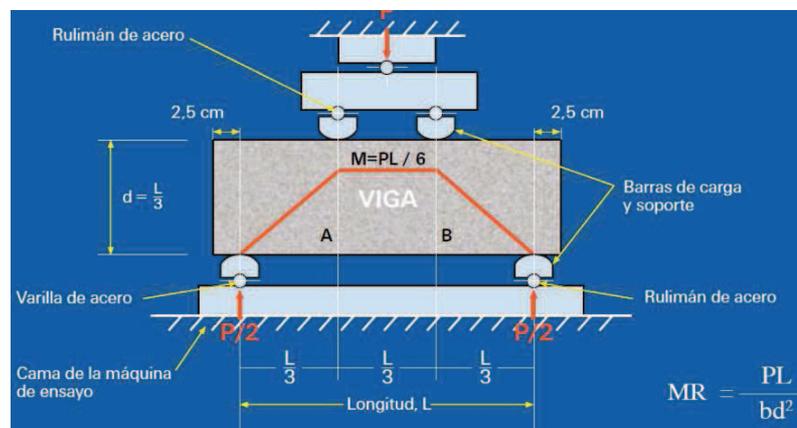


Figura 5 Viga A Flexión

La resistencia a la flexión del hormigón se refiere al módulo de rotura, se evalúa por medio de ensayos de flexión sobre vigas de sección cuadrada de 15x15 cm de lado y 50 cm de longitud se deben ensayar de acuerdo con las normas ASTM C78, ASTM C 293 describen el procedimiento para realizar el ensayo sobre hormigones convencionales cargando las vigas de uno o dos puntos.

El ensayo cargando la viga en dos puntos consiste en apoyar la viga a 2,5cm como mínimo de sus extremos dejando una luz intermedia de 45cm, en la que se carga en dos puntos situados a 15cm de los apoyos tal como se aprecia en la figura 5.

La resistencia a la flexión o módulo de rotura se calcula mediante la siguiente fórmula siempre y cuando la falla ocurra dentro del tercio medio de la luz libre de la vigueta (Niño Hernández, 2010).

$$Fr = \frac{PL}{bd^2}$$

Dónde:

Fr= Módulo de rotura en MPa.

P= Carga de rotura aplicada en N

L= Luz entre apoyos extremos en mm

b= Ancho de la viga en mm

d= Altura de la viga en mm

Cuando la falla ocurre fuera del tercio medio de la vigueta, pero no está separada de él por más de una longitud equivalente al 5% de la luz libre, la resistencia a la flexión o módulo de rotura se debe calcular por medio de la siguiente expresión:

$$Fr = \frac{3P(a)}{bd^2}$$

Dónde:

Fr= Módulo de rotura en MPa.

P= Carga de rotura aplicada en N

L= Luz entre apoyos extremos en mm

b= Ancho de la viga en mm

d= Altura de la viga en mm

a= distancia entre la línea de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo del eje longitudinal de la cara interior de la viga, en cm.

Si la distancia es mayor que 5%, el ensayo se debe repetir. (Niño Hernández, 2010).

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE HORMIGÓN

3.1. Dosificación del Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

3.1.1. Dosificación de hormigón para las resistencias de 21MPa, 24MPa, 28MPa, 35 MPa. Según el método ACI 211.

Para la fabricación de las muestras de ensayo se procede a realizar la caracterización de los agregados de materiales pétreos de la cantera de Pintag constituido por rocas de formación volcánica clasificado como basaltos de color rojizo. Los ensayos que se realizó a los agregados constituyentes del hormigón se detallan a continuación.

Reducción de tamaño de la muestra.- Es la práctica en la cual se obtiene una muestra más pequeña a partir de la original con mismas proporciones de las partes constituyentes de la muestra original según ASTM C 702.



Figura 6 Separadores de muestras.

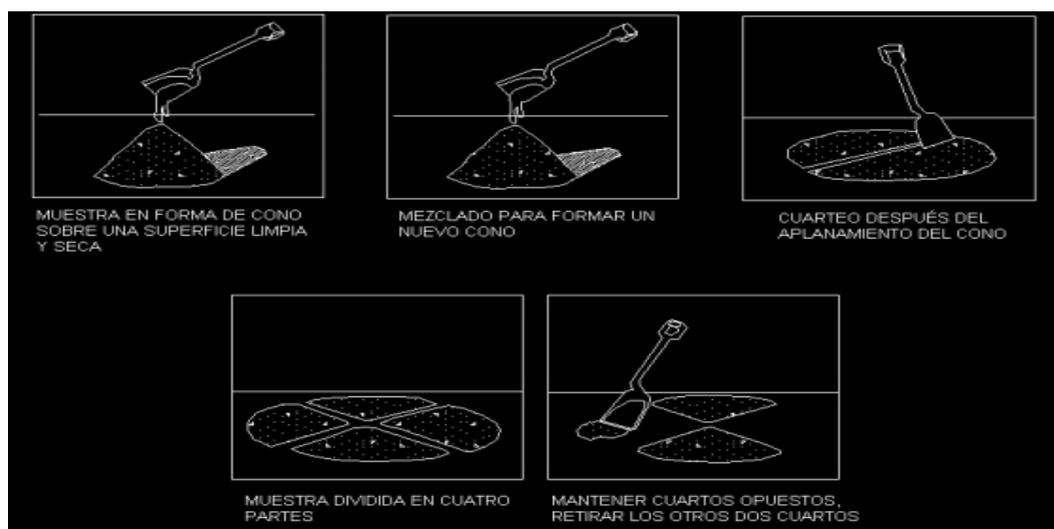


Figura 7 Cuarteo sobre una superficie firme, limpia y nivelada (Hale, 2012)

3.1.1.1. Granulometría de agregado fino y grueso

La granulometría de los agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Se realizan en una serie de tamices ordenados, por aberturas de mayor a menor.

Estos tamices están en números ascendentes, esto es, #4, #8, #16, #30, #50, #100, según el número de aberturas por pulgada lineal, para agregados finos y en orden de tamaño descendente 3", 2", 1½", 1", ¾", 1/2", 3/8", para agregado grueso.

Los resultados de un análisis granulométrico se representan en forma gráfica como curvas granulométricas.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es. (Hale, 2012)



Figura 8 Tamices utilizados.

Agregado grueso

Tabla 15

Requisitos de gradación para áridos gruesos.

Número de tamiz	Tamaño nominal (tamices con aberturas cuadradas)(mm)	PORCENTAJE ACUMULADO EN MASA QUE DEBE PASAR CADA TAMIZ DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS)													
		100 (mm)	90 (mm)	75 (mm)	63 (mm)	50 (mm)	37.5 (mm)	25 (mm)	19 (mm)	12.5 (mm)	9.5 (mm)	4.75 (mm)	2.3 (mm)	1.1 (mm)	300 (mm)
1	de 90 a 37.5	100	90		25		0	15		0					
2	de 63 a 37.5		100	10	90	35	0	15		0					
3	de 50 a 25.0				100	90	35	15		0					
357	de 50 a 4.75				100	95		35		10					
4	de 37.5 a 19.0					100	90	20		0					
467	de 37.5 a 4.75					100	95			35		10			
5	de 25.0						100	90	20			0			

	a 12.5		a	a	10	5			
			100	55					
56	de 25.0 a 9.5	100	90	40	10 a	0 a	0 a		
			100	85	40	15	5		
57	de 25.0 a 4.75	100	95		25 a		0 a	0 a	
			a		60		10	5	
			100						
6	de 19.0 a 9.5		100	90	20 a	0 a	0 a		
				a	55	15	5		
				100					
67	de 19.0 a 4.75		100	90		20	0 a	0 a	
				a		a	10	5	
				100		55			
7	de 12.5 a 4.75			100	90 a	40	0 a	0 a	
					100	a	15	5	
						70			
8	de 9.5 a 2.36				100	85	10 a	0	0 a
						a	30	a10	5
						100			
89	de 9.5 a 1.18				100	90	20 a	5 a	0 a
						a	55	30	10
						100			5
9A	de 4.75 a 1.18					100	85 a	10	0 a
							100	a	10
								40	5

En esta investigación se utiliza el número de tamaño 67 de la tabla 3.1 ya que se ajusta al material que se tiene en la investigación, tamaño nominal de 1".

Fuente: (Niño Hernández, 2010).

Tabla 16

Requisitos de Gradación Del Árido Fino según la ASTM C 144

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm (3/8)	100
4.75 mm (Nº4)	95-100
2.36 mm (Nº8)	80-100
1.18 mm (Nº16)	50-85
600 mm (Nº30)	25-60
300 mm (Nº50)	5-30
150 mm (Nº100)	0-10

El módulo de finura no debe ser menor de 2,3 ni mayor de 3.1.

Tabla 17

Granulometría del Agregado Grueso.

MUESTRA No. MUESTRA AGREGADO 1"				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
3" (76,1 mm)	0.00	0.00	0	100
2"(51,8mm)	0.00	0.00	0	100
1 1/2 " (38,1 mm)	0.00	0.00	0	100
1"(25,4mm)	0.00	0.00	0	100
3/4 " (19,0 mm)	1124.00	1124.00	18	82
1/2"(12,5mm)	2335.00	3459.00	55	45
3/8 " (9,51 mm)	1207.00	4666.00	74	26
No. 4 (4,76 mm)	1438.00	6104.00	96	4
No. 8 (2.36 mm)	161.00	6265.00	99	1
Pas No. 8	63.00	6328.00		
PESO INICIAL DE LA 6336				
MUESTRA: (g)				
Tamaño máximo nominal			1"	

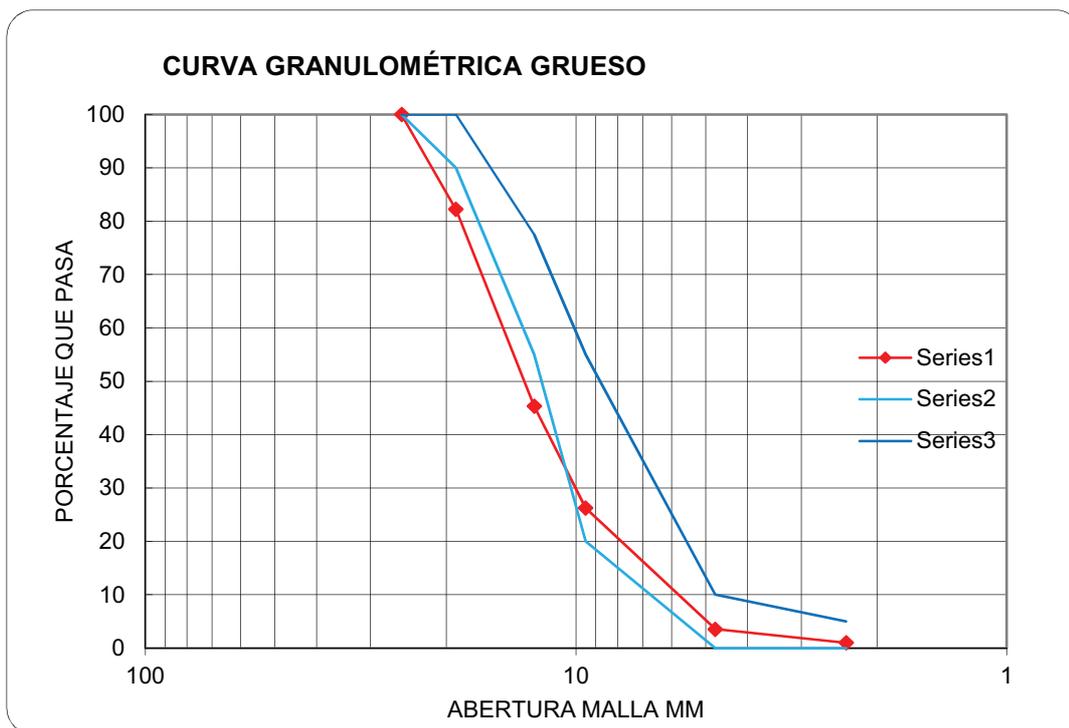


Figura 9 Curva Granulométrica

En esta gráfica se puede observar que los agregados gruesos se encuentran fuera del rango, los cuales no están dentro de las especificaciones, pero se utilizan los materiales por efecto del estudio ya que el objetivo es mejorar las condiciones de resistencia con fibra.

Tabla 18

Granulometría del agregado Fino

MUESTRA No. MUESTRA ARENA LAVADA				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9.5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	25	25	4	96
No. 8 (2,36 mm)	135	160	26	74
No. 1 (1,18 mm)	128	288	48	52
No. 30 (0,6 mm)	73	361	60	40
No. 50(0,30mm)	77	438	72	28
No.100 (0,15 mm)	63	501	83	17
Pas No. 100	104	605	100	0
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		606		
Módulo de finura		2,9		

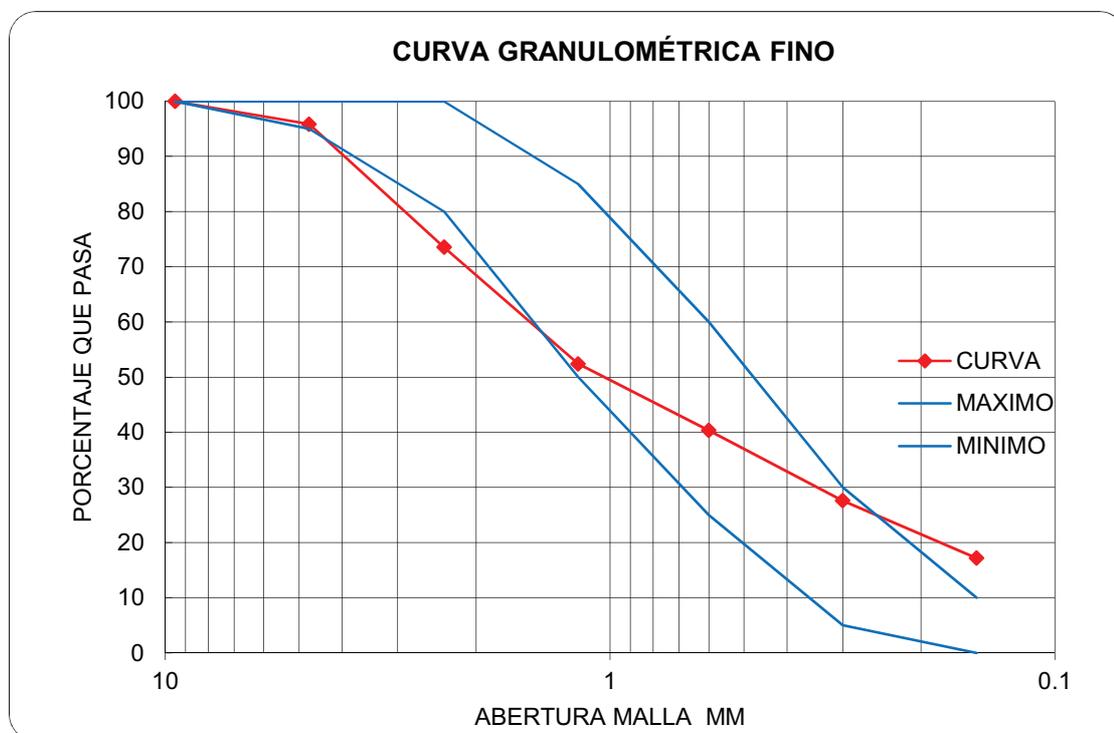


Figura 10 Curva Granulométrica del Agregado Fino

3.1.2. Peso específico y absorción en agregado fino y grueso.

Para la determinación del peso específico tanto grueso como fino según las siguientes normas. Peso específico y absorción de agregado Grueso ASTM C127. Peso específico y absorción de agregado Fino ASTM C128.

