

**MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL
CONCRETO CON ADICIÓN DE VIRUTA DE ACERO CON
PORCENTAJES DE 6, 8, 10, 12% Y 14% RESPECTO AL AGREGADO
FINO DE LA MEZCLA.**

**RAFAEL ANDRES DELGADO RUGELES
EDGAR DARIO DELGADO RUGELES**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

**MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL
CONCRETO CON ADICIÓN DE VIRUTA DE ACERO CON
PORCENTAJES DE 6, 8, 10, 12% Y 14% RESPECTO AL AGREGADO
FINO DE LA MEZCLA.**

**RAFAEL ANDRÉS DELGADO RUGELES
EDGAR DARIO DELGADO RUGELES**

**Tesis de grado como requisito para optar
al título de Ingenieros Civiles**

**Director:
CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS
M.I.C. Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Agosto de 2008.

Todo el arrojo y la pasión por la ingeniería civil está plasmado en este trabajo, esto se lo dedico a DIOS por la fortaleza en mi vida, a mis padres por su entrega, sacrificio y dedicación en busca de este triunfo, a mi hijo JUAN ANDRES que es el motor y combustible de mi vida, a mi esposa que es mi apoyo, mi amiga y complemento para emprender en busca de mis metas, a mi hermano por la ayuda y constancia por lograr este objetivo y al resto de mi familia que de una u otra forma me colaboraron a lo largo de mi carrera esperando siempre este momento.

Rafael Andrés

Este trabajo lo dedico primero a Dios creador y generador de mis triunfos, a sus enviados Divinos mis padres los cuales sembraron en mi valores que hoy se ven reflejados, a ellos les dedico este tan importante éxito con mi corazón les digo mil gracias y LOS AMO, padres por hacer de mi un profesional, gracias por su apoyo, amor, amistad y correcciones en su momento, a mi hermano por su amistad, apoyo y comprensión en mis momentos difíciles, y a la luz y alegría de mi familia a mi sobrino JUAN ANDRES que es un motivo más de vida por el cual lucharé para que toda su vida se sienta orgulloso del tío Tataum.

A mis abuelos y abuela que gracias a Dios aún me acompañan para compartir este triunfo junto a ellos, a mis tíos y tías, primos y a toda mi familia los cuales se que compartieran conmigo esta alegría a todos mis amigos por su acompañamiento y a todas aquellas personas que no creyeron que esto lo pudiera cumplir junto a mi trabajo, se los dedico de corazón y les digo que las metas hay que cumplirlas y para esto se requiere de sacrificio, corazón y ganas de salir adelante.

Edgar Dario

AGRADECIMIENTOS

Mediante estas palabras los autores de este libro expresan sus agradecimientos a:

La Ingeniera Civil Claudia Patricia Retamoso Llamas, Directora de este trabajo de grado por su aporte intelectual y personal, además de su apoyo moral, colaboración, amistad brindada y a la cual se debe gran parte de los conocimientos adquiridos en el tiempo en que se llevó a cabo este proyecto.

A los ingenieros Rafael Ortiz Pérez, Piedad Eliana Lizcano Amorocho, a los señores Helí Rueda y Vicente Páez, por sus enseñanzas y conocimientos adquiridos en el área de la ingeniería civil y las cuales fueron base para emprender este reto.

A la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga por ser el campus de estudio, muy apreciado por los autores y cuna del conocimiento adquirido en la formación profesional.

A la empresa PREVESA ya que suministraron las mezclas de concreto para realizar esta investigación.

A la empresa TRANSEJES quienes apoyaron en este proyecto aportando la viruta de acero que fue tomada como nuevo aditivo para el concreto.

A los amigos y compañeros quienes con su apoyo moral y amistad hicieron que las vidas de los autores en la universidad se hicieran tanto agradables como llenas de experiencias de vida.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
1. OBJETIVOS.....	8
1.1. Objetivo General.....	8
1.2. Objetivos Específicos.....	8
2. METODOLOGIA.....	9
2.1.1. Características de la Viruta.....	9
2.1.2. Limpieza de la Viruta.....	9
2.1.3. Tamizado de la Viruta.....	9
2.2. Características del Cemento.....	10
2.3. Características de los Agregados.....	10
2.4. Diseño de Mezcla.....	10
2.5. Resistencia a la Flexión de las Viguetas.....	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. ALCANCE.....	15
5. MARCO TEÓRICO.....	16
5.1. Componentes del Concreto.....	16
5.1.1. El cemento.....	16
5.1.1.1. Cementos con clinker Portland.....	18
5.1.1.2. Cemento Tipo III.....	20
5.1.2. Agua para Concreto.....	23
5.1.3. Agregados para concreto.....	24
5.1.3.1. Características de los agregados.....	25
5.1.4. Aire.....	25
5.1.5. Viruta de Acero.....	26
5.1.5.1. Tipos de Viruta.....	26
5.1.5.2. Fluidos de Corte (Refrigerantes).....	27
5.1.5.3. Composición Química.....	29
5.2. El concreto.....	29
5.2.1. Características y Propiedades del Concreto.....	31
5.2.1.1. Cohesión y manejabilidad.....	31
5.2.1.2. Pérdida de revenimiento.....	32
5.2.1.3. Asentamiento y sangrado.....	32
5.2.1.4. Adquisición de resistencia mecánica.....	33
5.2.1.5. Generación de calor.....	35
5.2.1.6. Resistencia al ataque de los sulfatos.....	35
5.2.1.7. Estabilidad volumétrica.....	36
5.2.1.8. Estabilidad química.....	36
5.2.2. Concreto con adición de fibra.....	37
5.2.2.1. Mezclado.....	37
6. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	39
6.1. Cemento (NTC – 121).....	39
6.2. Granulometría.....	39
6.2.1. Agregado Fino.....	40
6.2.1.1. Módulo de Finura.....	42
6.2.2. Agregado Grueso.....	42
6.2.2.1. Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal.....	44
6.3. Masas Unitarias. (NTC - 92).....	44
6.3.1. Masa unitaria suelta del agregado fino.....	44
6.3.2. Masa unitaria suelta del agregado grueso.....	45

6.3.3.	Masa Unitaria Compacta del agregado fino (NTC - 92).....	46
6.3.4.	Masa Unitaria Compacta del agregado grueso (NTC - 92)	46
6.4.	Contenido de Materia Orgánica del Agregado Fino. (NTC – 127).....	47
6.5.	Humedad (NTC – 127).	48
6.6.	Índice de Caras Fracturadas del Agregado Grueso.	48
6.7.	Desgaste de la Máquina de los Ángeles. (NTC – 98).....	49
6.8.	Peso Específico y Absorción.	50
6.8.1.	Peso Específico y Absorción Agregado Fino (NTC – 237).....	51
6.8.2.	Peso específico y absorción del agregado Grueso (NTC – 176).....	52
6.9.	Densidad de la Viruta de Acero.	53
7.	DISEÑO DE MEZCLA.....	55
7.1.	Datos Específicos Preliminares de los Materiales:	57
8.	RESULTADOS.	60
8.1.	Resultados Resistencia a la Flexión Tres (3) días.....	60
8.1.1.	Resistencia a la Flexión Tres (3) días muestra estándar.....	60
8.1.2.	Resistencia a la Flexión Tres (3) días 6% Viruta.	61
8.1.3.	Resistencia a la Flexión Tres (3) Días 8% Viruta.	61
8.1.4.	Resistencia a la Flexión Tres (3) días 10% Viruta.	61
8.1.5.	Resistencia a la Flexión Tres (3) días 12% Viruta.	62
8.1.6.	Resistencia a la Flexión Tres (3) días 14% Viruta.	62
8.2.	Resultados Resistencia a la Flexión Siete (7) días.....	63
8.2.1.	Resistencia a la Flexión Siete (7) Días Estándar.....	64
8.2.2.	Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 6% Viruta.	64
8.2.3.	Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 8% Viruta.	64
8.2.4.	Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 10% Viruta.	65
8.2.5.	Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 12% Viruta.	65
8.2.6.	Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 14% Viruta.	66
8.3.	Resultados Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) días.....	67
8.3.1.	Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días Estándar.....	67
8.3.2.	Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 6% Viruta.....	68
8.3.3.	Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 8% Viruta.....	68
8.3.4.	Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 10% Viruta.....	69
8.3.5.	Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 12% Viruta.....	69
8.3.6.	Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 14% de Viruta.....	70
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	71
9.1.	Resultados de la Resistencia a la Flexión a los Tres (3) Días.....	71
9.2.	Resultados de la Resistencia a la Flexión a los Siete (7) Días.....	72
9.3.	Resultados de la Resistencia a la Flexión a los Veintiocho (28) días.....	73
10.	CONCLUSIONES	76
11.	RECOMENDACIONES.....	78
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Características Físicas del cemento Tipo III.	22
Tabla 2.	Características Químicas del cemento Tipo III.	22
Tabla 3.	Propiedades del Cemento.	39
Tabla 4.	Datos Granulometría Agregado Fino. (NTC - 213)	41
Tabla 5.	Granulometría Agregado Grueso (NTC – 213)	43
Tabla 6.	Porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso	49
Tabla 7.	Cantidades de material para 1 m ³ de concreto 1:2:3 sin adición de viruta.....	55
Tabla 8.	Cantidades de materiales para fabricar las viguetas dependiendo de la adición de la viruta en unidades de masa	56
Tabla 9.	Propiedades de los materiales para diseño de mezcla.....	57
Tabla 10.	Cantidades de material para 1 m ³ de concreto sin adición de viruta	58
Tabla 11.	Diseño de mezcla adicionando 6% de viruta	58
Tabla 12.	Diseño de mezcla adicionando 8% de viruta	58
Tabla 13.	Diseño de mezcla adicionando 10% de viruta	58
Tabla 14.	Diseño de mezcla adicionando 12% de viruta	59
Tabla 15.	Diseño de mezcla adicionando 14% de viruta	59
Tabla 16.	Resumen Tablas.....	60
Tabla 17.	Prueba Estándar tres (3) Días	60
Tabla 18.	Pruebas Adición Viruta 6% tres (3) días.	61
Tabla 19.	Pruebas Adición Viruta 8% tres (3) días.	61
Tabla 20.	Pruebas Adición Viruta 10% tres (3) días.	62
Tabla 21.	Pruebas Adición Viruta 12% tres (3) días.	62
Tabla 22.	Pruebas Adición Viruta 14% tres (3) días.	63
Tabla 23.	Pruebas Estándar siete (7) días.	64
Tabla 24.	Pruebas Adición Viruta 6% siete (7) días.....	64
Tabla 25.	Pruebas Adición Viruta 8% siete (7) días.....	65
Tabla 26.	Pruebas Adición Viruta 10% siete (7) días.....	65
Tabla 27.	Pruebas Adición Viruta 12% siete (7) días.....	66
Tabla 28.	Pruebas Adición Viruta 14% siete (7) días.....	66
Tabla 29.	Pruebas Estándar veintiocho (28) días.....	67
Tabla 30.	Pruebas Adición Viruta 6% veintiocho (28) días.	68
Tabla 31.	Pruebas Adición Viruta 8% veintiocho (28) días.	68
Tabla 32.	Pruebas Adición Viruta 10% veintiocho (28) días.	69
Tabla 33.	Pruebas Adición Viruta 12% veintiocho (28) días.	69
Tabla 34.	Pruebas Adición Viruta 14% veintiocho (28) días.	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Vibrado del concreto con la varilla	11
Figura 2.	Ubicación de la vigueta para ensayo de Flexión.....	12
Figura 3.	Aplicación de la carga a la vigueta	13
Figura 4.	Diferencia en el tiempo de fraguado del cemento tipo I y tipo III.....	21
Figura 5.	Agregados para la preparación del concreto.	24
Figura 6.	Viruta de Acero en Secado.	26
Figura 7.	Preparación del concreto.	29
Figura 8.	Falla de las viguetas de concreto a Flexión.	33
Figura 9.	Curado de las viguetas de concreto	34
FIGURA 10.	Lavado y serie de Tamices	40
Figura 11.	Agregado fino.	41
Figura 12.	Gráfica Granulometría Agregado Fino.	42
Figura 13.	Agregado Grueso.	43
Figura 14.	Gráfica Granulometría Agregado Grueso.	44
Figura 15.	Máquina de los Ángeles.....	50
Figura 16.	Balanza para determinar el peso Específico del agregado Grueso.	52
Figura 17.	Muestras Preliminares sin adición de viruta.....	56
Figura 18.	Muestras Preliminares desencofradas sin adición de viruta.....	57
Figura 19.	Resistencia a la Flexión Edad Tres (3) días.	63
Figura 20.	Resistencia a la Flexión Siete (7) días.....	67
Figura 21.	Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días.....	70
Figura 22.	Relación de Esfuerzo Promedio Tres (3) Días.....	71
Figura 23.	Porcentaje de Aumento de Resistencia Tres (3) Días.	72
Figura 24.	Relación de Esfuerzos Promedio Siete (7) Días.....	73
Figura 25.	Porcentaje de Aumento Resistencia Siete (7) Días.	73
Figura 26.	Relación de Esfuerzos Promedio Veintiocho (28) Días.	74
Figura 27.	Porcentaje de Aumento de Resistencia Veintiocho (28) Días.....	75

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

Título: Mejoramiento de la Resistencia a la Flexión del Concreto con Adición de Viruta de Acero con Porcentajes de 6, 8, 10, 12% y 14% respecto al Agregado Fino de la Mezcla.

Autores: Rafael Andrés Delgado Rúgeles.
Edgar Darío Delgado Rúgeles.

Facultad: Facultad de Ingeniería civil.

Director(a): Ing. Claudia Patricia Retamoso Llamas.

RESUMEN

Con base en los resultados obtenidos en los trabajos de grado anteriores de optimización de concretos adicionando viruta en unos porcentajes determinados y en las cuales se analizó el comportamiento del concreto a compresión, se decidió trabajar este mismo conglomerante cuando trabaja a flexión y reemplazando agregado fino en porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12%, y 14% , obteniendo como resultados más óptimos los de la adición de viruta al 10% reemplazando el agregado fino de la mezcla, sin embargo se trabajo con porcentajes menores como se mencionó anteriormente, pero dichos resultados no fueron los esperados al ser comparados con una muestra patrón estándar de concreto de 3000 P.S.I. También se realizaron ensayos de laboratorios a los materiales utilizados en las diferentes mezclas, lo cual sirvió para su respectiva caracterización y como datos de entrada para la realización de los diseños de las mezclas trabajadas; una vez se tuvieron estos diseños se elaboraron los elementos respectivos que para el caso fueron las viguetas, fundiendo 10 elementos para las edades a fallar; 3, 7 y 28 días y así obtener los suficientes datos de Resistencia a la flexión, para poder realizar un análisis y concluir que con un porcentaje de 10% de viruta se puede tener un concreto altamente eficiente y económico.

PALABRAS CLAVE: Concreto, Viruta de acero, diseño de mezcla, toma de muestras, resistencia a la flexión.

GENERAL SUMMARY OF DEGREE WORK

Title: Improvement of the Flexion Resistance of the Concrete with Addition of Shaving steel with Percentages of 6%, 8%, 10%, 12% and 14% replace fine aggregate of the Mixture.

Author(s): Rafael Andrés Delgado Rúgeles.
Edgar Darío Delgado Rúgeles.

Faculty: Faculty of Civil Engineering.

Director: Eng. Claudia Patricia Retamoso Llamas.