La masa específica relativa (densidad relativa, gravedad específica) de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se la usa en algunos cálculos de proporciones y de control de la mezcla, tales como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla. La mayoría de los agregados naturales tiene masas específicas relativas que varían de 2.4 a 2.9, con masa específica correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 kg/m³ (Kosmatka, 2004)

Agregado grueso

Las partículas deben estar libres de tierra, polvo, limo, humus, escamas, materia orgánica sales u otras sustancias dañinas.

El agregado grueso debe estar conformado por partículas limpias, de perfiles preferentemente angular o semi-angular, duras, compactas, resistentes y texturas preferentemente rugosas.

La capacidad de absorción de las partículas de agregados se pueden determinar fácilmente por diferencia de pesos, entre el saturado y superficialmente seco expresado como un porcentaje de la masa seca. (Niño Hernández, 2010).

$$\% \text{ absorción} = \frac{(P_{SSS} - P_s)}{P_s} \times 100$$

Dónde:

P_{sss} = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca.

P_s = Masa seca de la muestra.

Agregado fino

El agregado fino será arena natural. Sus partículas serán limpias, de perfiles preferentemente angulares, duros, compactos y resistentes, deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas, blandas, esquistos, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias perjudiciales (Hale, 2012).

Tabla 19

Determinación de gravedad específica y la absorción de agua del agregado fino.

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	500
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	479.56
D	PESO DEL FRASCO LLENO DE AGUA	(g)	663.61
E	PESO DEL FRASCO LLENO CON LA MUESTRA SATURADA	(g/cm³)	957.73
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO		0.997205
(C/C+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm³)	2.579
(A/A+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm³)	2.422
(C/A+D-E)*γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm³)	2.323
(A-C/C)*100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	4.3

Tabla 20

Determinación de pesos específicos y absorción de agua del agregado grueso.

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	5238.0
B	PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA	(g)	3110.0
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	4984.1
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm ³)	0.99843
$(C/C-B)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	2.655
$(A/A-B)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	2.458
$(C/A-B)*\gamma$	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	2.338
$(A-C/C)*100$	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	5.1

3.1.3. Densidad suelta y varillada en agregado fino y grueso.

La Densidad volumétrica (masa unitaria) de un agregado es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen a que se refiere es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado.

La masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado en el hormigón de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/m³. La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos varía de cerca del 30% a 45% para el agregado grueso y de cerca del 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta la cantidad de vacíos, mientras que los tamaños mayores de un agregado bien graduado y la mejoría de la granulometría disminuyen el contenido de vacíos. Los métodos para la determinación de la masa volumétrica del agregado y el contenido de vacíos se encuentran en las normas ASTM C 29 (Kosmatka, 2004).

Tabla 21

Densidad suelta de la Arena ASTM C 29.

Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	2628	2628
Peso molde +suelo (g)	7148	7211
Peso suelo (g)	4520	4583
Volumen (cm ³)	2797	2797
Densidad suelta (g/cm ³)	1.616	1.638
Media	1.627	

Tabla 22

Densidad suelta de la Grava ASTM C 29.

Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	2103	2103
Peso molde +suelo (g)	11273	11007
Peso suelo (g)	9170	8904
Volumen (cm ³)	7181	7181
Densidad suelta (g/cm ³)	1.277	1.240
Media (g/cm ³)	1.258	

3.1.4. Contenido de Humedad natural.

Esta práctica es basada en la norma ASTM C 566 la cual nos permite determinar la cantidad de agua contenida en el agregado en estado natural, lo que permitirá estimar la cantidad de agua que hay que añadir a la mezcla para elaborar el hormigón.

Tabla 23

Contenido de Humedad Natural

MUESTRA	FINO	GRUESOS
RECIPIENTE	M	L
PESO DEL RECIPIENTE (g)	70.94	105.59
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (g)	403.80	1474.50
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA (g)	389.44	1471.44
PESO DEL AGUA (g)	14.36	3.06
PESO SECO (g)	318.50	1365.85
% AGUA	4.51	0.22



Figura 11 Horno para el Contenido de Humedad

3.2. Producción del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE en la ciudad de Sangolquí.

Se prepararon un total de 64 cilindros y 32 vigas. Los cilindros se ensayaron transcurridos los 7, 14, 21 y 28 días después de la mezcla, lo que se pudo determinar la curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

Para la fabricación de los elementos de hormigón se utilizó moldes metálicos con dimensiones descritas anteriormente, son rígidas de manera que los esfuerzos que se producen al momento de la fundación no se deformen.

Se prepararon muestras para compresión cilindros, y vigas de según la norma ASTM C 31. Para las resistencias 21 MPa, 24 MPa, 28 MPa y 35 MPa.

Tabla 24

Diseño del hormigón

TIPO		DISPERSIÓN				CONSISTENCIA		
BOMBEABLE	1.00	SI	std	40.00	kg/cm2	ASENTAMIENTO	1.00	3-5cm.
Curvas de f'c vs relación a/c								
	2.00	NO	ACI	1.00			2.00	8-10cm
			TIPO I	2.00				
FACTOR B	1.00		ESPECIAL	3.00			3.00	15-18cm
OPCIÓN:	2.00		OPCION :	1.00		OPCIÓN No:	2.00	
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS						PROCEDENCIA		
		RIPIO	ARENA	CEMENTO	AGREGADOS			
Ge				3.15				
PUC (Kg/m³)	1307				CEMENTO			
PUS(kg/m³)	1258				ARENA	PINTAG		
T máx (pulg)	1.00				RIPIO	PINTAG		
Mf			2.9		ADITIVO			
%Ab	5.1		4.3					
%Hn	0.2		4.5					
Dsss (kg/m³)	2458		2377					
PUS(kg/m³)	1258		1627					
REQUERIMIENTO								a/c
f'c:	210.00		kg/cm2		f'cdis:	264	kg/cm2	0.52
RESULTADOS								
DOSIFICACION EN PESO								
	VOL SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.	
AGUA	51.7	gal.	51.7	gal.	72.0	gal.	62.2	gal.
CEMENTO	7.4	sacos	369.9	kg.	369.9	kg.	369.9	kg.
ARENA	0.3	m³	807.6	kg.	774.5	kg.	809.5	kg.
RIPIO	0.4	m³	902.3	kg.	858.5	kg.	860.5	kg.
TOTAL	1.02	m³	2 275.43		2 275.43		2 275.43	
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN					DOSIFICACIÓN EN PROPORCIÓN			DOSIF PARA PRUEBAS
AGUA	62.24	gal.	8.41	gal.	8.41	gal.	DE LABORATORIO	
CEMENTO	7.40	sacos	1.00	sacos	1.0	sacos	6.13	gal.
ARENA	0.50	m3	0.07	m3	1.9	pariguelas	36.43	kg.
RIPIO	0.68	m3	0.09	m3	2.6	pariguelas	79.72	kg.
							84.74	kg.
			PARIGUELAS DE :		0.33	largo	8CILINDROS	
					0.33	ancho	4 VIGAS	
					0.33	alto		
					0.04	m3		

En la hoja de cálculo se presenta una resistencia de 21MPa con una relación a/c de 0.52, con una dosificación en proporción de 1 saco de cemento, 1.9 de agregado fino, 2.6 de agregado grueso, las dosificaciones cambian de acuerdo a las diferentes resistencias de mezcla.



Figura 12 a- Moldes de Cilindros; b- Moldes de vigas



Figura 13 Material Utilizado a – cemento; b – arena



Figura 14 Colocación del hormigón en a – cilindros; b – vigas.

La mezcla se realizó con agregados finos y gruesos, Cemento Hidráulico Tipo GU de capacidad 50 Kg NTE INEN 2380, estos elementos fueron compactados en dos capas lo cual se vibró debido el asentamiento de 2.5- 5, y una sola capa para las vigas, las cuales fueron compactadas con vibrador de hormigón y finalmente alisados en su parte superior.

3.2.1. Curado y ensayos de compresión simple.

Los cilindros y vigas fueron ensayados bajo las siguientes normas:

- Norma ASTM C 1064. Método de ensayo estándar para la medición de temperatura del hormigón de cemento hidráulico recién mezclado
- Norma ASTM C 143 Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el hormigón a base de cemento hidráulico.
- Norma ASTM C 469 Módulo de Elasticidad.
- Norma ASTM C78 flexión.

Se colocaron todas las muestras en la cámara de curado a 23 grados centígrados lo que nos permite determinar la variación de la resistencia por efecto de la fibra de vidrio. La fibra de vidrio se colocó el 1 % en función del peso del cemento.

Según (Follis, Lubari , Nicolai, & Pepe, 2002) para hormigones con fibra de vidrio comercial pueden ser incorporadas entre el 0.1% y el 5% en función del peso del cemento, en donde el incremento de la resistencia del hormigón es de 20-50%.

Tabla 25

Número de muestras realizadas y ensayadas.

MUESTRAS	SIN FIBRA	CON FIBRA
CILINDROS	32	32
VIGAS	16	16
TOTAL	48	48



C



Figura 15 a – Control de la temperatura; b – Revenimiento de la mezcla; c - Cilindro terminado.

3.2.2. Ensayo de compresión en cilindros de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

Se realiza el ensayo a los 7, 14, 21,28 días de edad, utilizando la Norma ASTM C39 Ensayos de compresión simple.

Tabla 26 Hoja del ensayo de compresión

Muestra	Fecha	Fecha	Peso	Dimensiones		Área	Volumen	Peso	Resistencia		Edad
			de la probeta	Altura	Diámetro	Probeta	Probeta	volumétrico	Carga	Compresión	
No.	vaciado	rotura	(g)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ³)	(g/cm ³)	(Kg)	MPa	(Días)
1	2014-11-05	2014-11-12	12006	30.50	15.20	181.5	5534.48	2.169	23110	12.74	7
2	2014-11-05	2014-11-12	12353	30.60	15.42	186.7	5714.52	2.162	26760	14.33	7
3	2014-11-05	2014-11-19	11726	30.20	15.00	176.7	5336.78	2.197	32430	18.35	14
4	2014-11-05	2014-11-19	12005	30.20	15.20	181.5	5480.04	2.191	32910	18.14	14
5	2014-11-05	2014-11-26	12195	30.40	15.10	179.1	5443.99	2.240	34480	19.25	21
6	2014-11-05	2014-11-26	12375	30.70	15.20	181.5	5570.77	2.221	34330	18.92	21
7	2014-11-05	2014-12-03	12183	30.60	15.2	181.5	5552.63	2.194	39991	22.04	28
8	2014-11-05	2014-12-03	12056	30.30	15.1	179.1	5426.08	2.222	39507	22.06	28

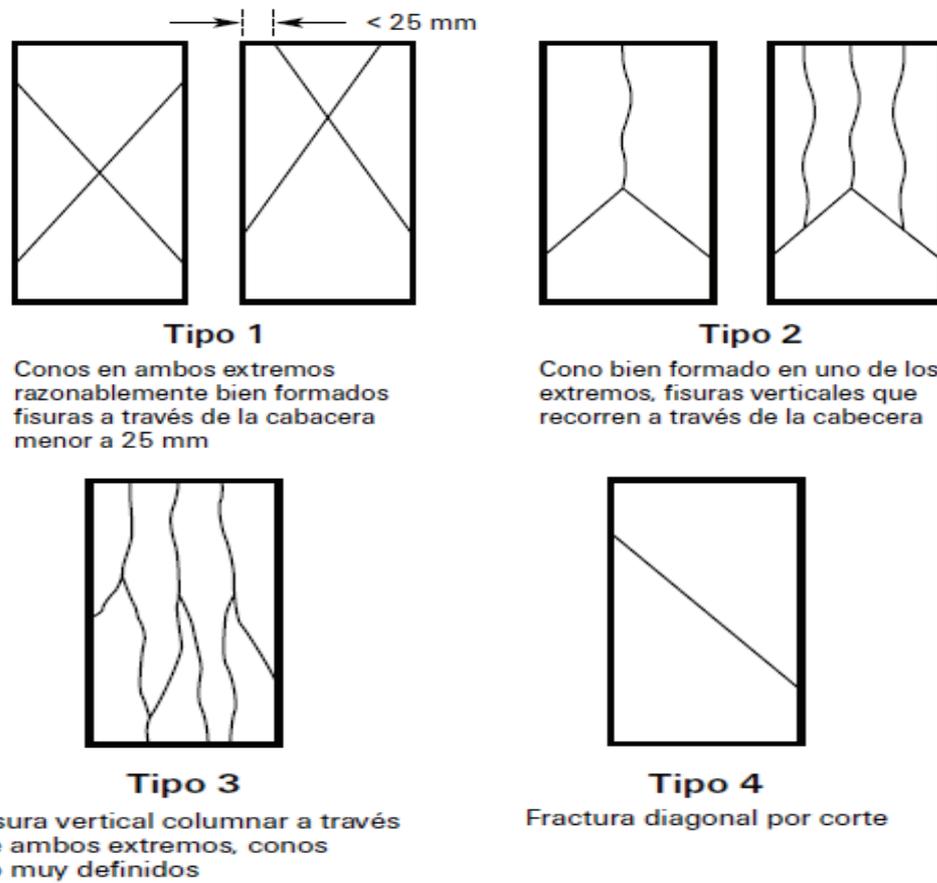


Figura 16 Tipos de falla

(Niño Hernández, 2010).

La falla más común encontrada en el ensayo a compresión simple es de fractura diagonal por corte, corte y cono; se presenta por las irregularidades de la superficie del cilindro.



Figura 17 a - Máquina de compresión simple; b - cilindro, c -Ensayo de compresión de cilindros de hormigón.

3.2.3. Ensayo a flexión en vigas de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

a



b



c



d



Figura 18 a - Máquina de flexión; b – cilindros y vigas preparadas; c – medición de muestras, d – viga con fibra de vidrio ensayada.

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Análisis de resultados del Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

Las dosificaciones fueron realizadas para las resistencias de 21MPa, 24Mpa, 28MPa, 35 MPa. Sin y con fibra de vidrio reciclada.

4.1.1. Análisis de esfuerzo a compresión en cilindros de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

Tabla 27

Resistencia a compresión $f'c=21$ MPa.

RESISTENCIA $f'c=21$ MPa A COMPRESIÓN		
TIEMPO (Días)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
0	0	0
7	11.36	13.53
14	17.28	18.24
21	18.24	19.09
28	21.18	22.05

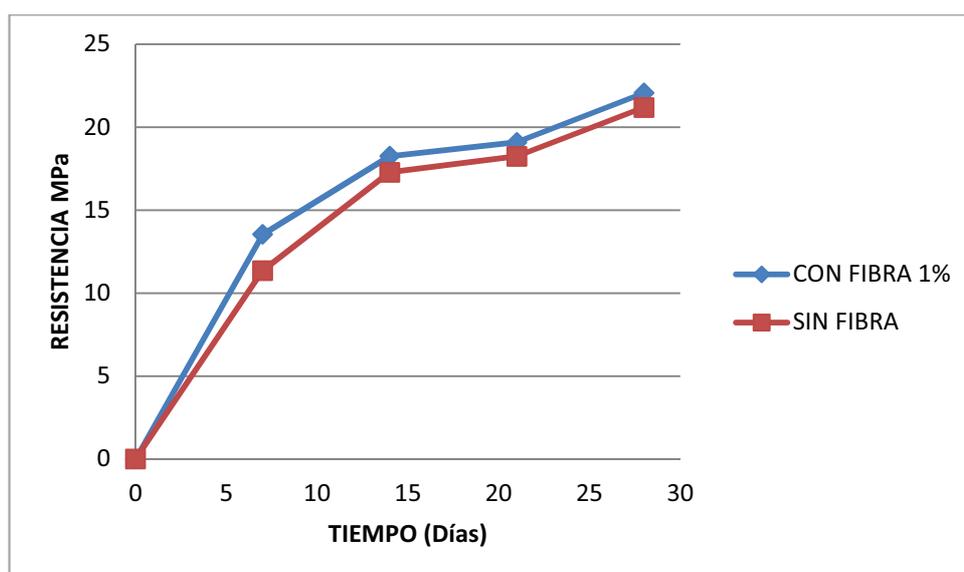


Figura 19 Resistencia a compresión $f'c=21$ MPa.

Tabla 28

Resistencia a compresión $f'c = 24$ MPa.

RESISTENCIA $f'c=24$ MPa A COMPRESIÓN		
TIEMPO Días	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
0	0	0
7	12.62	15.03
14	16.88	19.66
21	22.69	25.73
28	24.10	26.69

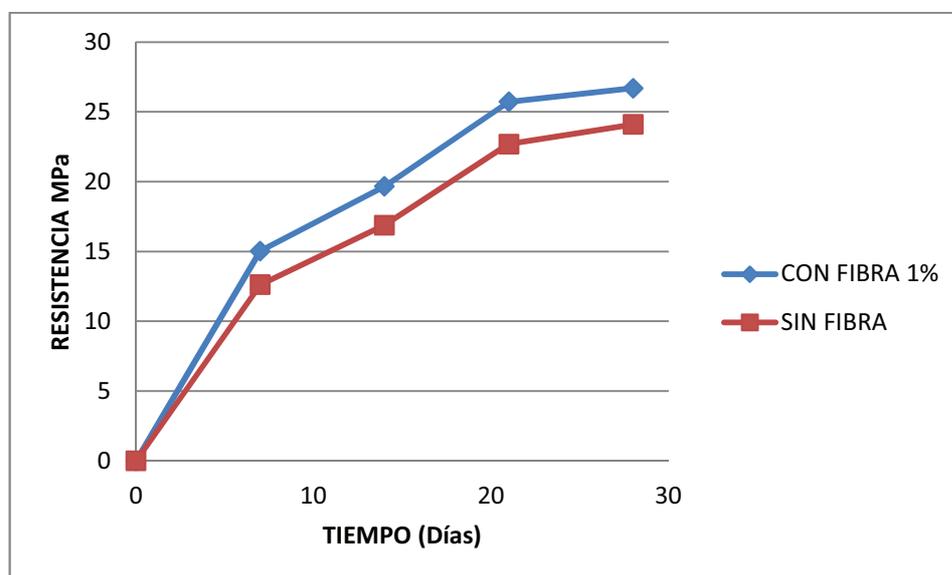
Figura 20 Resistencia a compresión $f'c = 24$ MPa.

Tabla 29

Resistencia a compresión $f'c = 28$ MPa.

RESISTENCIA $f'c=28$ MPa A COMPRESIÓN		
TIEMPO (Días)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
0	0	0
7	18.81	22.14
14	23.17	30.32
21	26.88	33.26
28	29.79	35.85

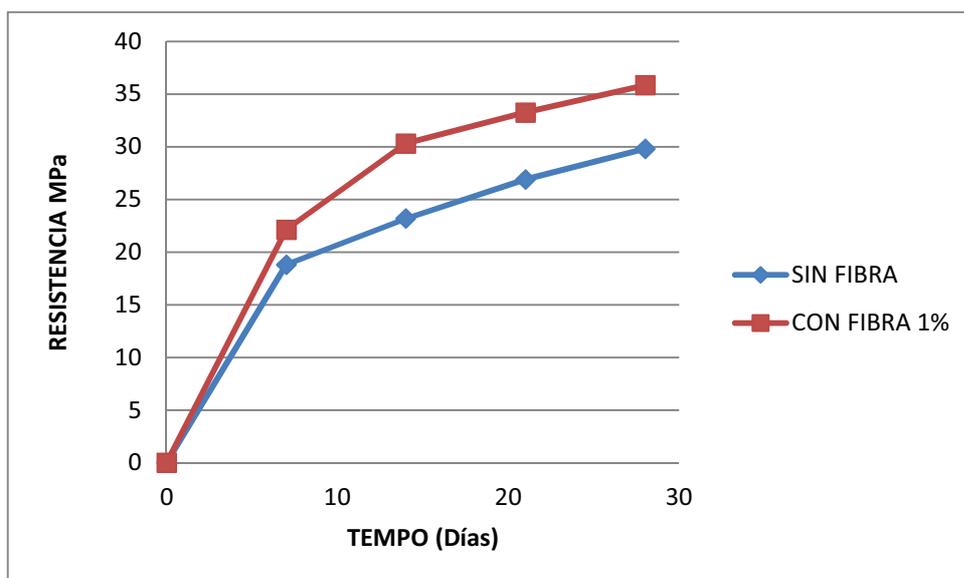


Figura 21 Resistencia a compresión $f'_c = 28$ MPa.

Tabla 30

Resistencia a compresión $f'_c = 35$ MPa.

RESISTENCIA $f'_c = 35$ MPa A LA COMPRESIÓN		
TIEMPO (Días)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
0	0	0.00
7	26.09	33.20
14	32.81	38.30
21	36.14	43.11
28	38.86	45.56

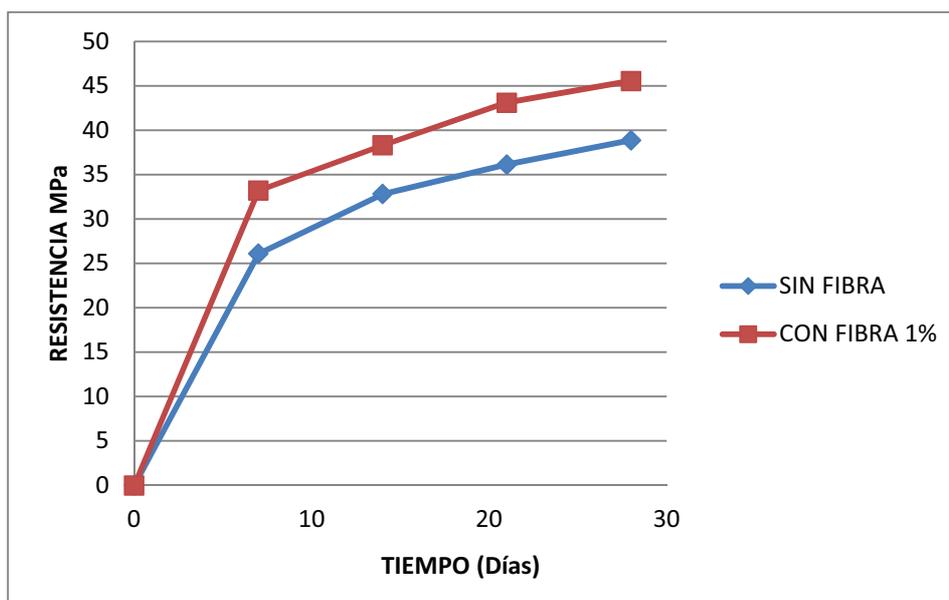


Figura 22 Resistencia a compresión $f'_c = 35$ MPa.

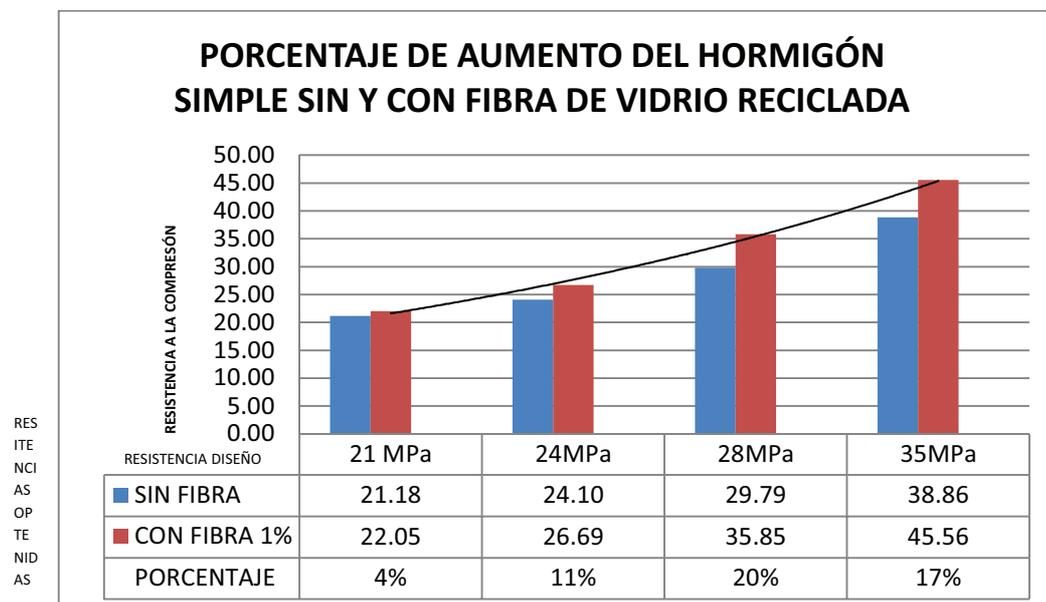
4.1.2. Porcentaje de aumento en relación al hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

Tabla 31

Porcentaje de aumento del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

PORCENTAJE DE AUMENTO A LOS 28 DÍAS			
RESISTENCIA (MPa)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)	PORCENTAJE (%)
0	0	0	0
21	21.18	22.05	4%
24	24.10	26.69	11%
28	29.79	35.85	20%
35	38.86	45.56	17%

a



b

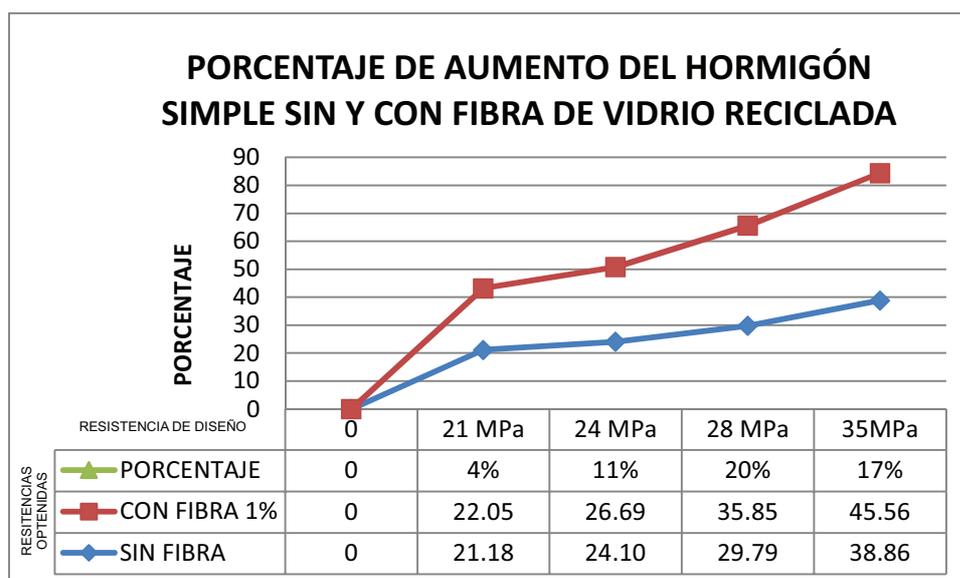


Figura 23 a –b Porcentaje de aumento del hormigón simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

Con la inclusión del 1% de fibra de vidrio reciclada colocada en la mezcla de hormigón se determinó que el esfuerzo a compresión simple, se incrementó en un 4% para 21MPa, 11% para 24 MPa, 20% para 28 MPa, 17% para 35 MPa.