ABSTRACT

With base in the results obtained in the previous theses of optimization of concrete adding shaving in a few certain percentages and in which it analyzes the behavior of concrete to compression, one decided to work the same addition when it works to flexion and replacing fine aggregate in percentages of 6 %, 8 %, 10 %, 12 %, and 14 %, obtaining as more ideal results those of the addition of shaving to 10 % replacing the fine aggregate of the mixture, nevertheless it works with minor percentages like it mentioned previously, but that results were not waited when standard piece was compared with a sample of concrete of 3000 psi. Also laboratory tests were realized to the materials used in the different mixtures, which served for its respective characterization and as information of entry for the accomplishment of the designs of the worn out mixtures; once these designs were elaborated the respective elements that for the case were fusing 10 elements for the ages to failing; 3, 7 and 28 days and this way to obtain the sufficient information of Resistance to the flexion, to be able to realize an analysis and conclude that with a percentage of 10 % of shaving it is possible to have concrete highly, efficiently and economically.

PALABRAS CLAVE: Concrete, Shaving Steel, Mixture Design, Laboratory Test, Flexion Resistance.

INTRODUCCIÓN

El **hormigón**, también denominado **concreto** en algunos países de Iberoamérica (se trata de un calco semántico), resulta de la mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente cemento) con áridos (grava, gravilla y arena), agua y, eventualmente, aditivos y adiciones.

El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que derivan en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, obteniéndose al final del proceso un material con consistencia pétreo.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión. No teniendo buen comportamiento a tracción, siendo ésta unas diez veces menor que su resistencia a compresión, por este motivo es habitual usarlo asociado con el acero, recibiendo el nombre de concreto reforzado, el conjunto se comporta muy favorablemente tanto a los esfuerzos de compresión como a los de tracción.

Este material artificial producido por el hombre con un gran número de propiedades que son utilizadas en el sector de la construcción permite una mayor seguridad y estabilidad de acuerdo a los requerimientos necesarios para la evolución de las obras civiles.

El mundo está cambiando, al criterio de resistencia en el diseño de un concreto normal se han aplicado nuevas tecnologías para mejorar sus propiedades realizando adiciones de diferentes componentes que le permite aumentar su consistencia llegando a obtener una mezcla más óptima para el funcionamiento de las diferentes estructuras que son realizadas hoy día dependiendo de sus especificaciones.

Es por ello que en el presente trabajo de investigación se llevaron a cabo una serie de pruebas de flexión entre el concreto estándar (concreto normal sin adiciones), y concreto presentando adiciones de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12% y 14 % respecto al agregado fino de la mezcla, las cuales fueron analizadas una a una, para observar el comportamiento de esta mezcla para ser utilizado como pavimento rígido.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General.

Mejorar la resistencia a la flexión de un concreto de 3000 psi, agregando viruta de acero.

1.2. Objetivos Específicos.

- Comprobar mediante la experimentación en el laboratorio la calidad de los agregados del concreto (cemento, agregado grueso y agregado fino) de acuerdo a las normas existentes.
- Realizar un diseño de mezcla óptimo para la adición de viruta de acero.
- Determinar la adición óptima de viruta de acero por m^3 de concreto de 3000 psi.
- Realizar adiciones de viruta de acero en porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12% y 14% con respecto a la totalidad del agregado fino por m^3 de concreto de 3000 psi.
- Obtener por cada porcentaje adicionado de viruta de acero 30 viguetas como muestra para determinar su resistencia a la flexión.
- Determinar la resistencia y analizar el comportamiento a la flexión del concreto normal y con adición de viruta a los 3, 7 y 28 días para así conocer la eficiencia de este material suplente del agregado fino.

2. METODOLOGIA

Este proyecto se basa en obtener y mejorar la resistencia a flexión del concreto adicionando viruta de acero, teniendo en cuenta la importancia que cumplen los componentes de este nuevo concreto con respecto a la Norma Técnica Colombiana (NTC).

Para la obtención de una alta resistencia al concreto se debe realizar un buen diseño de mezcla y se tomará como guía la Norma Técnica Colombiana (N.T.C), se pueden observar los requerimientos exigidos para obtener los resultados óptimos, por lo tanto, se realizan ciertos ensayos de laboratorio que muestran las características del material y análisis de calidad de los mismos.

En la metodología se mostrará el procedimiento que se realizará para tener en cuenta las propiedades de los materiales individualmente y los materiales en conjunto formando el concreto normal y el adicionado con viruta.

2.1.1. Características de la Viruta.

Para conseguir la muestra de viruta, se tiene que tener bastante cuidado, porque personas inescrupulosas utilizan este material para explosivos caseros, por lo cual se debió diligenciar el proceso de adquisición con la empresa TRANSEJES con una carta del Director de Facultad en donde se establece el uso que se le dará al material.

En la empresa mencionada, no se suministran las propiedades específicas de este material.

2.1.2. Limpieza de la Viruta.

Se debe utilizar jabón industrial y potasa para quitar la cantidad de grasa que tiene originalmente la viruta, ya que la grasa se agrega al acero para realizar el corte en los procesos industriales y se pueda manejar.

2.1.3. Tamizado de la Viruta.

Antes de iniciar la adición de viruta en el concreto, se debe tamizar con harnero de diámetro 7 mm, el cual se asemeja al del agregado fino utilizado en la mezcla, permitiendo que la diferencia entre tamaños del agregado y la viruta no sea tan notoria.

2.2. Características del Cemento.

Las características del cemento son ya conocidas gracias a la empresa PREVESA que proporcionó los datos de esta. En el laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana, no se cuenta con la mesa de flujo, por lo cual se debe trabajar con los datos proporcionados por la mencionada empresa.

2.3. Características de los Agregados.

Para obtener las características de los agregados se realizarán los siguientes ensayos:

- Peso específico y Absorción: 1 ensayo.
- Granulometría: 1 ensayo.
- Masa unitaria suelta y compacta: 1 ensayo.
- Contenido de materia orgánica (Ensayo calorimétrico): 1 ensayo.
- Desgaste en la máquina de los Ángeles: 1 ensayo.
- Equivalente de arena: 1 ensayo.
- Índice de caras fracturadas: 1 ensayo.
- Aplanamiento: 1 ensayo.
- Alargamiento: 1 ensayo.

2.4. Diseño de Mezcla

Cumpliendo con las exigencias de la norma se procederá a realizar el diseño de la mezcla reduciendo cierta cantidad de agregado fino y adicionando el porcentaje de viruta de 6%, 8%, 10%, 12% y 14%, se realizarán 30 muestras por cada porcentaje las cuales se fallarán a los tres (3), siete (7) y veintiocho (28) días para obtener su resistencia a la flexión.

Los materiales que componen la mezcla de concreto con viruta de acero son proporcionados por la empresa PREVESA, quienes están interesados en realizar nuevas tecnologías con materiales que mejoren considerablemente la resistencia a la flexión del concreto.

La empresa TRANSEJES quien apoya este proyecto de igual manera, aportó la viruta de acero para realizar las viguetas.

2.5. Resistencia a la Flexión de las Viguetas.

La resistencia a la flexión del concreto es a menudo referida al módulo de rotura. Este factor importante en estructuras de concreto simple tales como losas de pavimentos. Comúnmente se evalúa sometiendo una

vigueta de concreto a un ensayo de flexión mediante una o dos cargas concentradas.

Las viguetas tienen una sección transversal cuadrada de aproximadamente 15 cm de lado y una longitud que puede ser de 50 cm o 75 cm, siendo la primera la más usada y la cual fue aplicada al proyecto en particular.

Las probetas se elaboraran vaciando el concreto fresco en dos capas en moldes metálicos, compactando cada capa con la varilla empleada para hacer las probetas cilíndricas. El número de golpes por capa es de uno por cada 645 mm² de área, de manera que para el caso de una vigueta de 50 cm de longitud debe ser compactada con 60 golpes por capa como se muestra en la Figura 1.



Fuente: Propia

Figura 1. Vibrado del concreto con la varilla

Este ensayo consiste en apoyar la vigueta a 2,5 cm de sus extremos, dejando una luz intermedia en la que se carga en dos puntos situados en los tercios medios de los apoyos, tal como se aprecia en la Figura 2.



Fuente propia

Figura 2. Ubicación de la vigueta para ensayo de Flexión.

La resistencia a la flexión o módulo de rotura se calcula mediante la siguiente expresión, siempre y cuando la falla ocurra dentro del tercio medio de la luz libre de la vigueta:

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

En donde:

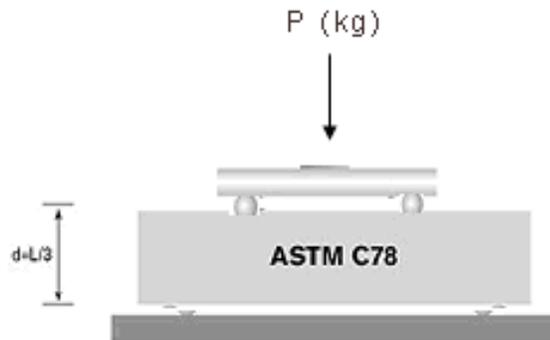
Fr= Módulo de rotura, MPa.

P= Carga de rotura, en N.

L= Luz entre apoyos extremos, en mm.

B= ancho de la viga, en mm.

D= Altura de la viga en mm.



Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>

Figura 3. Aplicación de la carga a la viga

Cuando la falla ocurre fuera del tercio medio de la viga pero a menos del 5% de la luz libre, la resistencia a la flexión o módulo de rotura se calcula de la siguiente manera. En el evento que la distancia resulte mayor al 5%, el ensayo se debe repetir.

$$Fr = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot d^2}$$

Donde a, es la 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 mm.

3. JUSTIFICACIÓN

Observando que en los trabajos de grados anteriores con adición de viruta, donde se optimizó concreto de 3000 P.S.I, y donde la resistencia a la compresión aumento en gran porcentaje, respecto a una muestra patrón, se decidió continuar con este trabajo, pero analizando esta vez el comportamiento del mismo concreto de 21 MPa, pero a flexión y agregando viruta en porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12% y 14% y de igual forma haciendo un análisis comparativo con una muestra patrón, para observar cuanto es el aumento de resistencia para diseño de pavimentos rígidos.

4. ALCANCE

Para este proyecto de grado, se desarrollaron adiciones de viruta en porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12% y 14%, respecto al agregado fino, comparadas con una muestra patrón de 3000 P.S.I. En total se realizaron 150 viguetas, las cuales se probaron a flexión de la siguiente forma: 30 muestras patrón falladas 10 a una edad de tres (3) días, 10 muestras patrón falladas a una edad de siete (7) días y las últimas 10 muestras patrón falladas a la edad de veintiocho (28) días, de esta misma forma se realizaron pruebas para las muestras con adición de viruta a las mismas edades.

Todo esto con el fin de seguir estudiando el comportamiento del concreto cuando se le es adicionado un material como la viruta y cuando este trabaja en una condición diferente como la flexión.

5. MARCO TEÓRICO.

Una de las principales ventajas del concreto convencional es su resistencia a la flexión, la cual con materiales alternativos se puede mejorar. Por esto en este trabajo de grado se realizaron aplicaciones con Viruta, la cual se consigue gratis en el mercado, pero desarrollando un proceso de adquisición de la misma, por los usos indebidos que se le da a ésta.

5.1. Componentes del Concreto.

En general el concreto fresco se puede definir como una mezcla heterogénea semilíquida de cemento Pórtland, arena (agregado fino), grava o piedra triturada (agregado grueso), agua, aire y algunas veces aditivos; la cual en estado plástico se puede dar cualquier forma y que una vez endurecida tiene las características de resistencia a esfuerzos mecánicos en especial a los de compresión y flexión.

Este material mediante un proceso llamado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte en un material durable. Cuando se mezcla, se hace el vaciado y se cura de manera apropiada, el concreto forma estructuras sólidas capaces de soportar las temperaturas extremas del invierno y del verano sin requerir de mucho mantenimiento.

El material que se utilice en la preparación del concreto afecta la facilidad con que pueda vaciarse y con la que se le pueda dar el acabado; también influye en el tiempo que tarde en endurecer, la resistencia que pueda adquirir, y lo bien que cumpla las funciones para las que fue preparado.

5.1.1. El cemento.¹

En sentido genérico el cemento se puede definir como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que tiene la capacidad de unir fragmentos sólidos, para formar un material resistente y durable.²

Esta definición incluye gran cantidad de materiales cementantes como cales, los asfaltos, etc. No obstante, los cementos que más importan desde el punto de vista tecnología del concreto son los cementos calcáreos que tengan propiedades hidráulicas, es decir que desarrollen propiedades de fraguado y adquisición de resistencia, cuanto este

¹ Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>

² Fuente: [Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. ICPC](#)

material se encuentra en presencia de agua, como consecuencia de la reacción química en los dos materiales.

El cemento constituye entre el 7 y el 15 % del volumen total de concreto, es un componente químicamente activo y por lo tanto influye en todas las características de mezcla.

EL cemento no es lo mismo que el concreto, es uno de los ingredientes que se usan en él. Sus primeros usos datan de los inicios de 1800 y, desde entonces, el cemento Portland se ha convertido en el cemento más usado en el mundo. Su inventor le dio ese nombre porque el concreto ya curado es del mismo color que una piedra caliza que se obtiene cerca de Portland, Inglaterra. Este tipo de cemento es una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina, y las fuentes más comunes donde se pueden obtener estos materiales son el barro, la piedra caliza, esquisto y mineral de hierro. Esta mezcla se mete a un horno de secar y se pulveriza hasta convertirlo en un fino polvo, se empaca y se pone a la venta.

Los cementos que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí.

Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual solo procede considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

El cemento se clasifica de acuerdo con la normalización del país de origen. En Colombia actualmente se clasifica de acuerdo con la NTC 30 cemento portland,- clasificación y Nomenclatura, que tiene como base la norma COPANT 3:1-009.

Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, en cuya elaboración intervienen normalmente las materias primas.

Existen cinco tipos de cemento Portland, cada uno con características físicas y químicas diferentes.

5.1.1.1 Cementos con clinker Portland.

Todos los cementos para concreto hidráulico son elaborados a base de clinker Pórtland, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en éste y en los cementos a que da lugar.

Cementos Pórtland simples, mezclados y expansivos

Para la elaboración del clinker Pórtland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal, sílice, y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada.

Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400 °C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker Pórtland.

Una vez frío, el clinker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento Pórtland simple. Además durante, la molienda, el clinker puede combinarse con una escoria o un material puzolánico para producir un cemento mezclado Pórtland-escoria o Pórtland-puzolana, o bien puede molerse con determinados materiales de carácter sulfo-calcio-aluminoso para obtener los llamados cementos expansivos.

También es factible incorporar aditivos durante la molienda del clinker, siendo de uso frecuente los auxiliares de molienda y los inclusores de aire. Estos últimos dan por resultado los cementos inclusores de aire para concreto, cuyo uso es para concretos expuestos a la intemperie.

De conformidad con lo anterior, a partir del clinker Pórtland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

Los cementos Pórtland propiamente dichos, o Pórtland simples, moliendo solamente el clinker y el yeso sin componentes cementantes adicionales.

Los cementos Pórtland mezclados, combinando el clínker y el yeso con otro cementante, ya sea este una escoria o una puzolana.

Los cementos expansivos que se obtienen añadiendo al clínker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso.

Mediante ajustes en la composición química del clínker, o por medio de la combinación con otros cementantes, o por la adición al clínker de ciertos materiales especiales, es factible obtener cementos con características y propiedades adecuadas para cada uso específico del concreto hidráulico.

Selección del Cemento Apropriado

En el proceso para definir y especificar el concreto potencialmente apto para cada aplicación en particular, es de trascendental importancia la definición del cemento apropiado, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la pasta cementante y por consiguiente del concreto.

Características esenciales del cemento

La influencia que el cemento Pórtland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del clínker y de su finura de molienda. En el caso de los cementos Pórtland-puzolana, habría que añadir a esos dos factores los referentes a las características físicas y químicas de la puzolana y el contenido de ésta en el cemento.

Composición Química

Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado, y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica en el producto.

Aún cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Se puede decir que la composición química de un clínker Pórtland se define convenientemente mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento Pórtland.

Compuesto Fórmula del óxido Notación abreviada
Silicato tricálcico 3CaO SiO_2 C3S

Silicato dicálcico $2\text{CaO SiO}_2 \text{ C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ C}_3\text{A}$
Aluminoferrito tetracálcico $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ C}_4\text{AF}$

5.1.1.2 Cemento Tipo III.

Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto hecho con el cemento Tipo III desarrolla una resistencia alta en los primeros días, respecto a los cementos Tipo I y Tipo II; se debe saber que el cemento Tipo III aumenta la resistencia inicial por encima de lo normal, luego se va normalizando hasta alcanzar la resistencia normal. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de C₃S y C₃A en el cemento, al molerlo mas fino; las especificaciones no exigen un mínimo de finura.

Dado a que tiene un gran desprendimiento de calor el cemento Tipo III no se debe usar en grandes volúmenes. Con 15% de C₃A presenta una mala resistencia al sulfato. El contenido de C₃A puede limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada al sulfato o al 15% cuando se requiera alta resistencia al mismo, su resistencia es del 90 al 100%.

Propiedades.

El cemento Pórtland Gris tipo III es un cemento obtenido por la pulverización de clinker Pórtland especial, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, con la adición de agua y sulfato de calcio.

Posee mayor resistencia a la compresión inicial y final debido a la combinación de su composición química, de las características de sus minerales y su alta finura, las cuales son conferidas por utilizar materias primas óptimas, por la tecnología de los equipos de procesamiento y por un proceso de fabricación altamente controlado.

Usos y aplicaciones.

Este cemento puede ser utilizado en construcciones generales de concreto convencionales, tales como: Estructuras, placas, muros, fundaciones, etc.; pero dadas sus características y bondades de alta resistencia es muy conveniente para los siguientes casos:

Estructuras con requerimientos de alta resistencia mecánica inicial y/o final; y de alta capacidad estructural, tales como: estructuras prefabricadas, elementos postensados, puentes, viaductos y losas.

En estructuras en donde se necesite retirar el encofrado o cimbras en pocas horas de haber vaciado el concreto.

En obras con requerimientos de puesta en servicio a temprana edad del concreto, tales como: carreteras, puentes y pontones.

En plantas de elementos prefabricados de concreto, tales como: bloques, tubos, etc; cuya exigencia de producción en serie y pronta entrega de los elementos exigen el uso de un cemento que haga más eficiente los procesos.

Ventajas

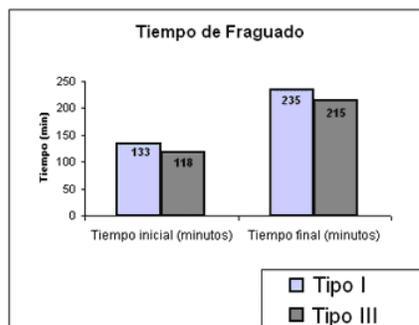
El cemento Pórtland Gris tipo III tiene las siguientes ventajas:

Incrementa la durabilidad (vida útil) de las obras mediante el diseño y utilización de concretos de alta resistencia.

El retiro de encofrados en pocas horas, disminuye los tiempos de ejecución mejorando los rendimientos y economía de la obra.
Pronta puesta en servicio de obras públicas, caso de carreteras, puentes, etc.

Mejora la productividad y eficiencia en plantas concreteras y de prefabricados.

En las siguientes figuras, se muestran las comparaciones entre el tiempo de fraguado y la resistencia a la flexión de cemento tipo I y cemento tipo III.



Fuente: <http://www.cemexvenezuela.com/content/publica/cemento/index.asp?ns=dgeneral6.html&nsDer=gdralderecha6.html&subm=3&submenu=submenu6.html>

Figura 4. Diferencia en el tiempo de fraguado del cemento tipo I y tipo III.³

³ Fuente:

<http://www.cemexvenezuela.com/content/publica/cemento/index.asp?ns=dgeneral6.html&nsDer=gdralderecha6.html&subm=3&submenu=submenu6.html>

Las características físicas y la composición química del cemento tipo III se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 1. Características Físicas del cemento Tipo III.

Características físicas	
Fineza (Blaine) cm^2/gr	3.500 - 4000
% de expansión Autoclave:	0.05 - 0.1
Fraguado Gillmore (minutos)	
Inicial:	120 - 135
Final:	220 - 230
Fraguado Vicat (minutos)	
Inicial:	110 - 125
Final:	210 - 220
Resist. Compresión (Kg/cm^2)	
1D:	135 - 145
3D:	250 - 255
7D:	340 - 350
28D:	440 - 450
% Pasante tamiz # 325:	85 - 95
% Pasante tamiz # 200:	97 - 99

Fuente: http://www.cemexvenezuela.com/content/publica/cemento/index.asp?ns=dgeneral6.html&nsDer=gdralde_recha6.html&subm=3&submenu=submenu6.html

Tabla 2. Características Químicas del cemento Tipo III.

Características químicas (%)	
Oxido de silicio (SiO_2)	20 - 22
Oxido de aluminio (Al_2O_3)	4 - 6
Oxido férrico (Fe_2O_3)	3 - 4
Oxido de calcio (CaO)	64 - 67
Oxido de magnesio (MgO)	1.0 - 3.0
Anhídrido sulfúrico (SO_3)	2.5 - 3.5
Residuo Insoluble	1.0 - 1.3
Pérdida al fuego	2.5 - 5.0
Aluminato tricálcico (C_3A)	9 - 13
Silicato tricálcico (C_3S)	55 - 65

Fuente: http://www.cemexvenezuela.com/content/publica/cemento/index.asp?ns=dgeneral6.html&nsDer=gdralde_recha6.html&subm=3&submenu=submenu6.html

5.1.2. Agua para Concreto^{4, 5}

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene tres diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas, como medio de curado de las estructuras recién construidas y como agua de lavado de los agregados.

El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del concreto, de donde un 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica al concreto siendo la responsable de la manejabilidad, evaporándose durante el proceso de fraguado.

En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente, cuando el concreto se cura con agua. Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear igual de una sola calidad en ambos casos.

Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas. En determinados casos se requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto al ser elaborado, que una parte del agua de mezclado se administre en forma de hielo molido o en escamas. En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad del agua de mezclado.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

⁴ Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>

⁵ Fuente: [Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. ICPC](#)

5.1.3. Agregados para concreto.



Fuente: www.arghys.com/agregado-concreto.html

Fuente: [Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. ICPC](#)

Figura 5. Agregados para la preparación del concreto.

Los agregados son una masa de materiales casi siempre pétreos, que se consideran normalmente inertes y que unidos por medio de la pasta de cemento conforman el concreto.

Para la generalidad los agregados ocupan el 60% y el 80% del volumen total del concreto.

Estos agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5mm y 38mm. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

La grava y la arena concentran en las entrañas de su estructura pétreo minerales sedimentarios, metamórficos e ígneos. Los primeros son los que han acumulado residuos de fondos marinos de diversas especies desde hace millones de años; los metamórficos originalmente fueron sedimentarios para luego solidificarse y endurecerse transformándose en calizas y mármoles, mientras que los ígneos o volcánicos surgen de la erupción de volcanes cuyo material, al enfriarse, se transforma en roca.

Estos últimos son los más utilizados como agregados para concreto, ya que pueden llegar a tener mayor resistencia y peso específico, brindando así más calidad. Entre los principales tipos de rocas que comparten este origen están las andesitas que no son propiamente producto de lava sino materiales lubricadores, una especie de polvo combinado con rocas de grandes dimensiones expulsadas por la erupción volcánica. Otro tipo usual para la fabricación de agregados es el basalto, particularmente cuando se construyen pisos y pavimentos que deben ser resistentes a la abrasión.

Independientemente de su origen y tipo, las rocas pueden ser densas o ligeras, y se consideran mejores elementos las más pesadas.

La composición física original en la arena y la grava es prácticamente la misma, y sólo se distinguen por el tamaño de sus partículas, siendo la arena el agregado fino y la grava el agregado grueso; así mismo, en cada una de ellas existen diferentes medidas, ya que una mezcla adecuada debe contener tanto partes finas, como grava de distintos tamaños, para que el material de menores dimensiones se acomode entre los gruesos, rellenando todos los espacios.

5.1.3.1 Características de los agregados

Entre las principales características de los agregados están la porosidad, grado de humedad, peso y tiempo de formación del yacimiento del que se han extraído, así como la sanidad, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad, propiedades químicas y actividad química.

La calidad del material debe ser probada antes de ser agregado al concreto. Cuando se abre un banco de material se extraen muestras que son analizadas en laboratorios que determinan su peso específico y absorción. Si el material es muy poroso su absorción es muy alta, si el material es muy denso la absorción tiende a ser baja.

5.1.4. Aire⁶.

Cuando el concreto se encuentra en estado de mezclado, es normal que atrape aire dentro de la masa el cual es posteriormente liberado por los procesos de compactación al que es sometido una vez a sido colocado. Sin embargo es imposible extraer todo el aire y siempre queda un porcentaje de la masa endurecida.

⁶García Caro, Raul. Roa Zarate Javier Fernando. Diseño De Mezclas De Concreto Con Adición De Microsílica Y Superplastificante para obtener Alta Resistencia A Compresión. Pág 8. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Universidad Industrial de Santander.

El contenido de aire naturalmente atrapado, produce disminución en los requerimientos de agua del concreto para una misma manejabilidad, al igual que un aumento de las condiciones de cohesión. El contenido de aire de un concreto sin agentes inclusores normalmente está entre 1 y el 2% del volumen de la mezcla, aunque en algunos casos se incrementa a consecuencia de una deficiente colocación o compactación.

5.1.5. Viruta de Acero.⁷

En vista que la viruta de acero es un desecho industrial y por su composición mejoraría la resistencia a la compresión del concreto (aumentándola), se decidió desarrollar esta investigación, en busca del porcentaje óptimo de adición de este material.

Este material, como se dijo anteriormente, se obtiene de los desechos de la torneada de diferentes partes de automotores, y tienen formas redondeadas, planas, alargadas, etc. Ver figura 3. Algunos tipos de viruta indican un corte más eficiente que otros.



Figura 6. Viruta de Acero en Secado.

5.1.5.1 Tipos de Viruta.

El tipo de viruta está determinado primordialmente por:

Propiedades del material a trabajar.
Geometría de la herramienta de corte.

⁷ Escalona Iván. Ingeniería industrial.com.ar/index.php/news/main/294/event=view

Condiciones del maquinado (profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte).

Viruta discontinua.

Este caso representa el corte de la mayoría de los materiales frágiles tales como el hierro fundido y el latón fundido; para estos casos, los esfuerzos que se producen delante del filo de corte de la herramienta provocan fractura., de manera que el material que se desprende es muy pequeño. Por lo común se produce un acabado superficial bastante aceptable en estos materiales frágiles.

Las virutas discontinuas también se pueden producir en ciertas condiciones con materiales más dúctiles, causando superficies rugosas. El incremento en el ángulo de ataque o en la velocidad de corte normalmente elimina la producción de la viruta discontinua.

Viruta Continua.

Este tipo de viruta, el cual representa el corte de la mayoría de materiales dúctiles que permiten al corte tener lugar sin fractura, es producido por velocidades de corte relativamente altas, grandes ángulos de ataque (entre 10° y 30°) y poca fricción entre la viruta y la cara de la herramienta.

Viruta Continua con protuberancias.

Este tipo de viruta representa el corte de materiales dúctiles a bajas velocidades en donde existe una alta fricción sobre la cara de la herramienta.

Esta alta fricción es causa de que una delgada capa de viruta quede cortada de la parte inferior y se adhiera a la cara de la herramienta. La viruta es similar a la viruta continua, pero la produce una herramienta que tiene una saliente de metal aglutinado soldada a su cara. Periódicamente se separan porciones de la saliente y quedan depositadas en la superficie del material, dando como resultado una superficie rugosa; el resto de la saliente queda como protuberancia en la parte trasera de la viruta.

5.1.5.2 Fluidos de Corte (Refrigerantes)

Para mejorar las condiciones durante el proceso de maquinado, se utiliza un fluido que baña el área en donde se está efectuando el corte.

Los objetivos Principales de éste fluido son:

Ayudar a la disipación del calor generado.

Lubricar los elementos que intervienen, en el corte para evitar la pérdida de la herramienta.

Reducir la energía necesaria para efectuar el corte.

Proteger a la pieza contra la oxidación, y la corrosión.

Arrastrar las partículas del material (medio de limpieza).

Mejorar el acabado superficial.

Las propiedades esenciales que los líquidos de corte deben poseer son los siguientes:

Poder refrigerante.

Para ser bueno el líquido debe poseer una baja viscosidad, la capacidad de bañar bien el metal (para obtener el máximo contacto térmico); un alto calor específico y una elevada conductibilidad térmica.

Poder lubricante.

Tiene la función de reducir el coeficiente de rozamiento en una medida tal que permita el fácil deslizamiento de la viruta sobre la cara anterior de la herramienta.

Dentro de los fluidos de corte más utilizados se citan los siguientes:

Aceites minerales.

Aceites vegetales.

Aceites animales.

Aceites mixtos.

Aceites al bisulfuro de molibdeno.

Aceites

Emulsionables.

Elección del Fluido de Corte

Esta elección se basa en criterios que depende de los siguientes factores:

Del material de la pieza en fabricar. Para las aleaciones ligeras se utiliza petróleo; para la fundición, en seco. Para el latón, bronce y cobre, el trabajo se realiza en seco o con cualquier tipo de aceite que este exento de azufre; para el níquel y sus aleaciones se emplean las emulsiones. Para los aceros al carbono se emplea cualquier aceite; para los aceros inoxidable auténticos emplean los lubricadores al bisulfuro de molibdeno.

Del material que constituye la herramienta. Para los aceros al carbono dado que interesa esencialmente el enfriamiento, se emplean las

emulsiones; para los aceros rápidos se orienta la elección de acuerdo con el material a trabajar. Para las aleaciones duras, se trabaja en seco o se emplean las emulsiones.

Según el método de trabajo. Para los tornos automáticos se usan los aceites puros exentos de sustancias nocivas, dado que el operario se impregna las manos durante la puesta a punto de la máquina; para las operaciones de rectificado se emplean las emulsiones. Para el taladrado se utilizan los 'afeites puros de baja viscosidad; para el fresado se emplean las emulsiones y para el brochado los aceites para altas presiones de corte o emulsiones.

5.1.5.3 Composición Química.⁸

Hierro (Fe), Carbono (C), Aluminio (Al), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Nitrógeno (N), Vanadio (V), Tungsteno (W) o Volframio, Titanio (Ti), Plomo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Fósforo (P), Molibdeno (Mo) y Azufre (S).