4.2. Análisis del módulo de elasticidad del hormigón sin y con fibra de vidrio reciclada.

Tabla 32

Módulo de elasticidad $f'c= 35 \text{ MPa}$ Sin fibra.

H =	30.40	Cm
Área =	181.46	cm ²
D=	15.20	Cm

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
1X10 ⁻⁴ "	KG	MPa	mm	mm / mm
0	601	0.33	0	0.00000
5	3450	1.90	0.01270	0.00004
10	5430	2.99	0.02540	0.00008
15	7590	4.18	0.03810	0.00013
20	9010	4.97	0.05080	0.00017
25	11230	6.19	0.06350	0.00021
30	13310	7.34	0.07620	0.00025
35	14720	8.11	0.08890	0.00029
40	16790	9.25	0.10160	0.00033
45	18820	10.37	0.11430	0.00038
50	20530	11.31	0.12700	0.00042
60	23910	13.18	0.15240	0.00050
70	27450	15.13	0.17780	0.00058
80	30000	16.53	0.20320	0.00067
Rotura / Carga Máxima 40% 15.82	71755	39.54		

$$\sigma_1 = 2.12 \text{ MPa} \qquad \epsilon_1 = 0.000050 \text{ (mm/mm)}$$

$$\sigma_2 = 15.82 \text{ MPa} \qquad \epsilon_2 = 0.000626 \text{ (mm/mm)}$$

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{15.82 - 2.12(\text{MPa})}{0.000623 - 0.000050\left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$E_c = 23792 \text{ MPa}$$

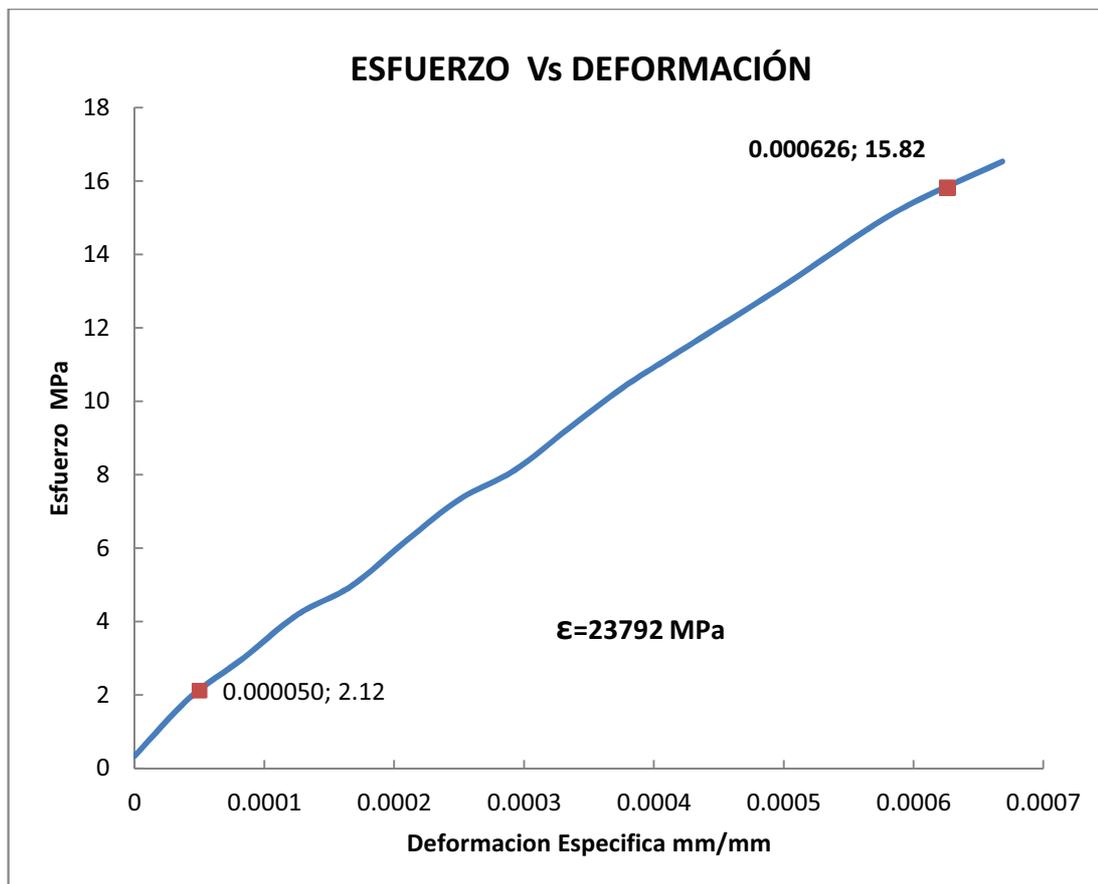


Figura 24 Módulo de elasticidad $f'_c = 35$ MPa Sin fibra.

Tabla 33

Módulo de elasticidad $f'c = 35 \text{ MPa}$ Con fibra.

H =	30.50	cm
Área =	183.85	cm ²
D =	15.30	cm

	DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
	$1 \times 10^{-4} \text{ ''}$	KG	MPa	mm	mm / mm
	0	549	0.30	0	0.00000
	5	4280	2.33	0.01270	0.00004
	10	6420	3.49	0.02540	0.00008
	15	8520	4.63	0.03810	0.00012
	20	10580	5.75	0.05080	0.00017
	25	12390	6.74	0.06350	0.00021
	30	14720	8.01	0.07620	0.00025
	35	16380	8.91	0.08890	0.00029
	40	18340	9.98	0.10160	0.00033
	45	20410	11.10	0.11430	0.00037
	50	22380	12.17	0.12700	0.00042
	60	25850	14.06	0.15240	0.00050
	70	29610	16.11	0.17780	0.00058
	80	33123	18.02	0.20320	0.00067
Rotura		81758	44.47		
40%			17.79		

$\sigma_1 =$	2.56	MPa	$\epsilon_1 =$	0.000050	(mm/mm)
$\sigma_2 =$	17.79	MPa	$\epsilon_2 =$	0.000656	(mm/mm)

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{17.79 - 2.56(\text{MPa})}{0.000656 - 0.000050 \left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$E_c = 25114 \text{ MPa}$$

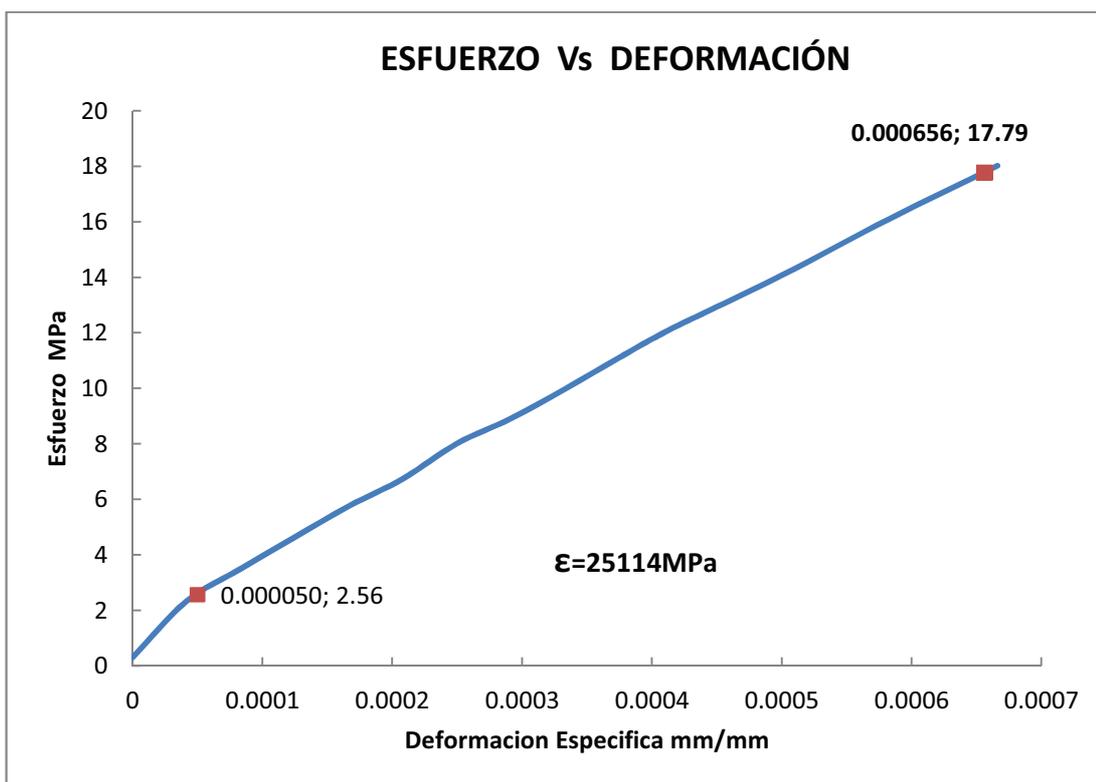


Figura 25 Módulo de elasticidad $f'c=35$ MPa Con fibra.

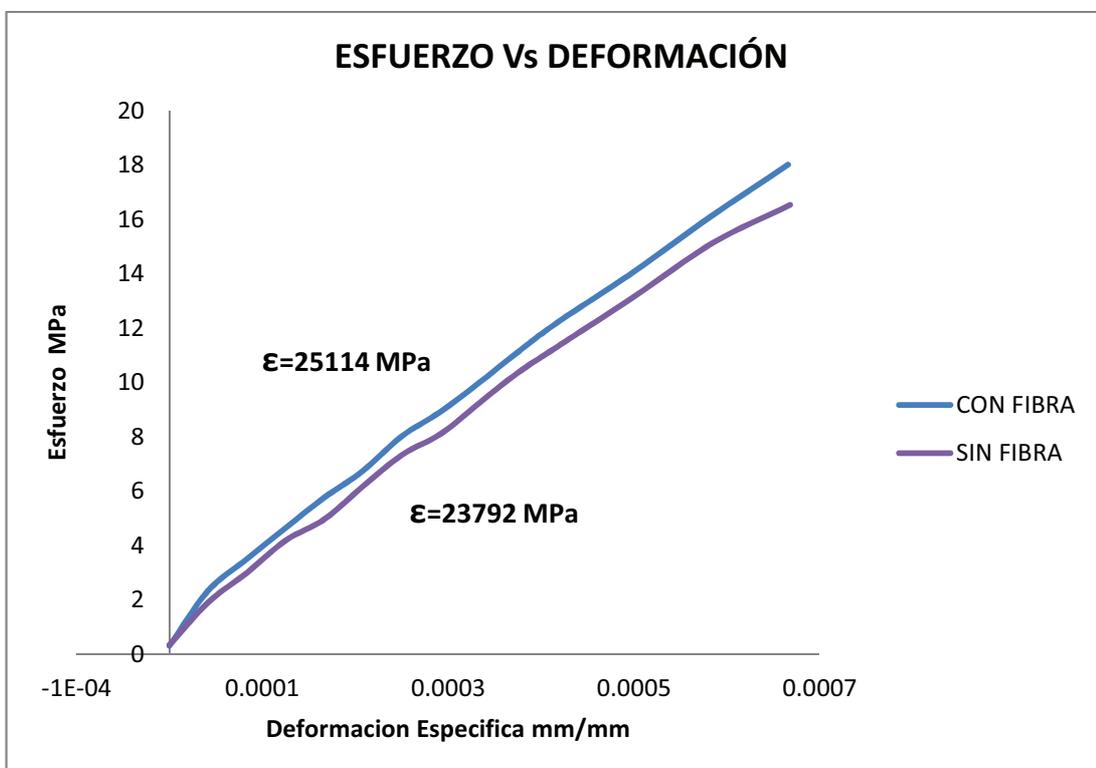


Tabla 34

Módulo de elasticidad $f'c = 28 \text{ MPa Sin fibra}$.

H =	30.00	cm
Área =	179.08	cm ²
D =	15.10	cm

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
$1 \times 10^{-4} \text{ ''}$	KG	MPa	mm	mm / mm
0	483	0.27	0	0.00000
5	2340	1.31	0.01270	0.00004
10	4400	2.46	0.02540	0.00008
15	6461	3.61	0.03810	0.00013
20	8290	4.63	0.05080	0.00017
25	9990	5.58	0.06350	0.00021
30	11560	6.46	0.07620	0.00025
35	13360	7.46	0.08890	0.00030
40	14990	8.37	0.10160	0.00034
45	16440	9.18	0.11430	0.00038
50	17890	9.99	0.12700	0.00042
60	20950	11.70	0.15240	0.00051
70	23780	13.28	0.17780	0.00059
80	26360	14.72	0.20320	0.00068
90	28950	16.17	0.22860	0.00076
100	31250	17.45	0.25400	0.00085
120	34137	19.06	0.30480	0.00102
Rotura	56718	31.67		
40%		12.67		

$\sigma_1 =$	1.52	MPa	$\epsilon_1 =$	0.00005	(mm/mm)
$\sigma_2 =$	12.67	MPa	$\epsilon_2 =$	0.000560	(mm/mm)

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{12.67 - 1.52 \text{ (MPa)}}{0.000560 - 0.00005 \left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$E_c = 21871 \text{ MPa}$$

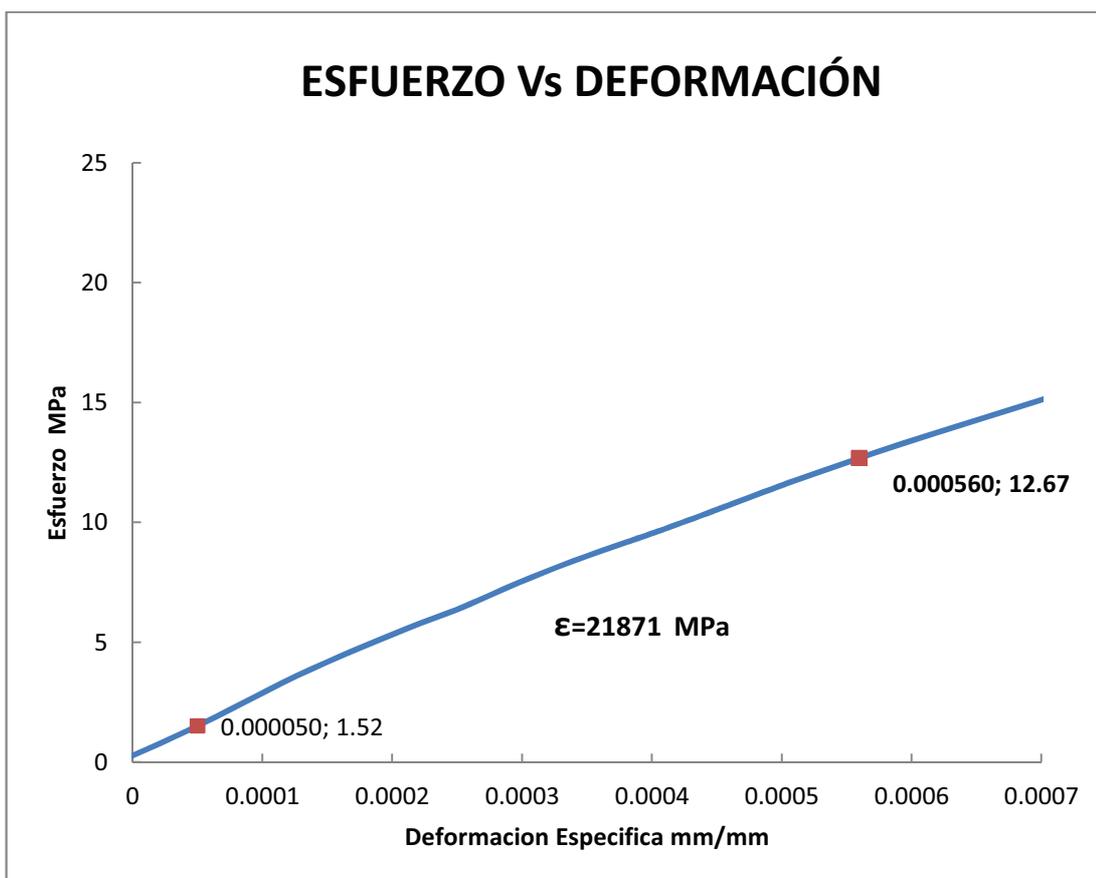


Figura 26 Módulo de elasticidad $f'c= 28$ MPa Sin fibra.

Tabla 35

Módulo de elasticidad $f'c = 28 \text{ MPa}$ Con fibra.

H =	30.40	cm
Área =	181.46	cm ²
D=	15.20	cm

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
$1 \times 10^{-4} \text{ ''}$	KG	MPa	mm	mm / mm
0	592	0.33	0	0.00000
5	2308	1.27	0.01270	0.00004
10	4920	2.71	0.02540	0.00008
15	7030	3.87	0.03810	0.00013
20	8910	4.91	0.05080	0.00017
25	10720	5.91	0.06350	0.00021
30	12650	6.97	0.07620	0.00025
35	14420	7.95	0.08890	0.00029
40	16650	9.18	0.10160	0.00033
45	18410	10.15	0.11430	0.00038
50	19980	11.01	0.12700	0.00042
60	23520	12.96	0.15240	0.00050
70	26250	14.47	0.17780	0.00058
80	29830	16.44	0.20320	0.00067
90	32420	17.87	0.22860	0.00075
Rotura	67914	37.43		
40%		14.97		

$\sigma_1 =$	1.56	MPa	$\epsilon_1 =$	0.000050	(mm/mm)
$\sigma_2 =$	14.97	MPa	$\epsilon_2 =$	0.000606	(mm/mm)

$$\epsilon_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{14.97 - 1.56 \text{ (MPa)}}{0.000606 - 0.000050 \left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$E_c = 24118 \text{ MPa}$$

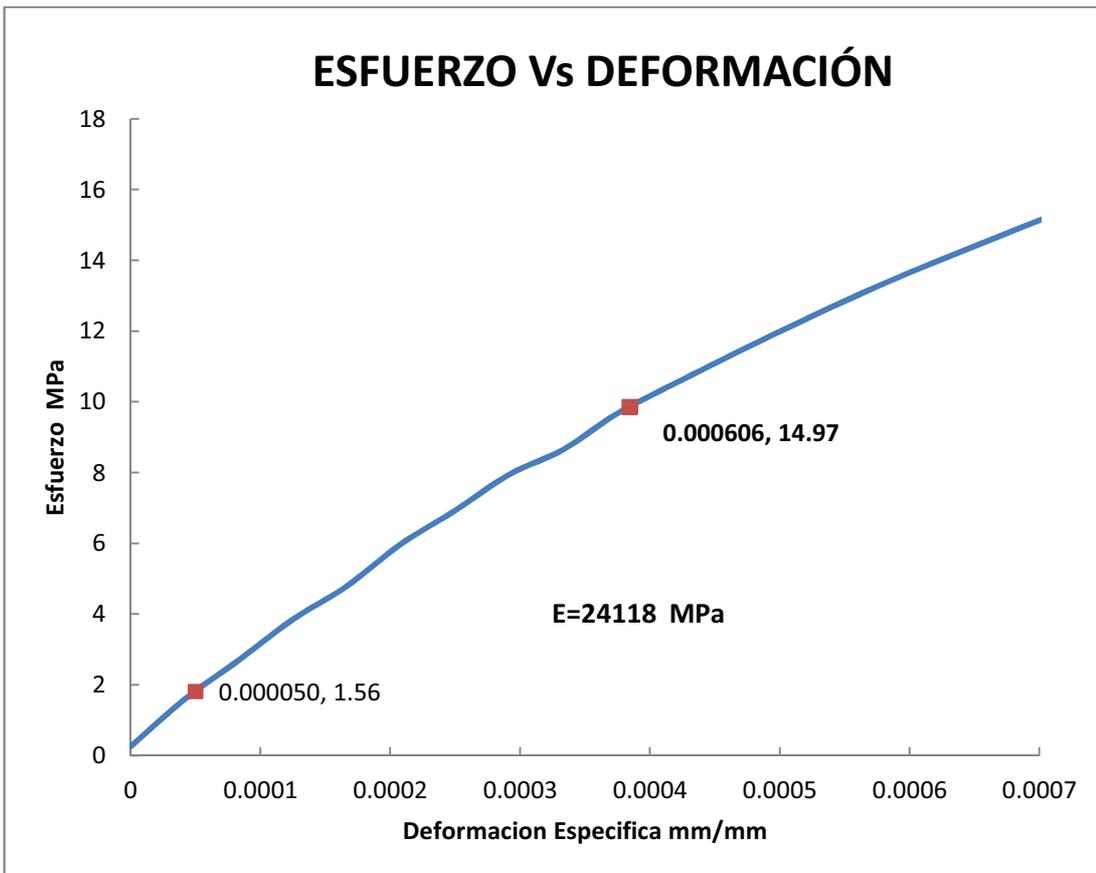


Figura 27 Módulo de elasticidad $f'c = 28$ MPa Con fibra.

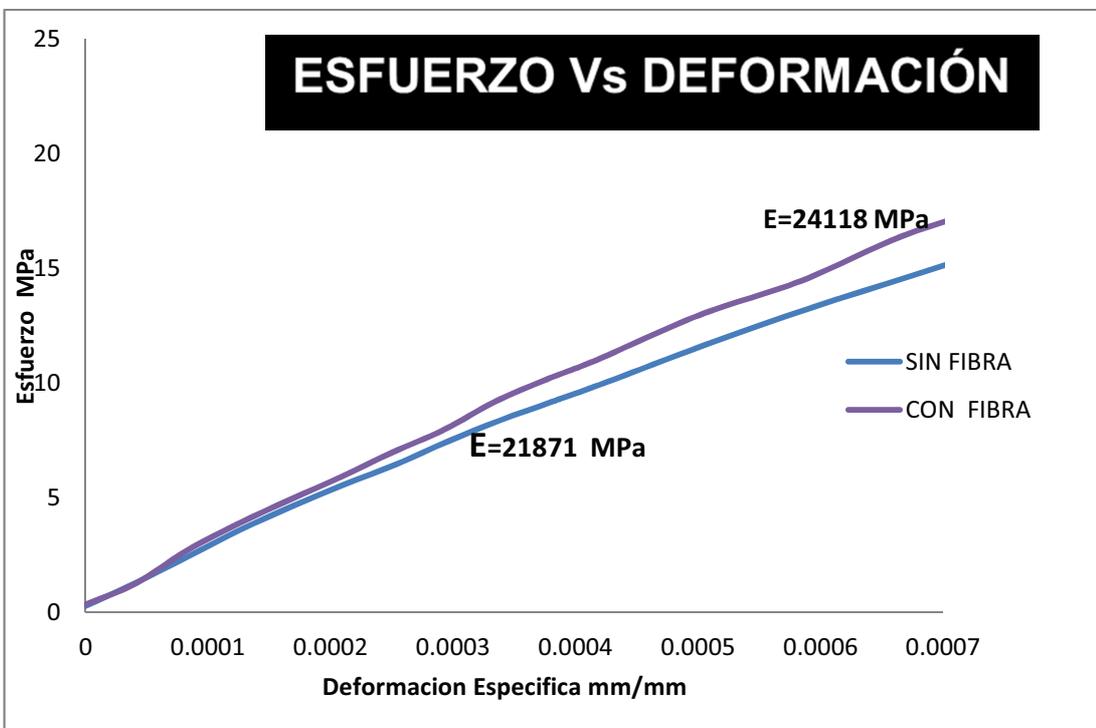


Tabla 36

Módulo de elasticidad $f'c = 24 \text{ MPa}$ Sin fibra.

H =	30.50	cm
Área =	181.46	cm ²
D =	15.20	cm

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
$1 \times 10^{-4} \text{ ''}$	KG	Mpa	mm	mm / mm
0	469	0.26	0	0.00000
5	2890	1.59	0.01270	0.00004
10	4890	2.69	0.02540	0.00008
15	6980	3.85	0.03810	0.00012
20	8690	4.79	0.05080	0.00017
25	10850	5.98	0.06350	0.00021
30	12560	6.92	0.07620	0.00025
35	14410	7.94	0.08890	0.00029
40	15690	8.65	0.10160	0.00033
45	17540	9.67	0.11430	0.00037
50	18990	10.47	0.12700	0.00042
60	21740	11.98	0.15240	0.00050
70	24290	13.39	0.17780	0.00058
80	26560	14.64	0.20320	0.00067
90	28730	15.83	0.22860	0.00075
Rotura	44701	24.63		
40%		9.85		

$\sigma_1 =$	1.81	MPa	$\epsilon_1 =$	0.000050	(mm/mm)
$\sigma_2 =$	9.85	MPa	$\epsilon_2 =$	0.000385	(mm/mm)

$$\epsilon_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{9.85 - 1.81(\text{MPa})}{0.000385 - 0.00005\left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$E_c = 24033 \text{ MPa}$$

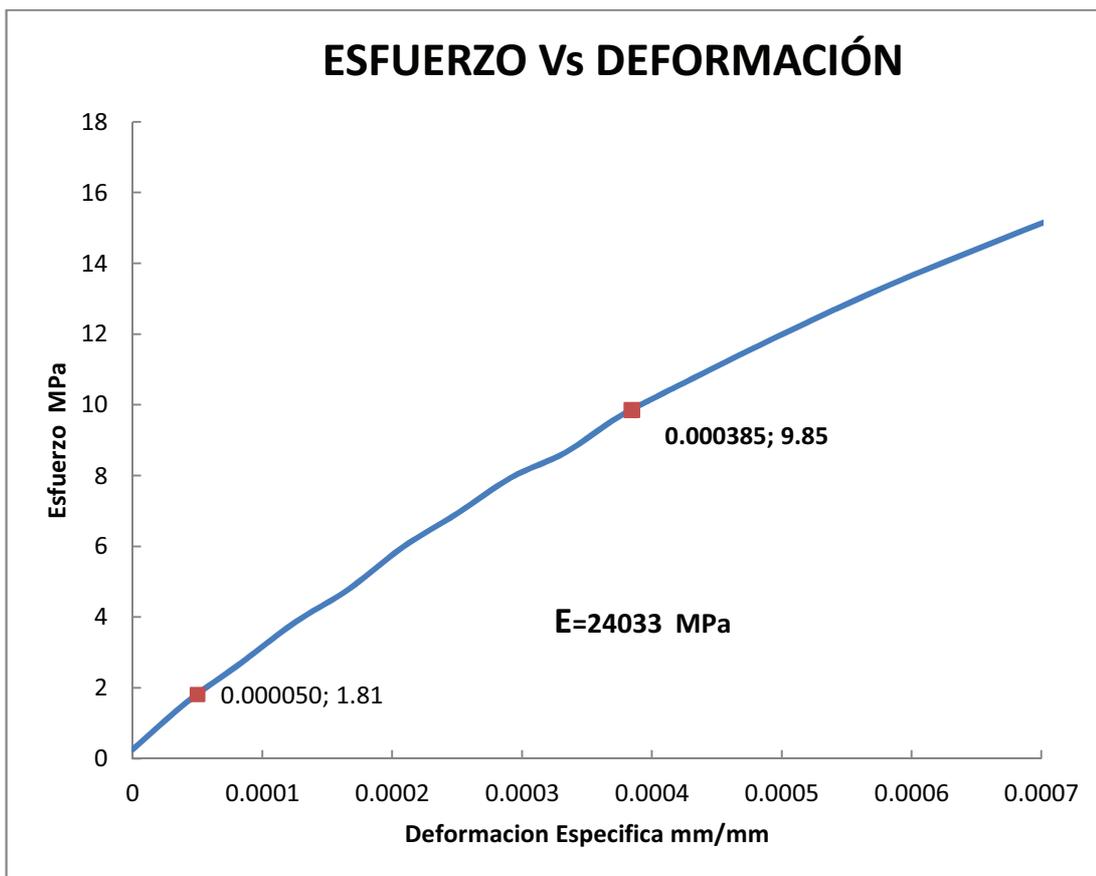


Figura 28 Módulo de elasticidad $f'_c=24$ MPa Sin fibra.

Tabla 37

Módulo de elasticidad $f'c = 24 \text{ MPa}$ Con fibra.