5.2. El concreto.



Figura 7. Preparación del concreto.

⁸TRANSEJES – Empresa que suministró el material.

El concreto es un material duradero y resistente pero, dado que se trabaja en su forma fluida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular.

El concreto convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados (los cuales se explicaron independientemente en puntos anteriores), a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo, en el caso particular es viruta de acero.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una aglomeración de concreto, un quinto participante representado por el aire.

La mezcla de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, definidos como agregados, dispersos en una masa viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

El comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento endurecida.
- La calidad propia de los agregados.
- La afinidad de la pasta cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.
- En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la pasta cementante.

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su

capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la pasta cementante con los agregados, depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de éstos.

Estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio. Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

5.2.1. Características y Propiedades del Concreto.

Existen diversos aspectos del comportamiento del concreto en estado fresco o endurecido, que pueden ser modificados mediante el empleo de un cemento apropiado, para adecuarlo a los requerimientos específicos dados por las condiciones de la obra. Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser influidas y modificadas por los diferentes tipos y clases de cemento, son las siguientes:

- Cohesión y manejabilidad.
- Concreto Pérdida de revenimiento fresco.
- Asentamiento y sangrado.
- Adquisición de resistencia mecánica.
- Concreto Generación de calor endurecido.
- Resistencia al ataque de los sulfatos.
- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos).
- Estabilidad química (reacciones cemento-agregados).

5.2.1.1 Cohesión y manejabilidad

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Consecuentemente, son aspectos del comportamiento del concreto fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el

concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad.

5.2.1.2 Pérdida de revenimiento

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

La pérdida normal de revenimiento del concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado, es como se indica:

Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.

El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.

El uso de algunos aditivos reductores de agua y superfluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.

El empleo de cementos Pórtland-puzolana cuyo componente puzolánico es de naturaleza porosa y se muele muy finamente, puede acelerar notablemente la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado al producirse un resecamiento prematuro provocado por la avidéz de agua de la puzolana.

5.2.1.3 Asentamiento y sangrado

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro la formaleta, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente

asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante.

5.2.1.4 Adquisición de resistencia mecánica

La velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento Pórtland depende básicamente de la composición química del clinker y de la finura de molienda. Un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C_3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. A continuación se puede observar el momento de falla de una muestra en la máquina de compresión de cilindros del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.



Fuente: Propia

Figura 8. Falla de las vigetas de concreto a Flexión.

De acuerdo con las tendencias mostradas puede considerarse que, para obtener el beneficio adecuado de resistencia de cada tipo y clase de cemento en función de sus características, lo conveniente es especificar la resistencia de proyecto del concreto a edades que sean congruentes con dichas características. Consecuentemente, estas edades pueden ser como sigue:

Tipo de cemento y Edad recomendable para especificar el empleo en el concreto para la resistencia del proyecto.

Fraguado del concreto (ASTM C – 403)

Un factor que afecta la resistencia del concreto, es la velocidad de endurecimiento que presenta al pasar del estado plástico al estado endurecido bajo determinadas condiciones de tiempo y temperatura.

La determinación del tiempo de fraguado es importante para saber si hay la necesidad de usar aditivos para controlar la velocidad del fraguado (retardantes o acelerantes) para poder regular los tiempos de mezclado y transporte de manera que no se afecte su manejabilidad ni la resistencia de la mezcla.

La temperatura, afecta considerablemente el tiempo de fraguado dependiendo si la mezcla pierde o no calor de hidratación, por lo cual el proceso de adquisición de resistencia será más lento o no.



Fuente: Propia

Figura 9. Curado de las viguetas de concreto

Edad del concreto

Entre los factores externos que afectan la resistencia de un concreto, se encuentra en primer lugar la edad, debido a que la relación que hay entre la relación agua/cemento y la resistencia del concreto se aplica únicamente a un tipo de cemento y a una sola edad.

Como la resistencia es variable, se debe escoger una edad definida para que la resistencia en ese momento caracterice sus propiedades mecánicas.

Las mezclas con una relación agua-cemento baja aumentan en resistencia, expresada como porcentaje de la resistencia a largo plazo, más rápidamente que las mezclas con una relación agua-cemento mayor.

5.2.1.5 Generación de calor

La reacción del cemento con el agua, o hidratación del cemento, produce desprendimiento de calor porque se trata de una reacción de carácter exotérmico. Si el calor que se genera en el seno de la masa de concreto no se disipa con la misma rapidez con que se produce, queda un remanente que al acumularse incrementa la temperatura de la masa.

El calentamiento del concreto lo expande, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación. Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor.

En lo referente a los cementos Pórtland-puzolana, su calor de hidratación depende del tipo de clínker que contiene y de la actividad y proporción de su componente puzolánico.

5.2.1.6 Resistencia al ataque de los sulfatos

El concreto de cemento Pórtland es susceptible de sufrir daños en distinto grado al prestar servicio en contacto con diversas sustancias químicas de carácter ácido o alcalino.

Ácidos inorgánicos

Clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, sulfúrico rápido, fosfórico moderado, carbónico lento.

Ácidos orgánicos: Acético, fórmico, lácteo rápido, tánico moderado, oxálico, tartárico despreciable.

Soluciones alcalinas

Hidróxido de sodio > 20\ Moderado

Hidróxido de sodio 10-20\, hipoclorito de sodio Lento

Hidróxido de sodio < 10\, hidróxido de amonio Despreciable

Soluciones salinas: Cloruro de aluminio rápido, nitrato de amonio, sulfato de amonio, sulfato de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio moderado, cloruro de amonio, cloruro de magnesio, cianuro de sodio lento, cloruro de calcio, cloruro de sodio, nitrato de zinc, cromato de sodio despreciable

Diversas.

Bromo (gas), solución de sulfito Moderado

Cloro (gas), agua de mar, agua blanda - Lento

5.2.1.7 Estabilidad volumétrica

Una característica indeseable del concreto hidráulico es su predisposición a manifestar cambios volumétricos, particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras. Para corregir este inconveniente, en casos que lo ameritan, se han desarrollado los cementos expansivos que se utilizan en los concretos de contracción compensada, pero que todavía no se producen localmente.

5.2.1.8 Estabilidad química

La pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos. Algunas de estas reacciones son benéficas porque, contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, mejorando las propiedades mecánicas del concreto, pero otras son degradantes porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto.

Las principales reacciones químicas que ocurren en el concreto tienen un participante común representado por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento pero eventualmente pueden provenir también de algunos agregados. Por tal motivo, estas reacciones se designan genéricamente como álcali-agregado.

5.2.2. Concreto con adición de fibra.⁹

Al recibir la adición de pequeñas cantidades de fibras, el concreto se enriquece con el incremento de algunas propiedades. Si bien los procedimientos de producción y construcción no difieren mucho de lo acostumbrado, hay que tomar ciertas precauciones durante los procesos de mezclado, colocación y acabado para obtener los resultados óptimos.

Al agregar al concreto fibras sintéticas o de acero en pequeños volúmenes, de acuerdo con una dosificación, se obtienen beneficios que no se encuentran en el concreto convencional.

Las ventajas de las fibras de acero incluyen una mayor resistencia al impacto y mayor rigidez, así como el aumento de resistencia a la fatiga y al agrietamiento.

Las ventajas de las fibras sintéticas comprenden una reducción en la contracción plástica y el agrietamiento por fraguado, y una mayor resistencia al impacto y a la fragmentación. Estos beneficios se obtienen comúnmente utilizando aproximadamente de 6 a 15 kg de fibras de acero o de 0.5 a 1.0 kg de fibras sintéticas por metro cúbico de concreto.

Con estas proporciones en la dosificación, los procedimientos de producción y construcción no difieren grandemente de los usados para el concreto convencional. Sin embargo, se requiere mucho cuidado durante el mezclado, la colocación y el acabado, a fin de evitar el desarrollo de bolas de fibras, la adición de agua al concreto en el lugar y la posibilidad de fibras visibles en la superficie del concreto.

Las fibras vienen en una variedad de materiales, longitudes, diámetros y geometrías. Las formas de las fibras de acero incluyen las redondas, ovaladas, rectangulares y con secciones transversales en forma de media luna.

Las fibras sintéticas, hechas generalmente de nylon o polipropileno, pueden ser angulares fibriladas o tener un solo filamento suave y redondo.

5.2.2.1 Mezclado

Fibras sintéticas.

Las fibras sintéticas se empaican, de manera suelta, en bolsas degradables que pueden agregarse a la mezcla en la planta de

⁹ <http://www.imcyc.com/revista/1998/septiembre/mezcla.htm>

dosificación o echarse al camión mezclador en el lugar de la obra. Sin embargo, los fabricantes recomiendan mucho agregar las fibras en una planta de dosificación confiable, al menos por dos razones. Primero, esto proporciona una medida adicional de control. Y segundo, es muy importante que las fibras sintéticas se mezclen por lo menos de tres a cinco minutos, algo que no siempre es posible en el lugar de la obra. La agitación mecánica apropiada asegura la separación de las fibras, eliminando virtualmente la formación de bolas de fibras en el concreto. También distribuye las fibras de una manera completa y uniforme en toda la mezcla.

Fibras de acero.

Las fibras de acero vienen empacadas en cajas y bolsas, y se agregan manualmente al concreto en las plantas de premezclado o bien en el lugar de la obra. En las plantas de premezclado, algunos tipos de fibra pueden precargarse en los camiones de concreto antes de agregar los otros materiales de la mezcla. En muchos casos, las fibras se añaden a la corriente de agregados durante los procedimientos normales de dosificación, o se cargan en la cola del camión después que todos los otros componentes del concreto han sido agregados.

Para acelerar los procedimientos de dosificación, es ligeramente más ventajoso agregar las fibras de acero a los camiones antes de la dosificación del concreto o con la corriente de agregados. Si las fibras se cargan en la cola, o se agregan en el lugar de la obra, se requerirán aproximadamente dos minutos para introducir las fibras en el camión, y cuatro minutos de tiempo adicional para el mezclado, a fin de distribuir las fibras en todo el concreto.

6. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

En esta sección, se mostrarán los ensayos realizados a los materiales que componen la mezcla de concreto.

6.1. Cemento (NTC – 121).

Dado que en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, no se encuentran a disposición los equipos para realizar los ensayos del cemento, se contó con la colaboración de la empresa, quien suministró los datos específicos del cemento, respecto a todas sus propiedades. El cemento utilizado para esta investigación es ARGOS Tipo III.

A continuación se muestran los datos de este material:

Tabla 3. Propiedades del Cemento.

Descripción	Unidades	Valores	Rango
Peso específico	gr/cm ³	3,13	
Finura blaine	cm ² /gr	5107	min 2800
Consistencia Normal	%	27,66	
Fraguado inicial	min	101	> 45
Fraguado final	min	197	< 480
Resistencia 1 día	Kg/cm ²	202	> 100
Resistencia 3 días	Kg/cm ²	306	> 210
Resistencia 7 días	Kg/cm ²	422	
Resistencia 28 días	Kg/cm ²	553	
SO ₃	%	2,1	Máx. 3,5
Cal libre	%	1,22	
SiO ₂	%	20,58	
AlO ₃	%	4,51	
FE ₂ O ₃	%	3,92	
CaO	%	64,92	
MgO	%	2,99	Máx. 7,0
K ₂ O	%	0,22	
Na ₂ O	%	0,19	

Fuente: Prevesa

6.2. Granulometría.

La granulometría está definida como la distribución del tamaño de sus partículas, dicho de otra forma el análisis granulométrico es la medida de las partículas de un agregado.

Esta operación de separar una masa de agregado en fracciones de igual tamaño. Consiste en hacer pasar éste a través de una serie de tamices

que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la Norma Icontec-32. Una buena granulometría debe tener partículas de todos los tamaños, de tal manera, que los vacíos dejados por las de mayor tamaño sean ocupados por otras de menor tamaño y así sucesivamente, permitiendo obtener un mínimo de vacíos, los cuales deberán ser llenados con pasta de cemento para lograr una buena compactación, traducida en el aumento de resistencia, mejor durabilidad, mayor economía, menor Riego de contracción de agrietamiento y mayor densidad del concreto, esta también debe ayudar a una adecuada manejabilidad sin segregación ni exudación, dejando compactar la mezcla de manera adecuada con un uso moderado de energía.

La designación de tamices se hace de acuerdo con la abertura de la malla, medida en milímetros o en micras.



Fuente: propia.

Figura 10. Lavado y serie de Tamices

6.2.1. Agregado Fino.

Este material se obtiene de pescadero, fue facilitado por la empresa PREVESA, para desarrollar los ensayos específicos, para poder realizar el diseño de mezcla particular con la adición de viruta.

El análisis granulométrico de la arena se realiza mediante su separación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como serie estándar, cuyas aberturas se aumentan sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm (ASTM No.100). De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto (ASTM C 33) (42, 43) requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas

comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente (ASTM No.100).



Fuente: Propia

Figura 11. Agregado fino.

En la Tabla 4 Tabla 4se muestran los resultados de la granulometría del agregado fino:

En la siguiente tabla, se muestran los resultados de esta misma granulometría:

Tabla 4. Datos Granulometría Agregado Fino. (NTC - 213)

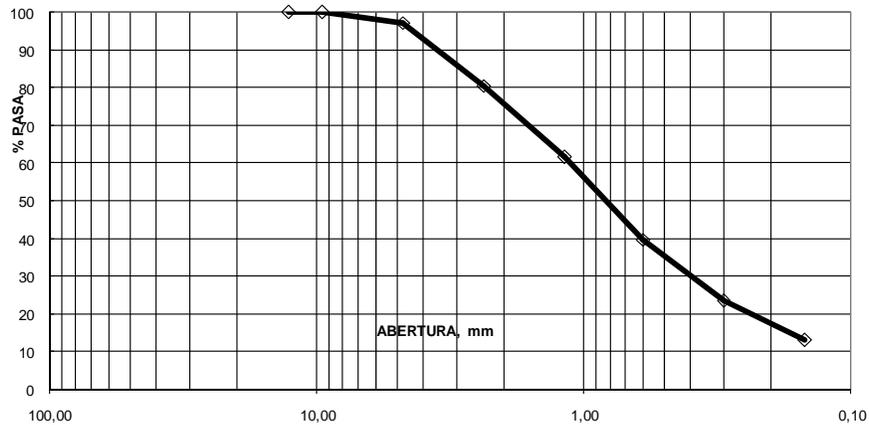
PESO MUESTRA, g 2.082 gr
 PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ Nº 200, g 1.825 gr

TAMIZ	ABERTURA, mm	PESO			Pasa, %
		Retenido			
		Parcial, g	Parcial, %	Acumulado, %	REAL
1/2"	12,70	0	0,0	0,0	100
3/8"	9,52	0	0,0	0,0	100
Nº 4	4,75	58	2,8	2,8	97
Nº 8	2,360	347	16,7	19,5	81
Nº 16	1,180	396	19,0	38,5	62
Nº 30	0,600	454	21,8	60,3	40
Nº 50	0,300	340	16,3	76,6	23
Nº 100	0,149	216	10,4	87,0	13
Fondo	.....	271	13,0	100,0	.....

Fuente: Propia

En la siguiente figura, se muestran los resultados graficados del análisis granulométrico.