H =	30.20	cm
Área =	176.71	cm ²
D=	15.00	cm

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
1X10 ⁻⁴ "	KG	MPa	mm	mm / mm
0	467	0.26	0	0.00000
5	2540	1.44	0.01270	0.00004
10	4930	2.79	0.02540	0.00008
15	6950	3.93	0.03810	0.00013
20	8630	4.88	0.05080	0.00017
25	10450	5.91	0.06350	0.00021
30	12220	6.92	0.07620	0.00025
35	13850	7.84	0.08890	0.00029
40	15460	8.75	0.10160	0.00034
45	16820	9.52	0.11430	0.00038
50	18850	10.67	0.12700	0.00042
60	24430	13.82	0.15240	0.00050
70	26430	14.96	0.17780	0.00059
80	30864	17.47	0.20320	0.00067
Rotura	48127	27.23		
40%		10.89		

$\sigma_1 =$	1.69	MPa	$\epsilon_1 =$	0.000050	(mm/mm)
$\sigma_2 =$	10.89	MPa	$\epsilon_2 =$	0.000427	(mm/mm)

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{10.89 - 1.69(\text{MPa})}{0.000427 - 0.000050\left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$\epsilon_c = 24433 \text{ MPa}$$

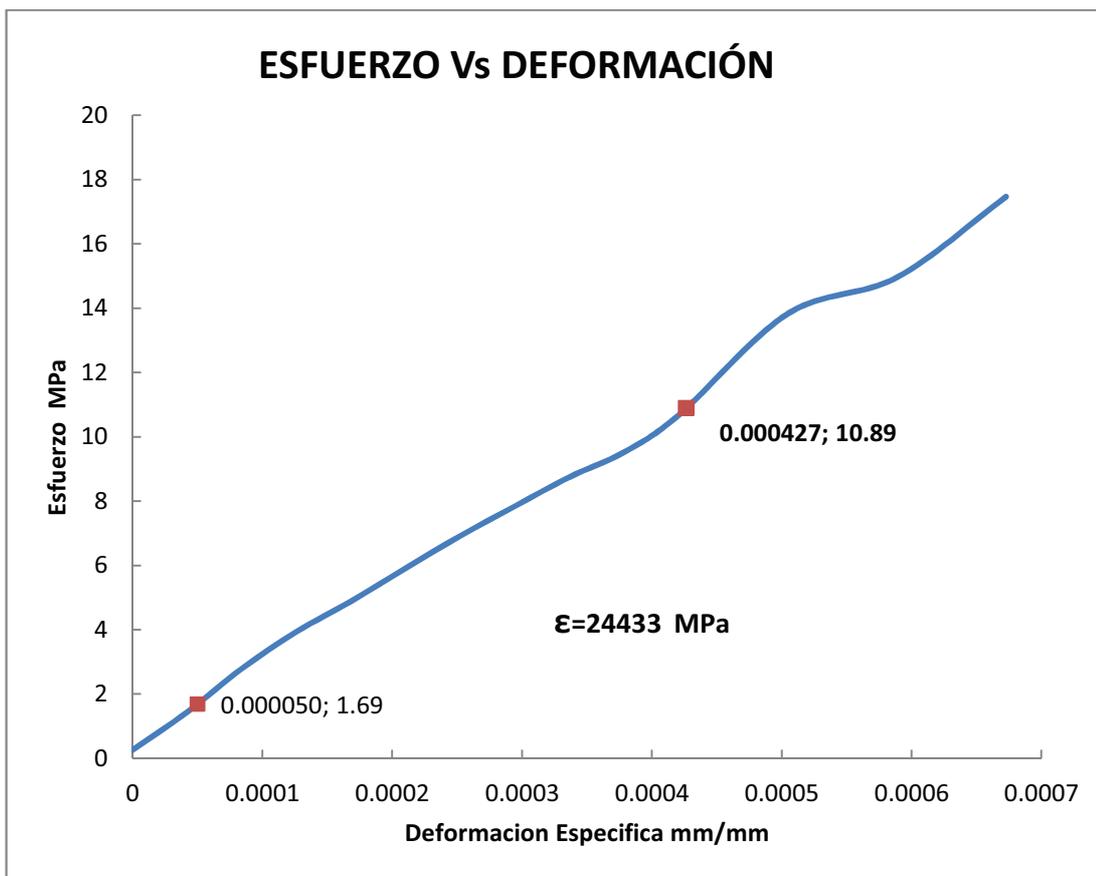


Figura 29 Módulo de elasticidad $f'c=24$ MPa Con fibra.

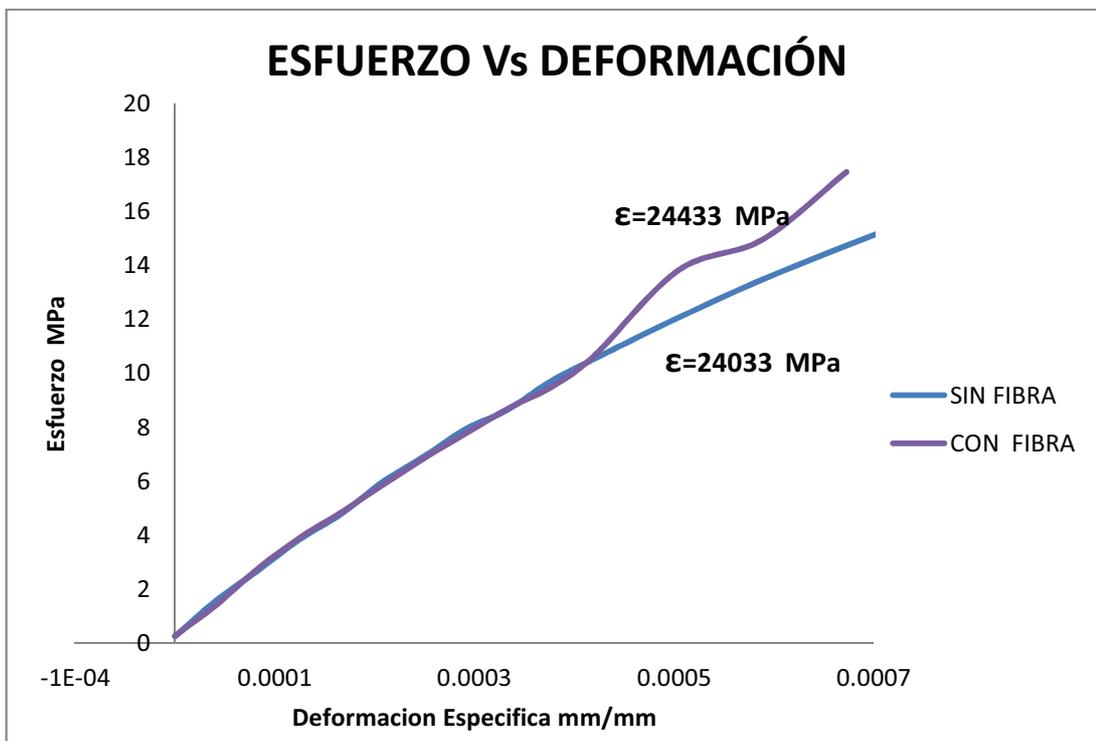


Tabla 38

Módulo de elasticidad $f'c = 21 \text{ MPa}$ Con fibra.

H =	30.30	cm
Área =	183.85	cm ²
D	15.30	cm

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
1X10 ⁻⁴ "	KG	Mpa	mm	mm / mm
0	500	0.27	0	0.00000
5	3690	2.01	0.01270	0.00004
10	5620	3.06	0.02540	0.00008
15	7810	4.25	0.03810	0.00013
20	9910	5.39	0.05080	0.00017
25	11650	6.34	0.06350	0.00021
30	13610	7.40	0.07620	0.00025
35	15750	8.57	0.08890	0.00029
40	17390	9.46	0.10160	0.00034
45	19350	10.52	0.11430	0.00038
50	20340	11.06	0.12700	0.00042
60	23630	12.85	0.15240	0.00050
70	26540	14.44	0.17780	0.00059
80	29000	15.77	0.20320	0.00067
90	31170	16.95	0.22860	0.00075
100	32100	17.46	0.25400	0.00084
120	35900	19.53	0.30480	0.00101
Rotura	37987	20.66		
40%		8.26		

$\sigma_1 =$	2.21	Mpa	$\epsilon_1 =$	0.000050	(mm/mm)
$\sigma_2 =$	8.26	Mpa	$\epsilon_2 =$	0.000283	(mm/mm)

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{8.26 - 2.21 \text{ (MPa)}}{0.000283 - 0.00005 \left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$E_c = 26040 \text{ MPa}$$

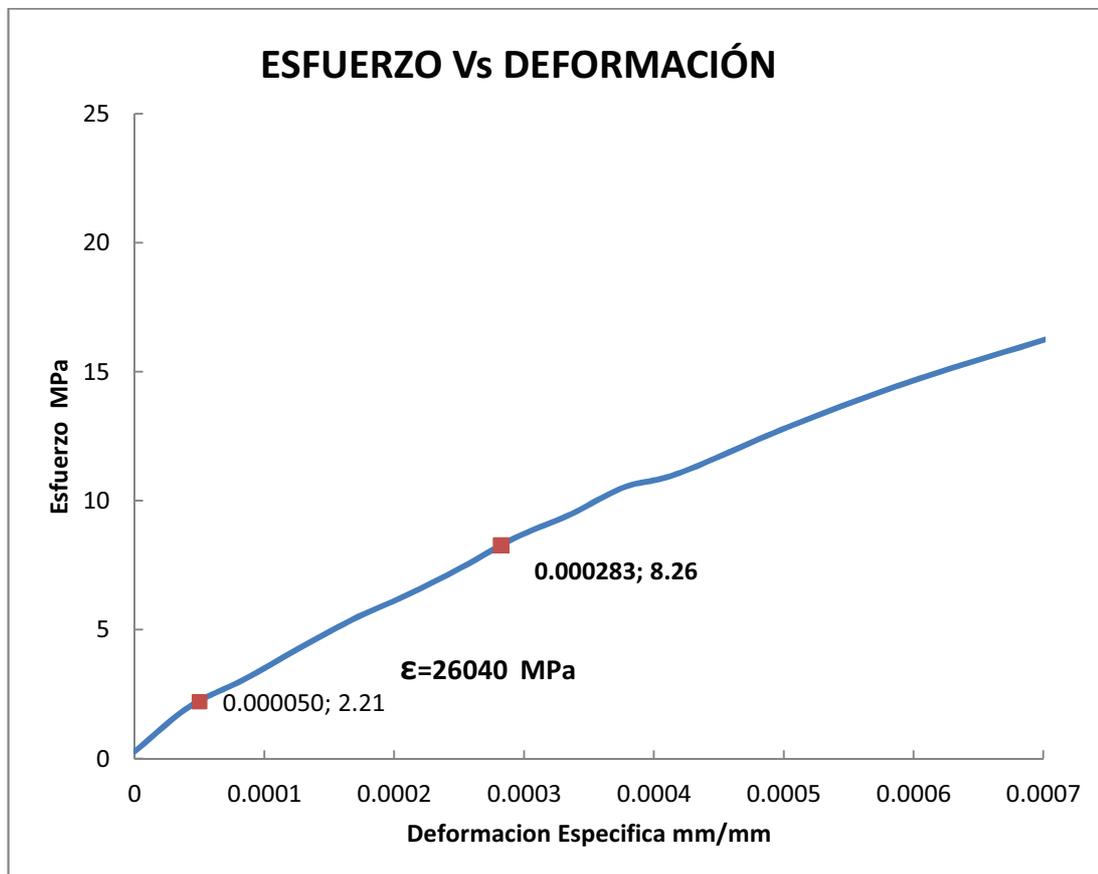


Figura 30 Módulo de elasticidad $f'c = 21$ MPa Con fibra.

Tabla 39

Módulo de elasticidad $F'c = 21 \text{ MPa Sin fibra}$

H =	30.60	cm
Área =	181.46	cm ²
D =	15.20	cm

DEFORMACIÓN	Carga	Esfuerzo	Deformaciones	ϵ
$1 \times 10^{-4} \text{ ''}$	KG	MPa	mm	mm / mm
0	487	0.27	0	0.00000
5	2345	1.29	0.01270	0.00004
10	4610	2.54	0.02540	0.00008
15	6680	3.68	0.03810	0.00012
20	8630	4.76	0.05080	0.00017
25	10490	5.78	0.06350	0.00021
30	11940	6.58	0.07620	0.00025
35	13490	7.43	0.08890	0.00029
40	15380	8.48	0.10160	0.00033
45	17109	9.43	0.11430	0.00037
50	18430	10.16	0.12700	0.00042
60	21230	11.70	0.15240	0.00050
70	23950	13.20	0.17780	0.00058
80	26380	14.54	0.20320	0.00066
90	28650	15.79	0.22860	0.00075
100	30120	16.60	0.25400	0.00083
120	35260	19.43	0.30480	0.00100
140	39450	21.74	0.35560	0.00116
160	41220	22.72	0.40640	0.00133
Rotura	39991	22.04		
40%		8.82		

$\sigma_1 =$	1.55	MPa	$\epsilon_1 =$	0.000050	(mm/mm)
$\sigma_2 =$	8.82	MPa	$\epsilon_2 =$	0.000347	(mm/mm)

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E_c = \frac{8.82 - 1.55 \text{ (MPa)}}{0.000347 - 0.000050 \left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}}\right)}$$

$$E_c = 24485 \text{ MPa}$$

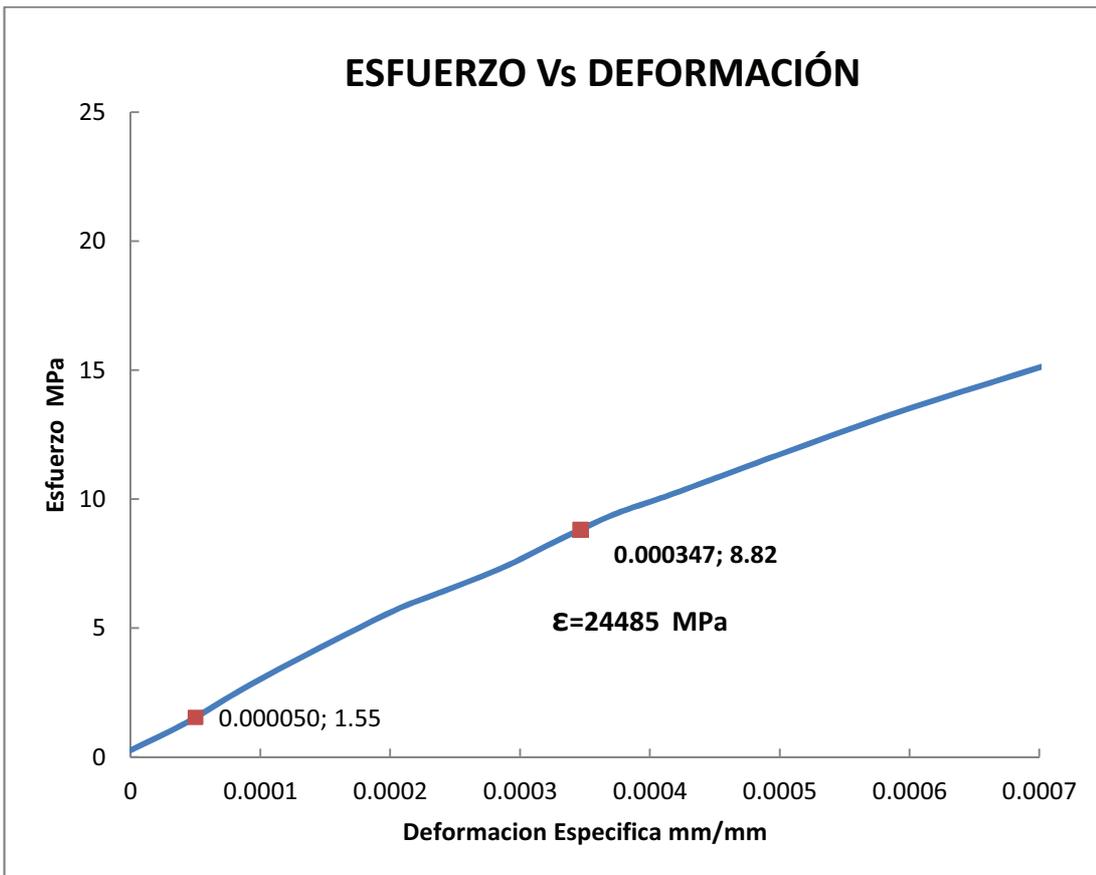


Figura 31 Módulo de elasticidad $f'c= 21 \text{ MPa}$ Sin fibra.

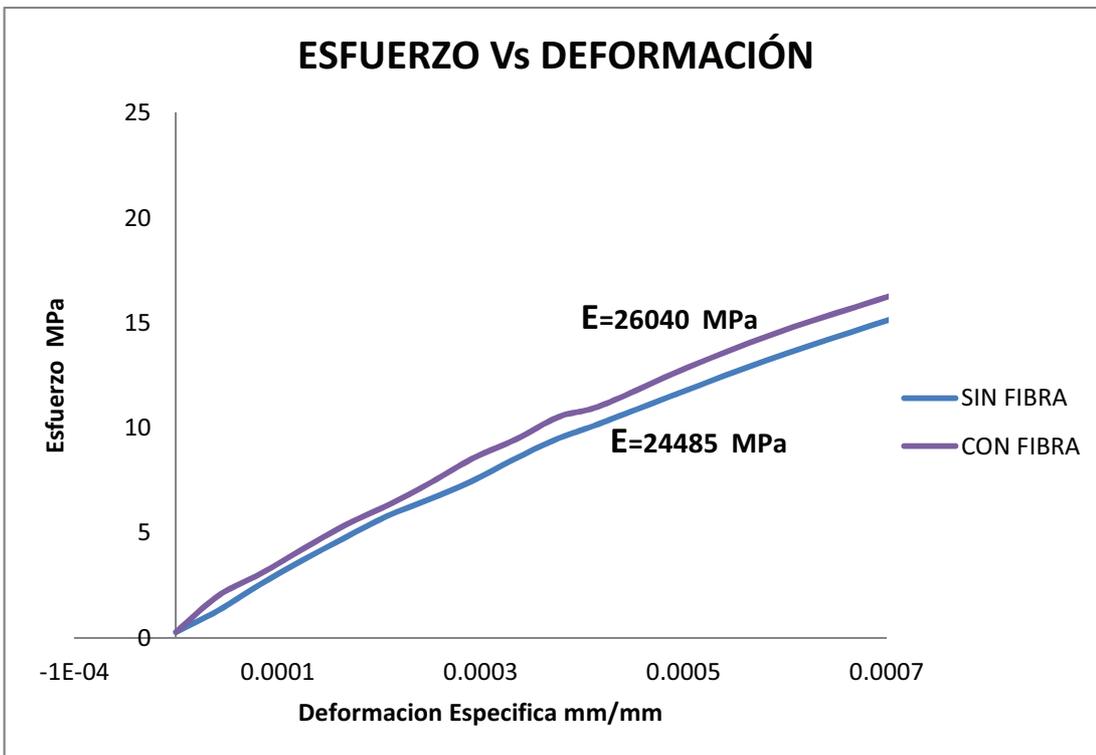
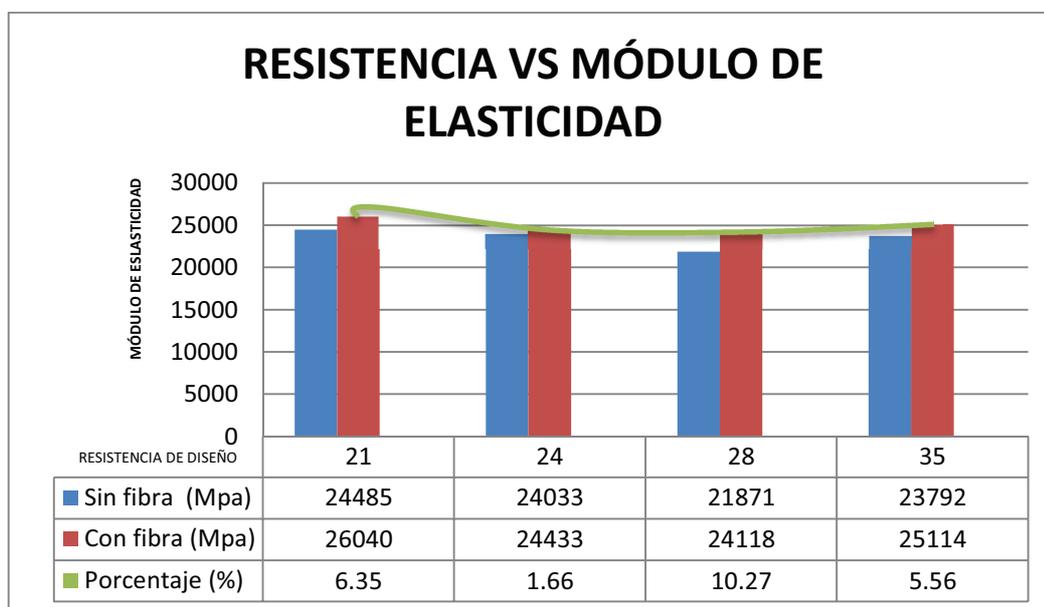


Tabla 40

Comparación del Módulo de Elasticidad de las diferentes resistencias.

Resistencias Obtenidas			
RESISTENCIA DE DISEÑO (MPa)	Sin fibra (MPa)	Con fibra (MPa)	Porcentaje (%)
0	0	0	0
21	24485	26040	6.35
24	24033	24433	1.66
28	21871	24118	10.27
35	23792	25114	5.56



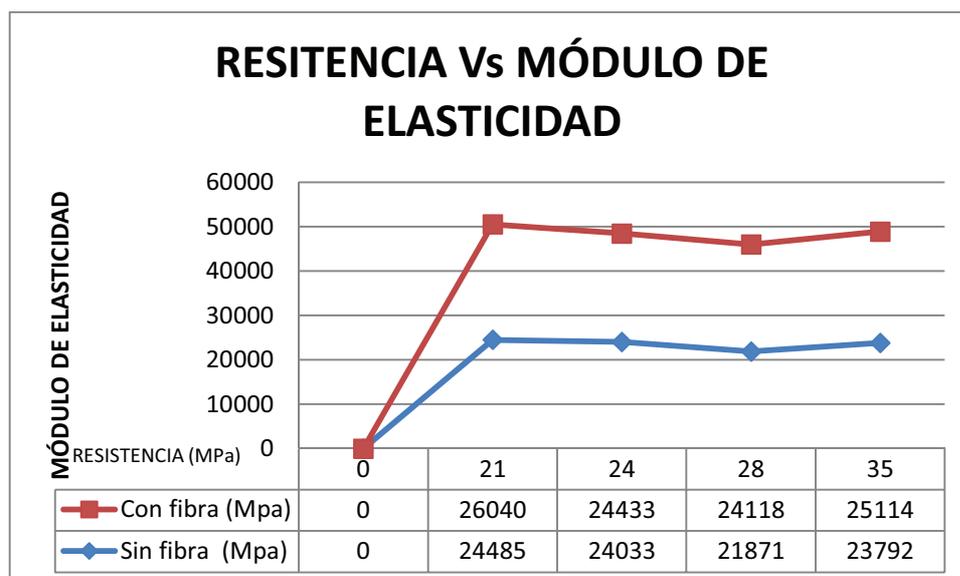


Figura 32 Comparación del Módulo de Elasticidad de las diferentes resistencias.

En la Figura 32, se presenta los valores de módulo de elasticidad del hormigón con el 1% de la fibra de vidrio reciclada, aumenta en un porcentaje de 6.35% para 21 MPa, 1.66% para 24 MPa, 10.27 % para 28 MPa, y 5.56% para 35 MPa.

4.3. Análisis a flexión en vigas de Hormigón Simple sin y con fibra de vidrio reciclada.

Tabla 41

Resistencia $f'c=21$ MPa a Flexión

RESISTENCIA $f'c= 21$ MPa A FLEXIÓN		
TIEMPO (Días)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
7	2.18	2.21
14	3.96	4.11
21	4.15	4.29
28	4.16	4.76

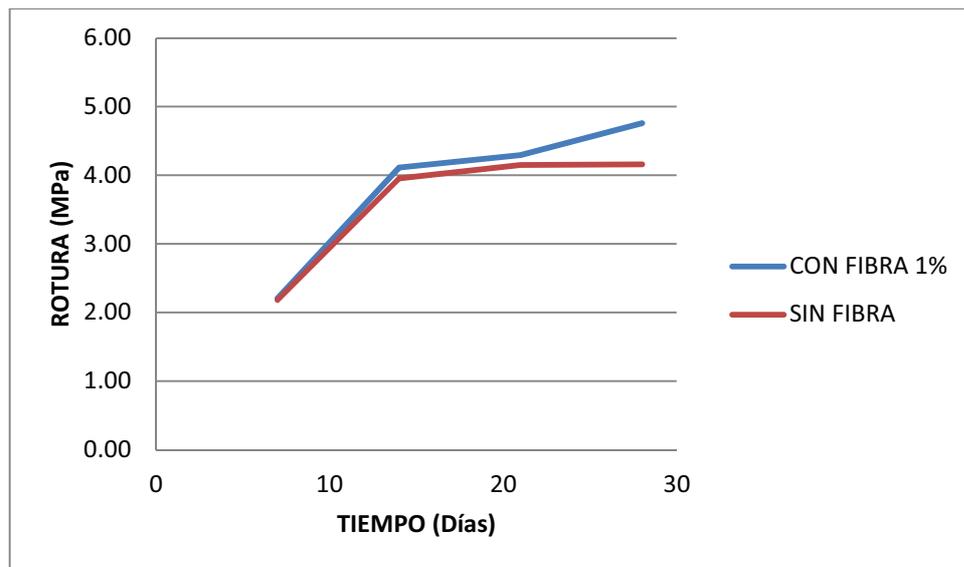
Figura 33 Resistencia $f'c=21$ MPa a Flexión.

Tabla 42

Resistencia $f'c=24$ MPa a Flexión

RESISTENCIA $f'c= 24$ MPa A FLEXIÓN		
TIEMPO (Días)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
7	3.64	3.71
14	4.13	4.29
21	4.37	4.70
28	4.59	5.20

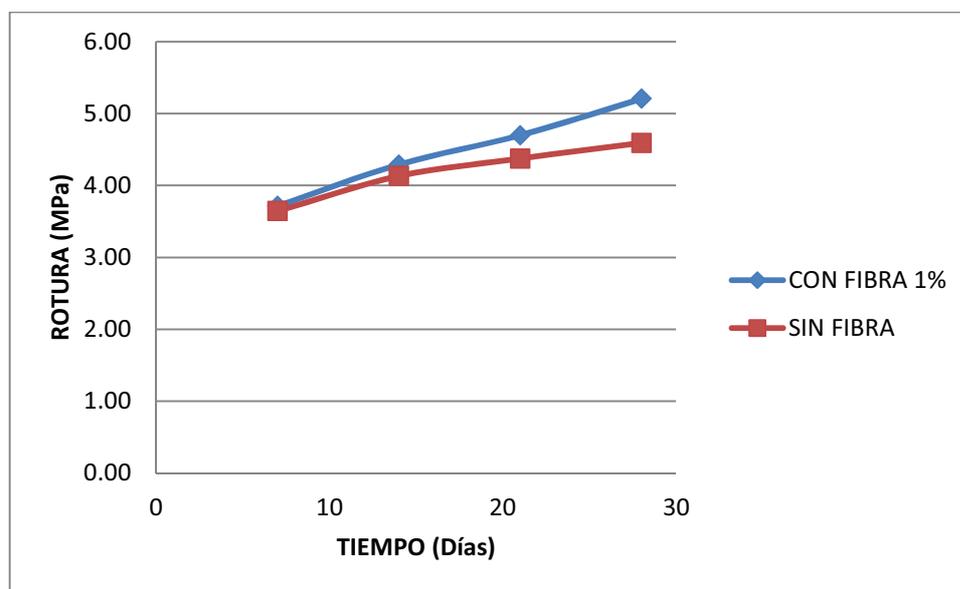
Figura 34 Resistencia $f'c=24$ MPa a Flexión.