GRANULOMETRÍA CON LAVADO POR TAMIZ N° 200



Fuente: Propia

Figura 12. Gráfica Granulometría Agregado Fino.

6.2.1.1 Módulo de Finura.¹⁰

El módulo de finura denota la finura relativa de la arena, se define como una centésima de la suma de los porcentajes retenidos acumulados hasta el tamiz No 100 en la prueba de tamices de la arena. Se utilizan seis tamices, el No 4, No 8, No 16, No 30, No 50 y el No 100. Mientras más pequeño sea el número del módulo de finura, más fina será la arena. Una arena que satisfaga las especificaciones del ASTM para hormigón debe tener valores entre 2.3 y 3.1.

Cálculo del modulo de finura para el agregado fino:

$$\text{Módulo Finura} = \frac{\sum \% \text{retenido}(\text{No}4 - \text{No}100)}{100} =$$

$$\text{Módulo Finura} = \mathbf{2,85}$$

6.2.2. Agregado Grueso.

De igual manera que en el caso del agregado fino, es esperado que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, ya que los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena. Al analizar la composición

¹⁰ <http://www.uprm.edu/civil/html/laborato/lab1.pdf>

granulométrica de la grava en conjunto, se realiza el mismo procedimiento del agregado fino y se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, con el fin de dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan interpretar su distribución de tamaño para poder compararla con los límites granulométricos que le sean aplicables. En la siguiente fotografía



Fuente: Propia

Figura 13. Agregado Grueso.

Los resultados de la granulometría realizada al agregado grueso que compone la mezcla, se muestra en la siguiente tabla.

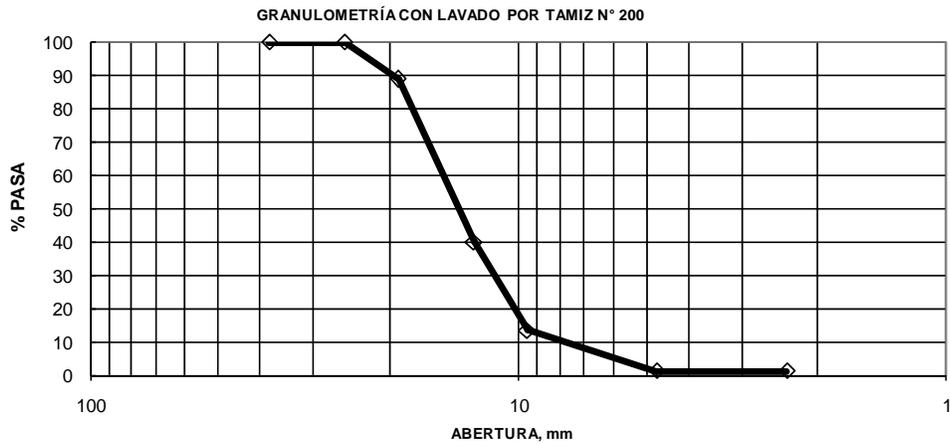
En la siguiente tabla, se muestran los resultados de esta misma granulometría:

Tabla 5. Granulometría Agregado Grueso (NTC – 213)
PESO MUESTRA, g 2.000 gr

TAMIZ	ABERTURA, mm	PESO			Pasa, %
		Retenido			
		Parcial, g	Parcial, %	Acumulado, %	REAL
1 1/2"	38,1	0	0	0	100,00
1"	25,40	0	0	0	100,00
3/4"	19,05	223	11	11	88,85
1/2"	12,70	974	49	60	40,15
3/8"	9,52	528	26	86	13,75
Nº 4	4,75	245	12	99	1,50
Fondo	.....	30	2	200	.....

Fuente: Propia

En la siguiente figura, se muestran los resultados graficados del análisis granulométrico.



Fuente: Propia

Figura 14. Gráfica Granulometría Agregado Grueso.

6.2.2.1 Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal.

El tamaño máximo nominal, se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea del 15% a más, esto se cumple en el tamiz $\frac{3}{4}$ ", por lo cual este será la partícula de TMN.

En la práctica lo que indica el tamaño máximo nominal es el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregado. El tamaño máximo nominal define mejor el tamaño de las partículas más grandes de la masa de agregados en su fracción gruesa, mientras que el tamaño máximo solo indica el tamaño de la partícula más grande la cual puede ser única, el cual en el caso particular es 1".

6.3. Masas Unitarias. (NTC - 92)

El peso volumétrico de un agregado, más comúnmente conocido como la masa unitaria, está definido como la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. De tal manera que al colocar el agregado dentro del recipiente se tendrá un acomodamiento de las partículas en que el menor volumen de espacios entre partícula y partícula se logra cuando se coloca la mayor cantidad posible de piedras, lo cual depende, del tamaño, la granulometría, la forma y la textura del agregado.

6.3.1. Masa unitaria suelta del agregado fino

La masa unitaria es una densidad del material como conjunto:

$$MasaUnitaria = \frac{Ps}{Vr}$$

Donde:

Ps = peso seco del material fino tomando tres datos y promediando:

Ps1= 11320 gr

Ps2= 11350 gr

Ps3= 11440 gr

Ps promedio= 11370 gr

Peso del molde = 3105 gr

Peso del material = 11370-3105= 8265.0 gr

Vr = volumen del recipiente

El denominador es el volumen del recipiente, el cual incluye el volumen de las partículas, el volumen de los poros de las partículas (saturables y no saturables) y el volumen de los espacios entre partícula y partícula. El numerador de la expresión es el peso de material que depende de que tan compactas y densas (poco porosas) sean las partículas.

En consecuencia la masa unitaria de un agregado indica de manera general la calidad de éste y su aptitud para ser utilizado en la fabricación de concreto. Existen dos tipos de masas unitarias cuyo valor suele oscilar entre 1.100 kg/m³ y 1.600 kg/m³ para agregados naturales según su grado de compactación.

A continuación se aportan los datos del molde en el cual se realizan los ensayos de masa unitaria.

Peso Molde = 3105gr

Diámetro molde= 18.5cm

Altura molde =18.5cm

$$Vol_{molde} = \frac{\pi \cdot diámetro_{molde}^2}{4} \cdot h_{molde}$$

$$V_{molde} = \frac{\pi \cdot (19,0cm)^2}{4} \cdot (19cm) = 5387,06cm^3$$

$$MasaUnitaria = 8265 / 5387,06$$

$$MasaUnitaria = 1,53gr / cm^3$$

6.3.2. Masa unitaria suelta del agregado grueso

Ps1= 10230 gr

Ps2= 10250 gr

Ps3= 10245 gr
Ps promedio= 10242 gr
Peso del molde = 3105 gr
Peso del material = 10242-3105= 7137 gr

$$MasaUnitaria = 7137 / 5387,06$$

$$MasaUnitaria = 1,32 gr / cm^3$$

6.3.3. Masa Unitaria Compacta del agregado fino (NTC - 92)

Se entiende como masa unitaria compacta el grado de acomodamiento de las partículas del agregado cuando se ha sometido a vibración ya que esta mejora el acomodamiento y aumenta la masa unitaria.

La importancia de este factor radica en que con él se determinan los volúmenes absolutos de agregados en el diseño de mezclas por cuanto las partículas del agregado van a quedar confinadas dentro de la masa de concreto.

Ps1= 12040 gr
Ps2= 12035 gr
Ps3= 12040 gr
Ps promedio= 12038 gr
Peso del molde = 3105 gr
Peso del material = 12038-3105= 8933 gr

$$MUC_{AgregadoFino} = \frac{PesoPr omedio}{V_{molde}}$$

$$MUC_{AgregadoFino} = \frac{8933gr}{5387,06cm^3}$$

$$MUC_{AgregadoFino} = 1,66 \frac{gr}{cm^3}$$

6.3.4. Masa Unitaria Compacta del agregado grueso (NTC - 92)

Ps1= 10950 gr
Ps2= 10870 gr
Ps3= 10900 gr
Ps promedio= 10907 gr
Peso del molde = 3105 gr
Peso del material = 10907-3105= 7802 gr

$$MUC_{AgregadoFino} = \frac{\text{Peso Pr omedio}}{V_{molde}}$$

$$MUC_{AgregadoFino} = \frac{7802gr}{5387,06cm^3}$$

$$MUC_{AgregadoFino} = 1,45 \frac{gr}{cm^3}$$

6.4. Contenido de Materia Orgánica del Agregado Fino. (NTC – 127)

En algunos casos se puede encontrar presencia de altos contenidos de materia orgánica en los agregados. Las menos perjudiciales son las de tipo visible, tales como ramas y raíces, ya que pueden ser fácilmente detectadas y removidas. El peligro lo significa en mayor proporción la materia orgánica no visible que se impregna o se adhiere a los granos de agregado.

La presencia de elevadas cantidades de ese tipo de sustancias puede interferir en las reacciones químicas de la hidratación del cemento, así como también pueden resultar de un concreto de menor resistencia y puede afectar la velocidad de reacción del cemento, ocasionando retrasos considerables en su tiempo normal de fraguado.

Cuando debido al tamaño y al color de las partículas de arena no es posible detectar la presencia de materia orgánica a simple vista, se acostumbra a emplear el ensayo colorimétrico para definir si ésta contiene o no materia orgánica.

En caso de agregados obtenidos por trituración, es común encontrar abundante presencia de polvillo, como material fino, por efecto mismo de las mandíbulas trituradoras, para su uso en el concreto deben tener su superficie limpia para no afectar la adherencia entre la pasta del cemento endurecida y el agregado. Esto causa bajas resistencias a la compresión y durabilidad del concreto.

Cuando debido al tamaño y al color de las partículas de arena no es posible la detección de presencia de materia orgánica a simple vista, se emplea el método descrito en la NTC 127, Ensayo colorimétrico, el cual es muy fácil de realizar. A continuación se muestran las fotografías tomadas al material al cual se le hizo el ensayo de contenido de materia orgánica.

Realizando la comparación con la plantilla de colores, en la cual cada color referencia un porcentaje de materia orgánica, el agregado fino no alcanza a llegar a la primera coloración, por lo cual es apto para utilizar en

la mezcla ya que la materia orgánica contenida no reacciona con el cemento.

6.5. Humedad (NTC – 127)¹¹.

Esta propiedad física de los agregados es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los agregados en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. El contenido de humedad de un agregado es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje.

El proceso de la obtención del contenido de humedad de una muestra se hace en laboratorios, el equipo de trabajo consiste en un horno donde la temperatura pueda ser controlable. Una vez tomada la muestra del sólido en estado natural se introduce al horno. Ahí se calienta el espécimen a una temperatura de más de 100 grados Celsius, para producir la evaporación del agua y su escape a través de ventanillas. Se debe ser cuidadoso de no sobrepasar el límite, para no correr el riesgo de que el agregado quede cremado con la alteración del cociente de la determinación del contenido de humedad. El material debe permanecer un periodo de doce horas en el horno, por esta razón se acostumbra a iniciar el calentamiento de la muestra de suelo al final del día, para que así se deshidrate durante toda la noche.

Cumplidas ya las 12 horas de secado de la muestra de tamaño normal se procede a retirar y pesar, para así obtener el peso del agregado seco. El peso del agua será la diferencia entre el peso de la muestra en estado natural y la muestra seca del agregado.

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{PesoAgua}}{\text{PesoSeco}} \cdot 100$$

$$\% \text{Humedad para agregado fino} = 14,10\%$$

$$\% \text{Humedad para agregado grueso} = 7,39\%$$

6.6. Índice de Caras Fracturadas del Agregado Grueso.

Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como “partícula fracturada”. Una partícula fracturada se considera como fracturada cuando un 25% o más del área

¹¹ <http://www.arqhys.com/construccion/suelos-humedad.html>

de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.

Tabla 6. Porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso

TAMAÑO DEL AGREGADO		A (gr)	B (gr)	C (%) $\frac{B}{A} \cdot 100$	D (%)	E (gr) $C \cdot D$
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ					
1'1/2	1"	0				
1"	3/4"	1500.6	1295,4	86.32	11.15	962.47
3/4"	1/2"	1203.6	1128.6	93.76	48.70	4566.11
1/2"	3/8"	300	249.2	83.06	26.40	2192.78
TOTAL			2673.2	263.14	86.25	7721.35

Fuente: Propia.

Donde:

A = Peso muestra

B = Peso material con caras fracturadas

C = Porcentaje de caras fracturadas

D = Porcentaje retenido gradación original

E = Promedio de caras fracturadas

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{\text{totalE}}{\text{totalD}} \%$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{7721.35}{86.25} \%$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 89,52\%$$

Con los resultados obtenidos de este ensayo se puede determinar que en el agregado grueso no se presentan partículas con características redondas dado que el porcentaje en caras fracturadas es del 89,52%, lo cual se puede afirmar que el material tuvo una buena trituración.

6.7. Desgaste de la Máquina de los Ángeles. (NTC – 98)¹²

La resistencia a la abrasión, desgaste o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando a las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como lo es el caso de losas de concreto y

¹² http://www.construaprende.com/lap/12/parc12_1.htm

pavimentos. Es indispensable en el diseño de las mezclas la resistencia a la abrasión porque con este ensayo conoceremos la durabilidad y la resistencia que tendrá en concreto para la fabricación de losas, estructuras simples o estructuras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ella.



Fuente: Propia.

Figura 15. Máquina de los Ángeles.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{Pa - Pb}{Pa} * 100$$

Donde:

Pa = Peso de la muestra seca antes del ensayo= 4501,0 gr

Pb = Peso de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre el tamiz (No 12)= 3020,1 gr

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{Pa - Pb}{Pa} * 100 \%$$

$$\text{Porcentaje de desgaste} = 32 \%$$

Los resultados obtenidos de este proceso son los que se muestran en la siguiente tabla:

6.8. Peso Específico y Absorción.

La densidad es una de las propiedades del agregado que depende directamente de la roca original de donde proviene y está definida como la relación entre la masa y el volumen de una masa determinada.

En el caso de los agregados para el concreto, es necesario definir cuidadosamente el término densidad, puesto que generalmente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua dependiendo de la permeabilidad interna.

Los poros saturables son aquellos que están conectados con el exterior, mientras que los no saturables son los que están en el interior de las partículas y no están conectados con la superficie.

Densidad Nominal

Es la relación que existe entre la masa de las partículas y el volumen nominal, que es el que ocupan las partículas de ese material, incluyendo los poros no saturables.

$$\text{Densidad nominal} = \frac{P_s}{P_s - P_w}$$

Donde:

P_w = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua

P_s = Masa en gramos de la muestra seca

Densidad Aparente

Es la relación entre la masa de las partículas y su volumen aparente, que incluye el volumen de los poros saturables y no saturables que hay dentro de las partículas.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P_s}{P_{SSS} - P_w}$$

Donde:

P_{SSS} = Masa en gramos de la muestra saturada interiormente

P_s = Masa en gramos de la muestra seca

En el campo de la tecnología del concreto, la densidad aparente es la más importante, debido a que con ella se determina la masa de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, porque los poros interiores dentro de las partículas de agregados van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y porque el agua que se aloja dentro de los poros saturables no hace parte del agua de la mezcla, entendiéndose por agua de mezcla tanto el agua de hidratación del cemento como el agua libre que en combinación con el cemento, produce la pasta lubricante de los agregados.

Los rangos establecidos para este parámetro están entre 2.3 y 2.8, para que pueda ser utilizada para mezclas de concreto.