Tabla 43

Resistencia $f'c=28$ MPa a Flexión

RESISTENCIA $f'c= 28$ MPa A FLEXIÓN		
TIEMPO (Días)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
7	3.38	4.15
14	4.48	5.20
21	4.61	6.00
28	4.81	6.16

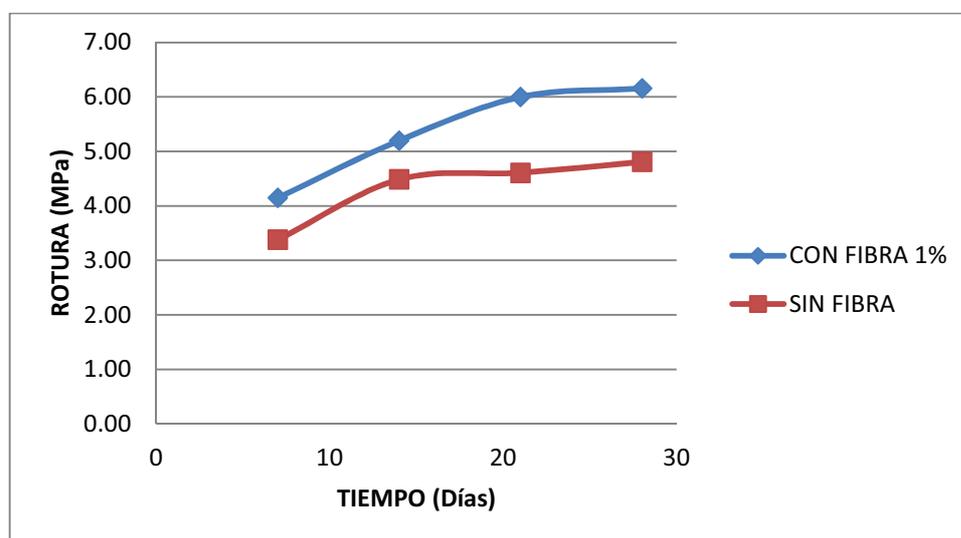
Figura 35 Resistencia $f'c=28$ MPa a Flexión

Tabla 44

Resistencia $f'c=35$ MPa a Flexión

RESISTENCIA $f'c=35$ MPa A FLEXIÓN		
TIEMPO (Días)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)
7	4.11	4.28
14	5.10	5.36
21	5.10	5.43
28	4.94	5.44

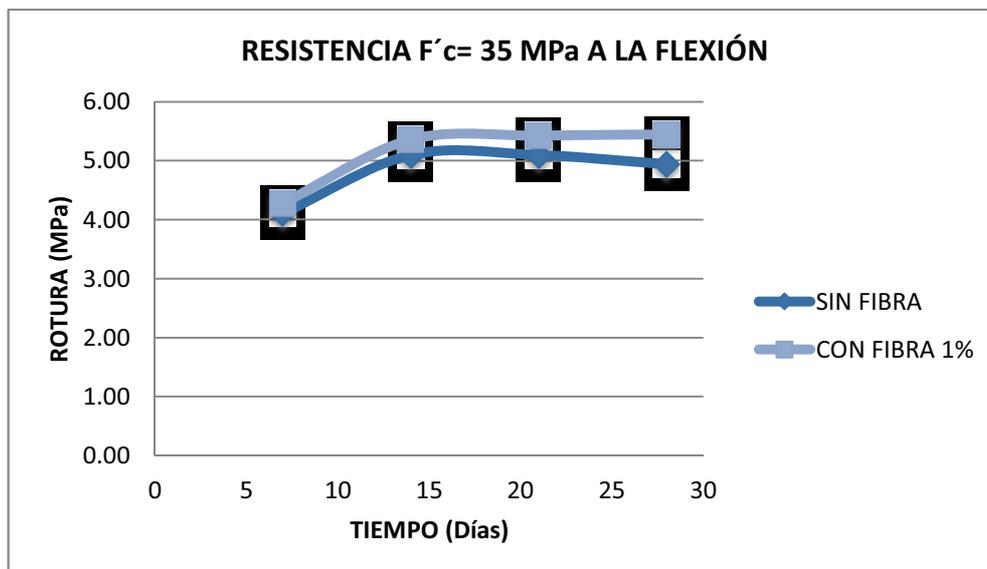
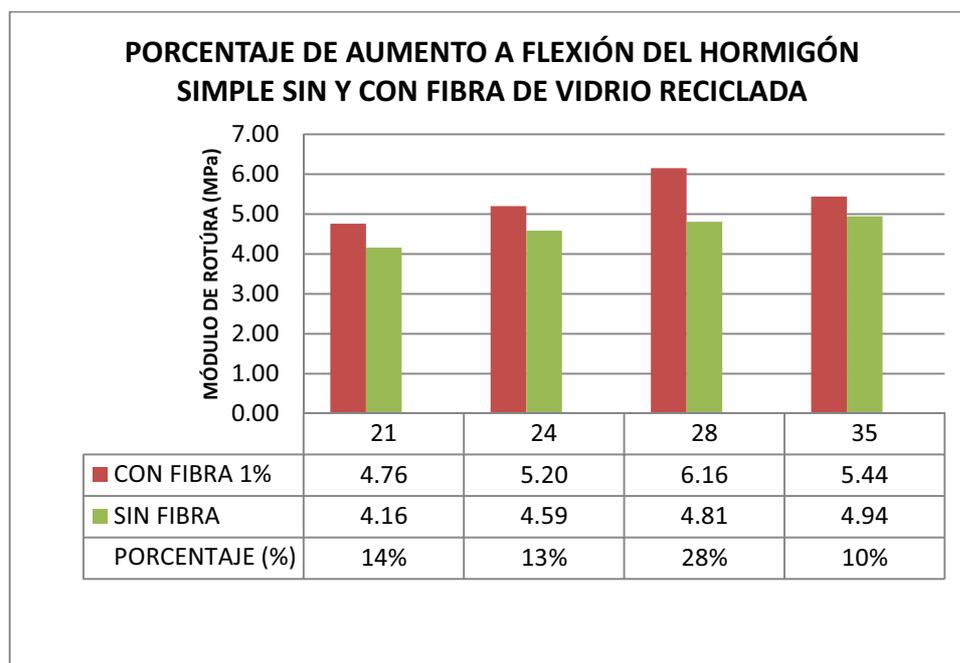


Figura 36 Resistencia $f'c=35$ MPa a Flexión

Tabla 45

Análisis de flexión a los 28 días

PORCENTAJE DE AUMENTO DEL HORMIGÓN SIMPLE A LOS 28 DÍAS			
RESISTENCIA (Mpa)	SIN FIBRA (MPa)	CON FIBRA (MPa)	PORCENTAJE (%)
0	0	0	0
21	4.16	4.76	14%
24	4.59	5.20	13%
28	4.81	6.16	28%
35	4.94	5.44	10%



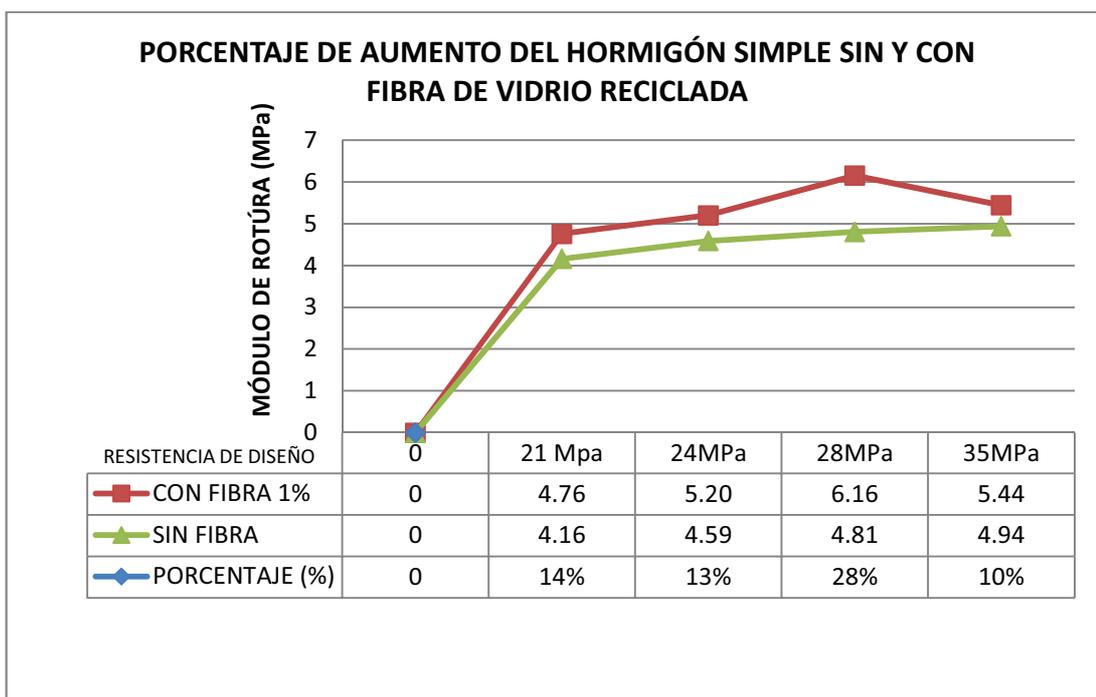


Figura 37 Análisis de flexión a los 28 días

Con la inclusión del 1% de la fibra de vidrio reciclada colocada en la mezcla de hormigón Simple, se incrementó en un 14% para 21MPa, 13% para 24 MPa, 28% para 28 MPa, 10% para 35 MPa.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las fibras de vidrio reciclado producen un incremento a la compresión de hasta en un 20% de la resistencia de diseño.
- Las fibras de vidrio recicladas, producen un incremento del módulo de elasticidad de hasta un 10.27% en comparación con el hormigón, los cuales son aplicables estructuralmente.
- Las fibras de vidrio recicladas, producen un incremento a la flexión de hasta un 28% lo que le hace a la estructura más flexible y ayuda a que no se destruyan completamente.
- Las fibras de vidrio recicladas son muy económicas con referencia a las comerciales lo que quiere decir que la producción del Hormigón es ecológico y durable.
- La resistencia a corte de los hormigones con fibra de vidrio reciclada permiten un comportamiento dúctil de las estructuras y disminuyen los daños sobre las mismas.
- Finalmente podemos concluir que los hormigones con fibras de vidrio reciclada, pueden trabajar estructuralmente, pero no sustituye a ningún elemento convencional en la mayoría de sus aplicaciones.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda en esta investigación se continúe utilizando diferentes resistencia e incrementar el porcentaje de fibra de vidrio reciclada.
- Con esta investigación, es necesario mencionar que la implementación de hormigones reciclados en el país es una propuesta innovadora y eficaz para construcciones.
- La fibra de vidrio reciclada se deberían utilizar más cada día debido a las ventajas que ofrecen para su aplicación como el aislante, reducción de agrietamientos y el incremento de la resistencia.

Bibliografía

- Alatorre González, J. (1998). MEZCLA DE HORMIGONES. *IMCYC*, 70-75.
- Carrasco, I. M. (2009). *Tecnología del hormigón* (Primera Edición ed.). Santa Fe: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe.
- CIVIL, C. (10 de 04 de 2010). *MÓDULO DE ELASTICIDAD*. Recuperado el 10 de 03 de 2015, de <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/concreto-modulo-de-elasticidad.html>
- Clark, M. (2012). *AMERICAN CONCRETE INSTITUTE*. MICHIGAN.
- CLARK, M. (2012). *AMERICAN CONCRETE INSTITUTE*. MICHIGAN.
- Follis, M., Lubari, J., Nicolai, M., & Pepe, O. (LUNES de AGOSTO de 2002). *FCEIA*. Recuperado el VIERNES de FEBREO de 2015, de FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA U.N.R: <http://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/02.02.01-Hormigon%20con%20fibra%20de%20vidrio.pdf>
- Galloway. (1994). Civil. En Galloway, *Civil* (pág. 3). Madrid: Antares.
- Gomez, J. (1978). ACI 318 CÓDIGO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO. MEDELLIN ICP. *CÓDIGO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO*, 198.
- Hale, S. (2012). *Tecnico de ensayo de áridos y hormigon en laboratorio -Grado I*. Michigan : American Concrete Institute.
- Hidalgo, D. (25 de 05 de 2014). *wiki*. Obtenido de wikipedia: «http://es.wikipedia.org/wiki/Lana_de_vidrio»
- ING. Gomezjurado Sarria, J. (1978). ACI 318 CÓDIGO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO. MEDELLIN ICP. *CÓDIGO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO*, 198.
- Koch, M., & Lupton, D. (18 de Abril de 2013). *textos científicos*. Recuperado el Lunes de Marzo de 2015, de wikipedia.org: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- Kosmatka, S. K. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Hormigón*. Illinois.
- Legg. (1998). Civil. En Civil, *Civil* (pág. 2). España: Editores .
- León, M. (2010). Clasificación De Los Agregados. *Ingeniería de la Construcción*, 215-240.
- Melter, N. (2010). Prevencion y Control Integrados de la Contaminacion (IPPC). *Documento de referencia de mejores técnicas disponibles en la industria de fabricación de vidrio*, 5-15.

Moreira de Souza, Thomaz Ripper, V. C. (2009). *PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE HORMIGÓN*.

Niño Hernández, I. (2010). *Tecnología del concreto*. Colombia: Asocreto.

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN694, 2. (2010). Hormigón y Áridos Para Elaborar Hormigón. Terminología. *Norma tecnica*.

Norma técnica ecuatoriana, I. 6. (2010). *Hormigón y Áridos Para Elaborar Hormigón. Terminología*. Quito: NTE.

Rivera, I. G. (2009). *1- Materiales Coglomerantes*. Recuperado el 16 de 08 de 2013, de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2001%20-%20Materiales%20conglomerantes.pdf>

Roncero, J. (2010). *Manual de Tecnología de Aditivos para Hormigón*. España: ACHE(Asociación Científico- Técnica del Hormigón E).

Sánchez de Guzmán, D. (1987). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogotá.

SANCHÉZ DE GUZMÁN, D. (1987). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. . Bogotá.

Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del hormigón y del mortero* (5 Edición ed.). Santafé de Bogotá D.C- Colombia: Bradar Editores Ltda.

Sandino, A. (1984). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogota : Asocreto.

Shilstone. (1999). Civil. En Civil, *Civil* (pág. 34). Quito: Antares.