6.8.1. Peso Específico y Absorción Agregado Fino (NTC – 237).

A continuación se muestran los cálculos realizados para obtener el peso específico y la absorción del agregado fino.

$$P_{\text{probeta}} = 182.3 \text{ gr}$$

$$P_{SSS} = 500 \text{ gr}$$

$$P_{SSS} + P_{\text{probeta}} + \text{volumen agua añadido} = 961,77 \text{ gr}$$

$$P_s = 490,8 \text{ gr}$$

Vol de agua añadido= $P_{sss} + P_{\text{probeta}} + \text{volumen agua añadido} - (P_{\text{probeta}} + P_{sss}) = 279.4$

Donde:

P_{probeta} = Peso de la probeta

P_{sss} = Masa en gramos de la muestra superficialmente seca internamente saturada.

P_s = Masa en gramos de la muestra seca

$$\text{Peso específico del agregado fino} = \frac{P_s}{(P_{sss} - \text{Vol agua añadido}) - (P_{sss} - P_s)}$$

$$\text{Peso específico del agregado fino} = \frac{490,8}{(500 - 279.4) - (500 - 490.8)} \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = 2,32 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s} \cdot 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{500 - 490.8}{490.8} \cdot 100 = 1.87\%$$

6.8.2. Peso específico y absorción del agregado Grueso (NTC – 176).



Fuente: Propia

Figura 16. Balanza para determinar el peso Específico del agregado Grueso.

A continuación se muestran los cálculos realizados para obtener el peso específico y la absorción del agregado grueso.

Pw = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua
 Psss = Masa en gramos de la muestra saturada interiormente
 Ps = Masa en gramos de la muestra seca
 Da = Densidad aparente
 Dn = Densidad nominal

$$\text{Peso específico del agregado grueso} = \frac{P_s}{P_{sss} - (P_{sss} - P_w)}$$

Pw = 4028 gr
 Psss = 6982 gr
 Ps = 6925 gr

$$\text{Peso específico del agregado grueso} = \frac{6925}{6982 - (6982 - 4028)} \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico del agregado grueso} = 1,71 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s} \cdot 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{6982 - 6925}{6925} \cdot 100 \%$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = 0,82 \%$$

$$\text{Densidad nominal} = \frac{P_s}{P_s - P_w}$$

$$\text{Densidad nominal} = \frac{6925}{6925 - 4028}$$

$$D_n = 2,39 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P_s}{P_{sss} - P_w}$$

$$D_a = \frac{6925}{6982 - 4028} \text{ gr/cm}^3$$

$$D_a = 2,34 \text{ gr/cm}^3$$

6.9. Densidad de la Viruta de Acero.

En vista que no se tiene una norma específica para obtener el resultado de la densidad de viruta de acero, se decidió desarrollar el siguiente procedimiento.

Se tomó una muestra representativa de la viruta de acero, la cual se pesa antes de ser introducida dentro de una probeta con agua, en la cual se tiene un volumen de referencia.

Cuando está la muestra de viruta dentro del agua, se observa cual es el valor de volumen final.

La diferencia entre el volumen de referencia y el volumen final, es el volumen de la viruta.

La densidad de la viruta se obtiene como la relación entre peso y volumen. A continuación se muestran los cálculos para este procedimiento:

$$\gamma_{\text{viruta}} = \frac{\text{PesoSecoViruta}}{\text{VolFinal} - \text{VolInicial}} = \frac{409.16\text{gr}}{0.623 - 0.50} = 3326.5 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \approx 3330 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

7. DISEÑO DE MEZCLA.

El conocimiento de las propiedades del concreto tanto en estado endurecido, como en estado fluido tiene como finalidad primordial determinar el diseño de mezcla.

El método utilizado en el presente diseño tiene como base los procedimientos del American Concrete Institute elaborado por el Comité ACI 211 y el de la Road Note Laboratory (RNL).

El método americano ACI es el más conocido y ampliamente usado. Se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams. Consiste en seguir en forma ordenada una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para un (1) m³ de concreto.

Para el caso específico, el concreto adicionado con viruta, se realizaron unas muestras preliminares con dosificación típica de concreto 1:2:3, de tal manera que se variaron los porcentajes de agregado fino y agregado grueso, con viruta, para establecer cuál era el mejor comportamiento.

En la siguiente tabla se muestran las cantidades de cemento, agregados y agua que tiene el concreto realizado con la relación mencionada:

Tabla 7. Cantidades de material para 1 m³ de concreto 1:2:3 sin adición de viruta

Material	Aire (kg)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Triturado (kg)	Agua (Lt)
Cantidad	0,00	335,52	799.21	961.78	161.00

Fuente: Propia

En la siguiente figura, se muestran las viguetas preliminares



Fuente: Propia

Figura 17. Muestras Preliminares sin adición de viruta.

Con esta mezcla se desarrollaron las proporciones preliminares cambiando el agregado grueso y fino por viruta como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8. Cantidades de materiales para fabricar las viguetas dependiendo de la adición de la viruta en unidades de masa

Tipo de Muestra	Agregado Grueso (kg)	Agregado Fino (kg)	Viruta (kg)
Adición 0% de viruta	961.78	799.21	0,00
Adición 6% de viruta	961.776	751.253	64.627
Adición 8% de viruta	961.776	735.269	86.170
Adición 10% de viruta	961.776	719.29	107.7
Adición 12% de viruta	961.776	703.30	129.3
Adición 14% de viruta	961.776	687.32	150.8

Fuente: Propia



Fuente: Propia

Figura 18. Muestras Preliminares desencofradas sin adición de viruta.

Para determinar la resistencia a la flexión de las viguetas, se debe determinar el área de aplicación de la carga de compresión. A continuación se muestra el cálculo tipo respectivo:

7.1. Datos Específicos Preliminares de los Materiales:

De los ensayos mostrados en el capítulo 6, se obtuvieron:

Tabla 9. Propiedades de los materiales para diseño de mezcla.

Propiedades	Agregado Grueso	Agregado Fino	Viruta
Peso Específico	2660	2320	3330
Absorción	0.82	1.87	-
Masa Unitaria Suelta	1320	1530	-
Humedad	0.7	6.5	-
Masa Unitaria Compacta	1450	1660	-
Tamaño Máximo (mm)	25.4	-	-
Tamaño Máximo Nominal (mm)	25.4	-	-

Fuente: Propia

Tabla 10. Cantidades de material para 1 m³ de concreto sin adición de viruta

Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m³)	Vol (m³)
Aire	0,000	0	0,015
Agua	161,00	1000	0,195
Cemento	335,52	3110	0,108
Agregado Grueso	961,78	2660	0,359
Agregado Fino	799,21	2320	0,323
	2257,499758		1,000

Fuente: Propia

Tabla 11. Diseño de mezcla adicionando 6% de viruta

Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m³)	Vol (m³)
Aire	0,000	0	0,015
Agua	163,086	1000	0,195
Cemento	335,517	3110	0,108
Agregado Grueso	961,776	2660	0,359
Agregado Fino	751,253	2320	0,304
Viruta	64,627	3330	0,019
	2276,26		1,000

Fuente: Propia

Tabla 12. Diseño de mezcla adicionando 8% de viruta

Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m³)	Vol (m³)
Aire	0,000	0	0,015
Agua	163,781	1000	0,195
Cemento	335,517	3110	0,108
Agregado Grueso	961,776	2660	0,359
Agregado Fino	735,269	2320	0,298
Viruta	86,170	3330	0,026
	2282,51		1,000

Fuente: Propia

Tabla 13. Diseño de mezcla adicionando 10% de viruta

Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m³)	Vol (m³)
Aire	0,000	0	0,015
Agua	164,476	1000	0,195
Cemento	335,517	3110	0,108
Agregado Grueso	961,776	2660	0,359
Agregado Fino	719,29	2320	0,291
Viruta	107,7	3330	0,032
	2288,77		1,000

Fuente: Propia

Tabla 14. Diseño de mezcla adicionando 12% de viruta

Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m³)	Vol (m³)
Aire	0,000	1000	0,195
Agua	165,171	3110	0,108
Cemento	335,517	2660	0,359
Agregado Grueso	961,776	2320	0,291
Agregado Fino	703,30	3330	0,000
Viruta	129,3	0	0,000
	2295,02		0,953

Fuente: Propia

Tabla 15. Diseño de mezcla adicionando 14% de viruta

Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m³)	Vol (m³)
Aire	0,000	1000	0,195
Agua	165,866	3110	0,108
Cemento	335,517	2660	0,359
Agregado Grueso	961,776	2320	0,291
Agregado Fino	687,32	3330	0,000
Viruta	150,8	0	0,000
	2301,27		0,953

Fuente: Propia

8. RESULTADOS.

Una vez realizadas todas las viguetas tanto las estándar como las que se les adiciono la viruta con los porcentajes mencionados en todo el proyecto, además de haberles curado en las condiciones optimas, se procedieron a fallar, las muestras a flexión a las edades de 3, 7 y 28 días.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos de modulo de rotura a las diferentes edades y con las distintas adiciones de viruta.

Tabla 16. Resumen Tablas.

Mr (MPa)				Porcentajes de Aumento de Resistencia (Kg/cm ²)		
Viguetas- días	3	7	28	3	7	28
Estándar	36,23	40,18	48,75			
6% viruta	40,72	46,46	53,56	12,39	15,63	9,87
8% viruta	44,69	52,04	59,01	23,37	29,51	21,04
10% viruta	50,44	56,47	65,60	39,23	40,54	34,56
12% viruta	38,18	40,18	40,94	5,39	10,92	-16,03
14% viruta	37,92	42,65	37,19	4,68	17,74	-23,71

Fuente: Propia

8.1. Resultados Resistencia a la Flexión Tres (3) días.

A continuación se muestran los resultados de resistencia a la flexión para las muestras tomadas a los tres (3) días para la muestra estándar y las diferentes adiciones de viruta de acero.

8.1.1. Resistencia a la Flexión Tres (3) días muestra estándar.

En la Tabla 17 se muestran los resultados de resistencia a la flexión de las diez (10) viguetas de la muestra estándar probadas a los tres días.

Tabla 17. Prueba Estándar tres (3) Días

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	210	36,4
2	215	37,3
3	200	34,7
4	212	36,7
5	216	37,4
6	200	34,7
7	214	37,1
8	204	35,4
9	208	36,1
10	211	36,6
		36,23

Fuente: Propia

8.1.2. Resistencia a la Flexión Tres (3) días 6% Viruta.

En la Tabla 18 se muestran las resistencias a la flexión de la muestra de concreto con adición de viruta en un 6% probadas a los tres (3) días de construidas.

Tabla 18. Pruebas Adición Viruta 6% tres (3) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	252,75	43,8
2	204	35,4
3	219,75	38,1
4	229,5	39,8
5	246	42,6
6	252,75	43,8
7	246	42,6
8	222	38,5
9	237	41,1
10	239,25	41,5
		40,72

Fuente: Propia

8.1.3. Resistencia a la Flexión Tres (3) Días 8% Viruta.

En la Tabla 19 se muestran los resultados de Resistencia a la Flexión a los tres (3) días de realizadas las muestras de concreto con adición de viruta de 8% respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 19. Pruebas Adición Viruta 8% tres (3) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	258	44,7
2	255	44,2
3	248,25	43,0
4	246,75	42,8
5	261,75	45,4
6	264,75	45,9
7	259,5	45,0
8	253,5	43,9
9	266,25	46,2
10	264,75	45,9
		44,69

Fuente: Propia

8.1.4. Resistencia a la Flexión Tres (3) días 10% Viruta.

En la Tabla 20 se muestran los resultados de resistencia a la flexión de las viguetas que se realizaron con la adición de viruta de acero al diez (10)% del agregado fino de la mezcla de concreto, probadas a los tres (3) días de construidas las probetas.

Tabla 20. Pruebas Adición Viruta 10% tres (3) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	283,5	49,1
2	282,75	49,0
3	291	50,4
4	288	49,9
5	296,25	51,4
6	294,75	51,1
7	297	51,5
8	294,75	51,1
9	296,25	51,4
10	285,75	49,5
		50,44

Fuente: Propia

8.1.5. Resistencia a la Flexión Tres (3) días 12% Viruta.

En la Tabla 21 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los tres (3) días de realizadas las muestras de concreto con adición de viruta de 12% respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 21. Pruebas Adición Viruta 12% tres (3) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	219,75	38,1
2	187,5	32,5
3	214,5	37,2
4	232,5	40,3
5	237,75	41,2
6	211,5	36,7
7	213,75	37,1
8	283,5	49,1
9	200,25	34,7
10	201,75	35,0
		38,18

Fuente: Propia

8.1.6. Resistencia a la Flexión Tres (3) días 14% Viruta.

En la Tabla 22 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los tres (3) días de realizadas las muestras de concreto con adición de viruta de 14% respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 22. Pruebas Adición Viruta 14% tres (3) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	234	40,6
2	230,25	39,9
3	198	34,3
4	261	45,2
5	219,75	38,1
6	217,5	37,7
7	222	38,5
8	240	41,6
9	149,25	25,9
10	216	37,4
		37,92

Fuente: Propia.

En la Figura 19 se observan los resultados de resistencia a la flexión, para la muestra estándar y las diferentes adiciones de viruta de acero.

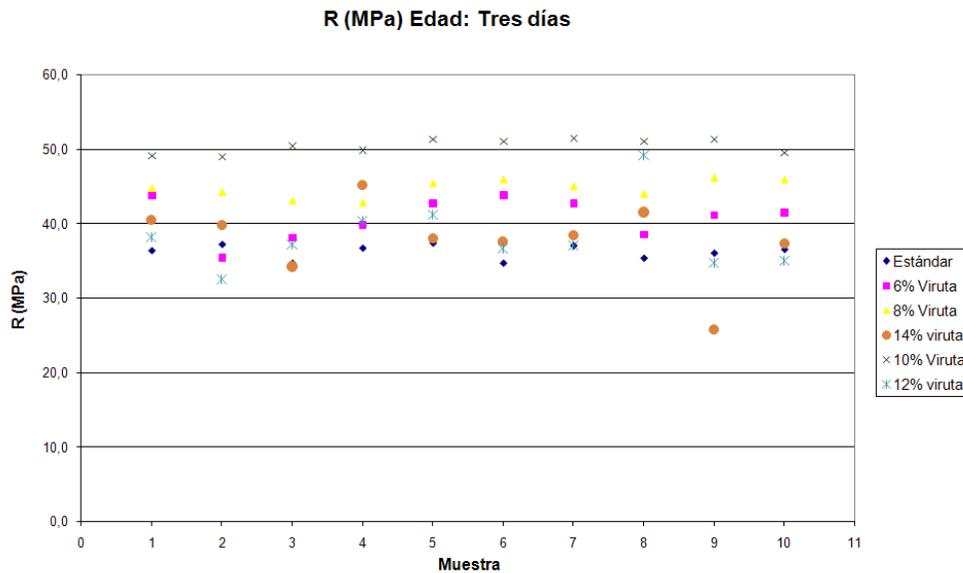


Figura 19. Resistencia a la Flexión Edad Tres (3) días.

8.2. Resultados Resistencia a la Flexión Siete (7) días.

A continuación se pueden observar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados para determinar la resistencia a la flexión de la muestra estándar y la resistencia a la flexión de las muestras con 6%, 8%, 10%, 12% y 14% de adición de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla de concreto a los siete (7) días de realizadas.

8.2.1. Resistencia a la Flexión Siete (7) Días Estándar.

En la Tabla 23, se muestran los resultados de la resistencia a la flexión de las viguetas con edad de siete (7) días, y las cuales no tenían adición de viruta en su mezcla.

Tabla 23. Pruebas Estándar siete (7) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	237	41,1
2	230	39,9
3	235	40,7
4	227	39,3
5	232	40,2
6	229	39,7
7	226	39,1
8	234	40,6
9	236	41,0
10	233	40,4
		40,18

Fuente: Propia

8.2.2. Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 6% Viruta.

En la Tabla 24 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los siete (7) días de fabricadas las probetas y con una adición de viruta de 6% respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 24. Pruebas Adición Viruta 6% siete (7) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	257,25	44,6
2	267,75	46,4
3	269,25	46,7
4	276,75	48,0
5	261,75	45,4
6	265,5	46,0
7	270,75	46,9
8	272,25	47,2
9	260,25	45,1
10	279	48,4
		46,46

Fuente: Propia

8.2.3. Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 8% Viruta.

En la Tabla 25 se muestran los resultados de resistencia a la flexión para muestras de siete (7) días de edad y con 8% de adición de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 25. Pruebas Adición Viruta 8% siete (7) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	298,5	51,7
2	291,75	50,6
3	303,75	52,7
4	284,25	49,3
5	290,25	50,3
6	303	52,5
7	306	53,0
8	302,25	52,4
9	309	53,6
10	313,5	54,3
		52,04

Fuente: Propia

8.2.4. Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 10% Viruta.

En la Tabla 26 se muestran los resultados de resistencia a la flexión para muestras de siete (7) días de edad y con 10% de adición de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 26. Pruebas Adición Viruta 10% siete (7) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	315,75	54,7
2	320,25	55,5
3	322,5	55,9
4	333,75	57,9
5	328,5	56,9
6	321,75	55,8
7	323,25	56,0
8	333	57,7
9	327,75	56,8
10	331,5	57,5
		56,47

Fuente: Propia

8.2.5. Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 12% Viruta.

En la Tabla 27 se muestran los resultados de resistencia a la flexión para muestras de siete (7) días de edad y con 12% de adición de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 27. Pruebas Adición Viruta 12% siete (7) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	244,5	42,4
2	249	43,2
3	223,5	38,7
4	254,25	44,1
5	212,25	36,8
6	195,75	33,9
7	234	40,6
8	237	41,1
9	248,25	43,0
10	219,75	38,1
		40,18

Fuente: Propia

8.2.6. Resistencia a la Flexión Siete (7) Días 14% Viruta.

En la Tabla 28 se muestran los resultados de resistencia a la flexión para muestras de siete (7) días de edad y con 14% de adición de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla.

Tabla 28. Pruebas Adición Viruta 14% siete (7) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	305,25	52,9
2	224,25	38,9
3	246,75	42,8
4	214,5	37,2
5	231	40,0
6	252,75	43,8
7	231	40,0
8	272,25	47,2
9	253,5	43,9
10	229,5	39,8
		42,65

Fuente: Propia

En la Figura 20 se muestran gráficamente los resultados de los numerales 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.2.4, 8.2.5 y 8.2.6 del documento, y en los cuales se reportan las resistencias a la flexión de las muestra estándar y 6%, 8%, 10%, 12% y 14% de adición de viruta de acero en las mezclas de concreto, siempre la que presenta una mejor respuesta de valores es la muestra del 10%.

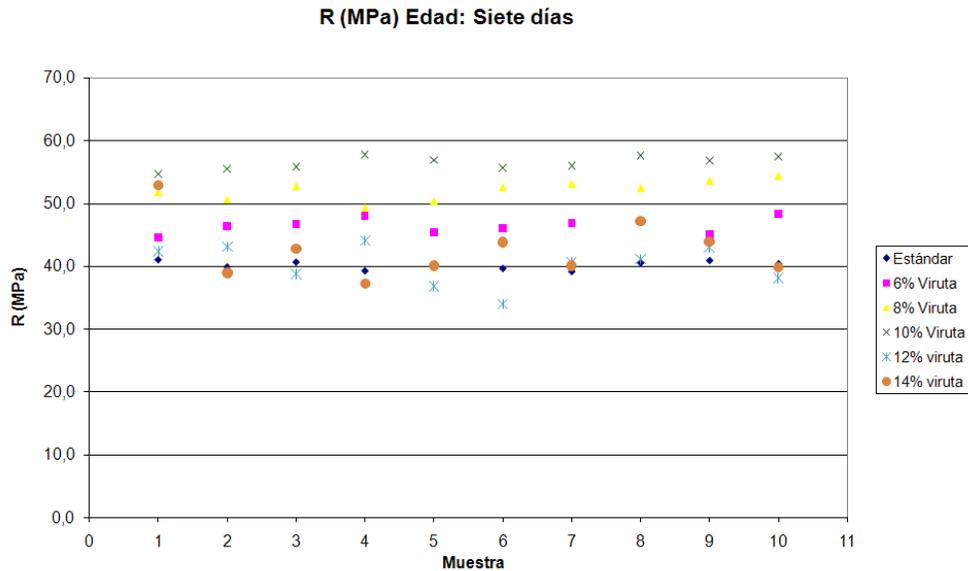


Figura 20. Resistencia a la Flexión Siete (7) días.

8.3. Resultados Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) días.

A continuación se pueden observar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados para determinar la resistencia a la flexión de la muestra estándar y la resistencia a la flexión de las muestras con 6%, 8%, 10%, 12% y 14% de adición de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla de concreto a los veintiocho (28) días de realizadas.

8.3.1. Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días Estándar.

En la 0 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los veintiocho (28) días de la muestra estándar de concreto, aquella que no tiene adición de viruta de acero.

Tabla 29. Pruebas Estándar veintiocho (28) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	274	47,5
2	277	48,0
3	284	49,1
4	276	47,8
5	284	49,1
6	277	48,0
7	284	49,3
8	286	49,5
9	282	48,9
10	290	50,3
		48,75

Fuente: Propia

8.3.2. Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 6% Viruta.

En la Tabla 30 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los veintiocho (28) días de la muestra con adición de 6% de viruta respecto al agregado fino de la mezcla de concreto.

Tabla 30. Pruebas Adición Viruta 6% veintiocho (28) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	306,75	53,2
2	297,75	51,6
3	305,25	52,9
4	314,25	54,5
5	299,25	51,9
6	312	54,1
7	303,75	52,7
8	312	54,1
9	318,75	55,3
10	320,25	55,5
		53,56

Fuente: Propia

8.3.3. Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 8% Viruta.

En la Tabla 31 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los veintiocho (28) días de la muestra con adición de 8% de viruta respecto al agregado fino de la mezcla de concreto.

Tabla 31. Pruebas Adición Viruta 8% veintiocho (28) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	329,25	57,1
2	336,75	58,4
3	339,75	58,9
4	345,75	59,9
5	345	59,8
6	348,75	60,5
7	335,25	58,1
8	344,25	59,7
9	342,75	59,4
10	336,75	58,4
		59,01

Fuente: Propia

8.3.4. Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 10% Viruta.

En la Tabla 32 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los veintiocho (28) días de la muestra con adición de 10% de viruta respecto al agregado fino de la mezcla de concreto.

Tabla 32. Pruebas Adición Viruta 10% veintiocho (28) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	375,75	65,1
2	366,75	63,6
3	366	63,4
4	391,5	67,9
5	372	64,5
6	379,5	65,8
7	385,5	66,8
8	382,5	66,3
9	380,25	65,9
10	384,75	66,7
		65,60

Fuente: Propia

8.3.5. Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 12% Viruta.

En la Tabla 33 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los veintiocho (28) días de la muestra con adición de 12% de viruta respecto al agregado fino de la mezcla de concreto.

Tabla 33. Pruebas Adición Viruta 12% veintiocho (28) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	217,5	37,7
2	244,5	42,4
3	255	44,2
4	238,5	41,3
5	219,75	38,1
6	234,75	40,7
7	232,5	40,3
8	231	40,0
9	250,5	43,4
10	237,75	41,2
		40,94

Fuente: Propia

8.3.6. Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días 14% de Viruta.

En la Tabla 34 se muestran los resultados de resistencia a la flexión a los veintiocho (28) días de la muestra con adición de 14% de viruta respecto al agregado fino de la mezcla de concreto.

Tabla 34. Pruebas Adición Viruta 14% veintiocho (28) días.

Muestra	Fuerza (kN)	R (MPa)
1	249	43,2
2	216,75	37,6
3	223,5	38,7
4	220,5	38,2
5	187,5	32,5
6	192,75	33,4
7	217,5	37,7
8	198,75	34,5
9	202,5	35,1
10	237	41,1
		37,19

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestran los resultados de resistencia a la flexión de todas las muestras ensayadas a los veintiocho (28) días, y como siempre la muestra de 10% de adición de viruta es la de mejor comportamiento.

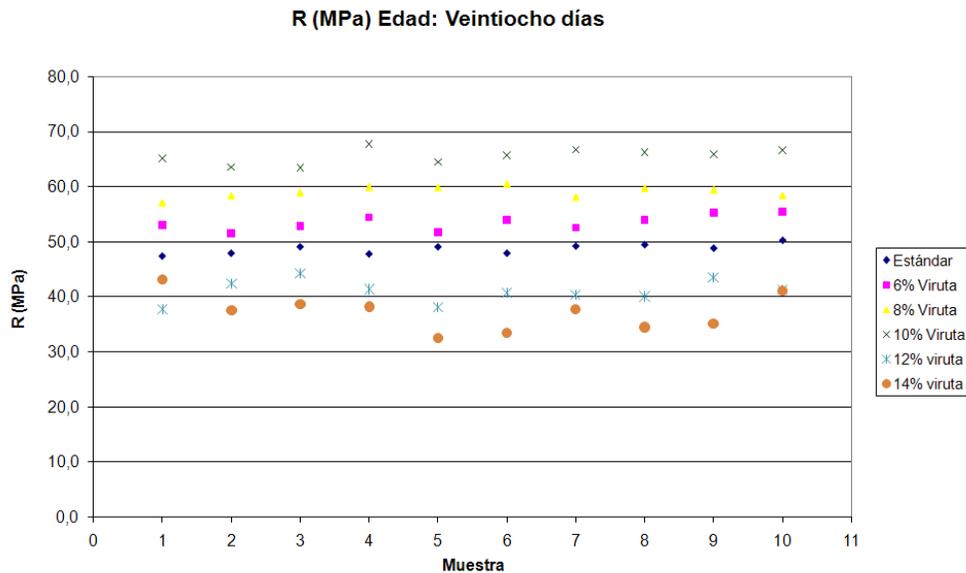


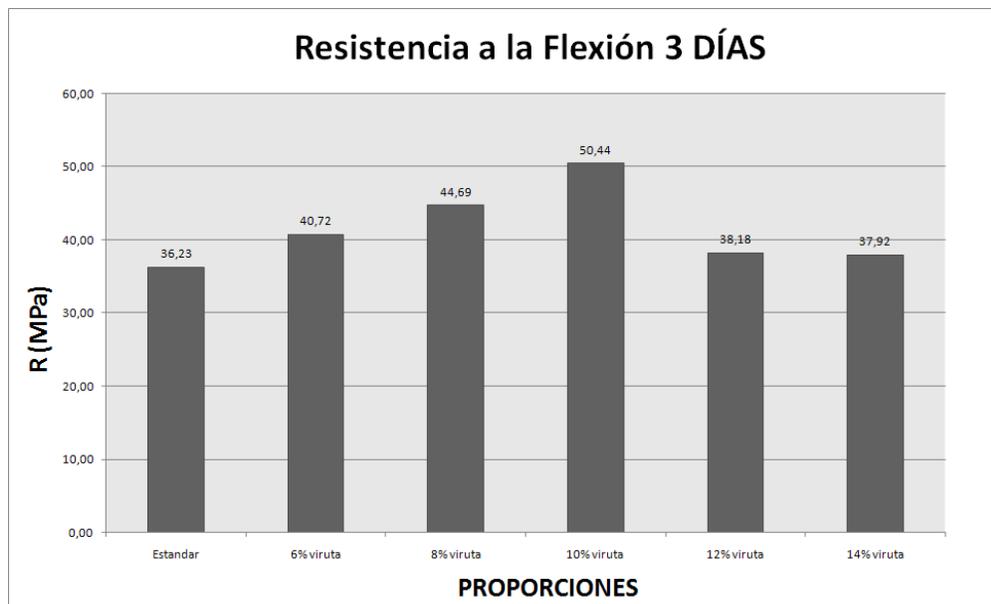
Figura 21. Resistencia a la Flexión Veintiocho (28) Días.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

9.1. Resultados de la Resistencia a la Flexión a los Tres (3) Días.

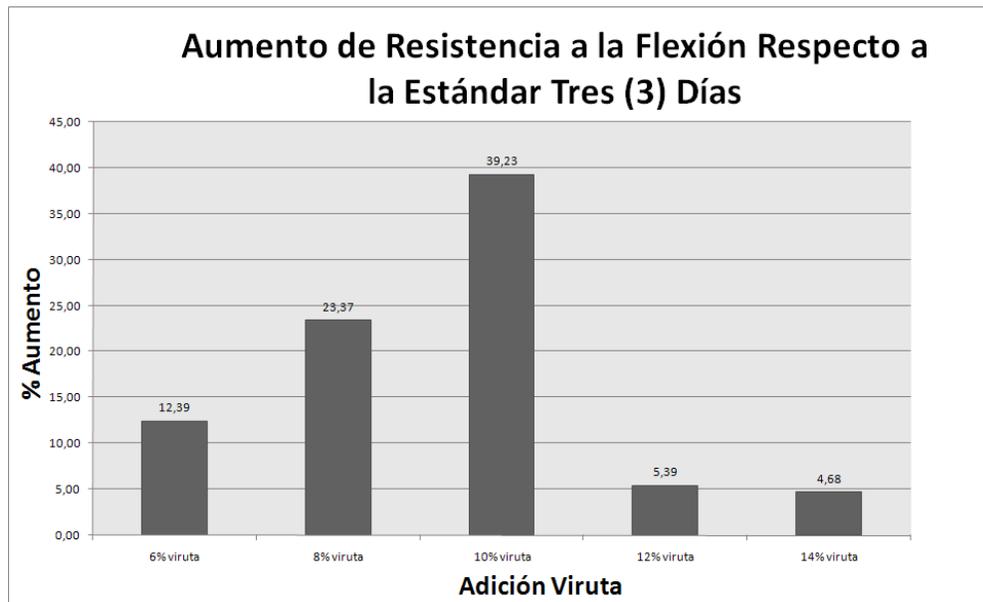
Analizando los resultados de los esfuerzos realizados a las muestras frente a las tres edades de curado que se analizaran y al compararlos con las muestras que tienen viruta con las muestras estándar sin viruta se puede apreciar que la resistencia va aumentando con cada grado de porcentaje que se le adiciona a la muestra y alcanzan el mayor esfuerzo con la adición del 10% de viruta, después de este porcentaje, se disminuye el aumento de resistencia como se muestra en la Figura 22.

A lo largo de la edad de curado de las muestras se observa una evolución constante pero a la vez se aprecia el declive de los esfuerzos con las siguientes adiciones mayores en su grado de viruta como lo fueron las del 12 y 14%.



Fuente: Propia

Figura 22. Relación de Esfuerzo Promedio Tres (3) Días.



Fuente: Propia

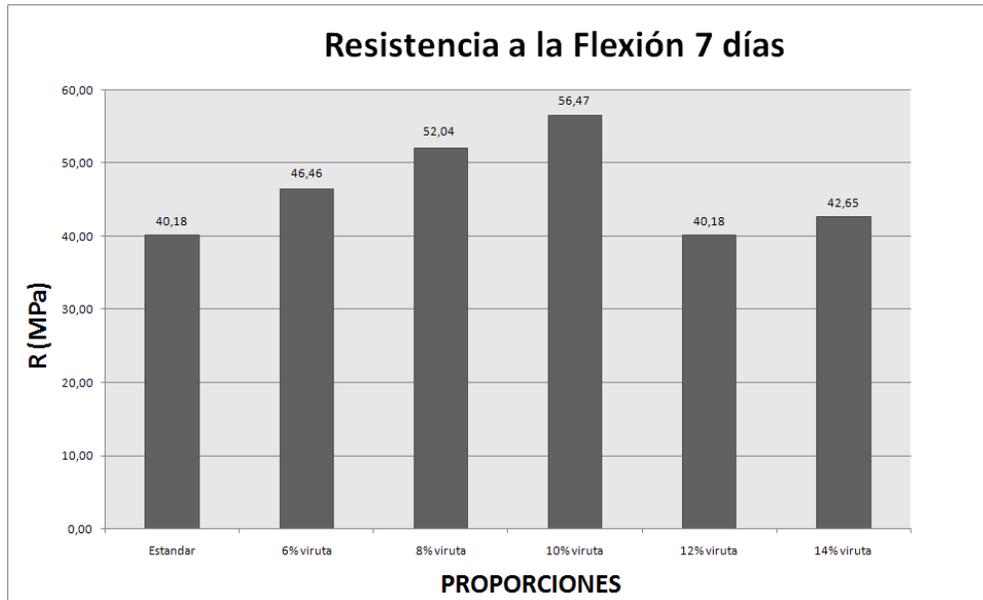
Figura 23. Porcentaje de Aumento de Resistencia Tres (3) Días.

9.2. Resultados de la Resistencia a la Flexión a los Siete (7) Días.

En esta edad de curado el concreto se comportó de una manera muy similar pero con una constante evolución con respecto a los tres días de curado de las muestras.

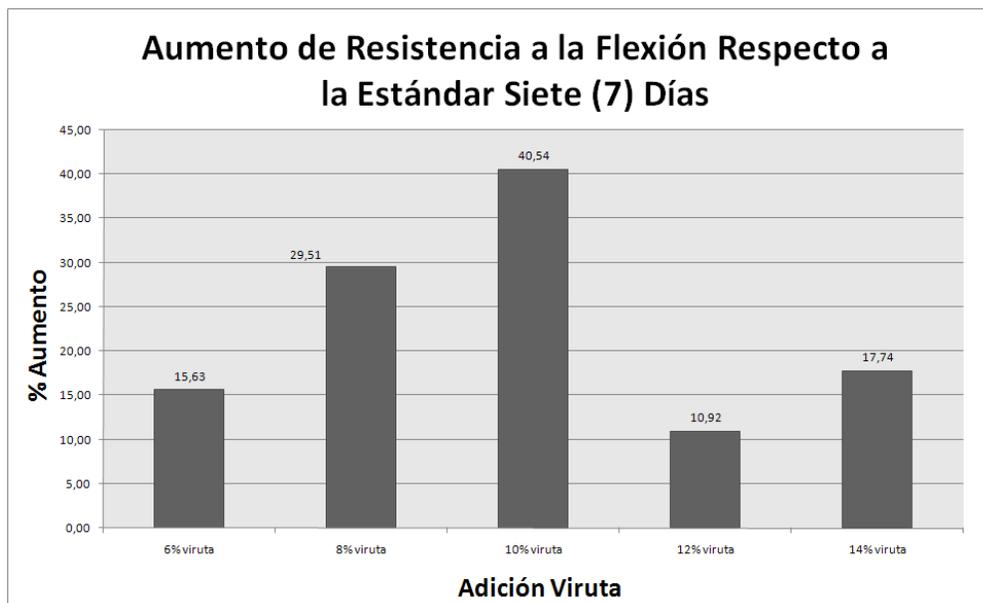
En la Figura 24 de esfuerzos promedio a los siete (7) días, se puede seguir notando el aumento progresivo de la resistencia en cada porcentaje de viruta que se adiciona a las muestras.

En la Figura 25, se puede observar que la muestra de 6% de adición de viruta, tiene un aumento del 15.63%, la adición de 8% presentó un aumento de 29.51%, mientras que la adición del 10% presenta un aumento de 40.54% respecto a la resistencia a la flexión de la muestra estándar. Las adiciones de 12%, aumento un poco la resistencia a la flexión respecto a la estándar en 10.92%, a esta edad, lo mismo que la de 14% que aumento en un 17.74%.



Fuente: Propia

Figura 24. Relación de Esfuerzos Promedio Siete (7) Días.



Fuente: Propia

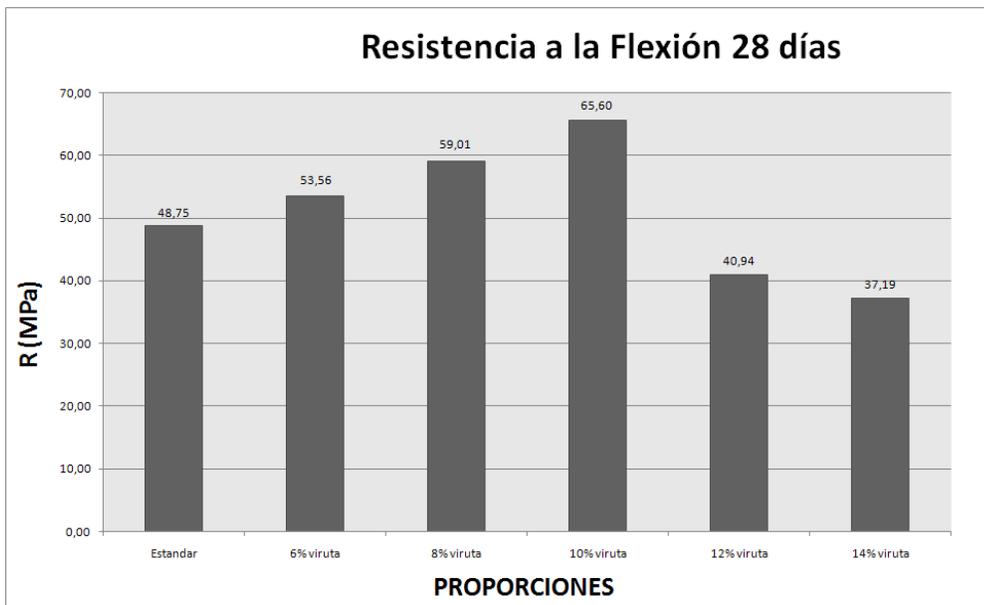
Figura 25. Porcentaje de Aumento Resistencia Siete (7) Días.

9.3. Resultados de la Resistencia a la Flexión a los Veintiocho (28) días.

En estos esfuerzos se puede concluir que la evolución de la resistencia a la flexión en las muestras fue constante a través del tiempo en sus

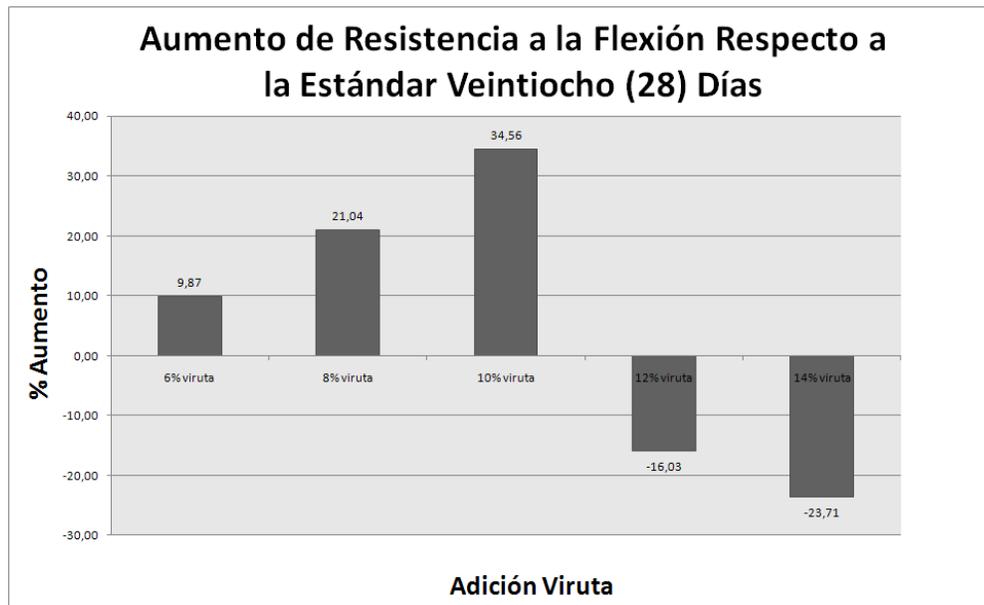
edades de curado presentando un aumento proporcional a su edad y alcanzando la mayor resistencia a los 28 días.

Aunque se presentó un aumento de resistencia como se observa en la Figura 26, no es tan alto como el que se presenta en los otros días de ensayo. En la muestra de 10% de adición que es la que siempre presenta un aumento mayor, se pudo observar que a los tres (3) días se obtuvo un aumento de 39.23%, a los siete (7) días presentó un aumento de 40.54%, mientras que a los veintiocho (28) días, se presentó un aumento menor de 34.56% como se muestra en la Figura 27.



Fuente: Propia

Figura 26. Relación de Esfuerzos Promedio Veintiocho (28) Días.



Fuente: Propia

Figura 27. Porcentaje de Aumento de Resistencia Veintiocho (28) Días.

10. CONCLUSIONES

- Con los porcentajes de adición de viruta que se plantearon en este proyecto, se logró obtener un aumento en la resistencia a la flexión del concreto con cada porcentaje de adición y a través de las edades del curado.
- Al analizar los resultados desde la primera edad del curado se pudo notar que la muestra que alcanzó los mayores esfuerzos frente a la resistencia a la flexión de la muestra estándar, fue la muestra con el **10%** de adición de viruta logrado a los 28 días de curado con un promedio de **65.6 MPa** y un aumento frente a la muestra estándar del **34.56%**.
- Al observar el porcentaje de aumento de la resistencia, en cada una de las edades de curado de las diferentes muestras con porcentajes de adición de viruta, se pudo observar que a edades tempranas se logra un aumento mayor que el que se presenta a los 28 días, a los tres y siete días respectivamente se presenta un incremento del 39% y 40% y a los 28 días un 35%, por cuanto el cemento tipo III alcanza resistencias mayores a edades más tempranas.
- Al adicionar viruta a las mezclas de concreto no afecta sus propiedades como lo es su fluidez y manejabilidad lo cual permite que su uso sea el tradicional en obra, además en la superficie no se observan rastros de la viruta adicionada.
- Con los datos y resultados obtenidos en este estudio se pueden realizar diseños para pavimentos rígidos logrando una mayor economía y un mayor beneficio para la sociedad.
- Al adicionar la viruta al concreto su resistencia a la flexión tiene un aumento óptimo pero para la obtención del mismo material hay que realizar alianzas o crear una microempresa para poder organizar y juntarla en grandes cantidades para luego adaptarla para el proceso de adición ya que este material es muy apetecido por las manos del vandalismo.
- Al obtener una mayor resistencia a la flexión del concreto con la adición de la viruta se puede lograr un menor espesor en la losa del pavimento rígido cumpliendo con la misma vida útil del diseño.
- Al disminuir el espesor de la losa la longitud de la misma disminuirá y se hará más corta la distancia entre juntas entonces aumentará el

refuerzo interno de las mismas para evitar la esbeltez y las fracturas.

- Con el aumento de la resistencia a flexión con adición de viruta en el concreto también se puede aumentar la vida útil del pavimento en un 50% con el mismo espesor de la losa del diseño original.
- Con el rápido aumento de la resistencia a muy temprana edad, se puede abrir muy rápido el paso a el tráfico, esto se da con la utilización de cemento tipo III.
- Para evitar la abrasión se recomienda un excelente terminado en la superficie del pavimento o losas

11. RECOMENDACIONES

- Es importante hacer un estudio detallado al diseño donde se utilice la mezcla de concreto con adición de viruta de 10% (óptima), para analizar el comportamiento de la adición con el tiempo, observado si se presenta problemas a causa de utilizar este residuo, como carbonatación, corrosión y durabilidad.
- Debido al gran aumento en la resistencia, se podría lograr un reducción importante de concreto en el pavimento rígido, que significaría un ahorro importante, pero teniendo en cuenta que una reducción muy grande de concreto en el diseño, al disminuir el espesor de la losa la longitud de la misma disminuirá y, se hará más corta la distancia entre juntas entonces aumentara el refuerzo interno de las mismas para evitar la esbeltez y las fracturas.
- Con estos resultados y algunos estudios posteriores también existe la posibilidad de trabajar concreto adicionado con viruta, en estructuras que necesiten una rápida evolución de su resistencia a edades muy tempranas,
- Lo más importante de este trabajo es continuar con las investigaciones y buscar nuevas aplicaciones de la viruta de acero pero utilizar los churruscos que ofrece la viruta que en este caso no se utilizó ya que la viruta fue tamizada, la sugerencia es aplicarlos manualmente de forma horizontal en el momento de fundir pavimentos y pisos, para lograr más resistencia a flexión.
- Se recomienda realizar un modelo de losa de concreto, sobre la cual se aplique carga de vehículos y se observe donde se presentan las juntas y así determinar si se debe modificar este criterio en la construcción de pavimentos cuando se le adiciona viruta al concreto.

12. BIBLIOGRAFÍA

García Caro, Raul. Roa Zarate Javier Fernando. Diseño De Mezclas De Concreto Con Adición De Microsílica Y Superplastificante para obtener Alta Resistencia A Compresión. Pág 8. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Universidad Industrial de Santander.

Balaguru P., Najm H. ACI Materials journal. July- August 2004. High – Performance Fiber – Reinforced Concrete Mixture Proportions with High Fiber Volume Fractions. Pág 281 – 285.

NTC 121. Especificaciones físicas y mecánicas.

NTC 174. Especificaciones de los agregados para concreto.

NTC 396. Método de Ensayo para determinar el Asentamiento del concreto.

NTC 550 y 1377. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.

NTC 673. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

Sanchez de Guzman, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Biblioteca de la Construcción.

Díaz Posada, María Claudia. Elaboración del contenido virtual de la asignatura Materiales de Construcción apoyado en el software Learning Space. Director: Ing. Alvaro Real Rey. Tesis de Grado para optar al título de ingeniero civil. UPB Seccional Bucaramanga.

Palencia Espinosa, Sergio Andrés. Análisis del comportamiento mecánico y económico de cilindros de concreto con adiciones de pet reciclado. Directo: Ing. Alvaro Real Rey. Tesis de Grado para optar al título de ingeniero civil. UPB Seccional Bucaramanga.

Instituto de Ingeniería UNAN. Manual de Tecnología del Concreto. Editorial Limusa.

Staff Portland Cement Association. Fabricación de Concreto y Acabados. Editorial Limusa.

Staff Portland Cement Association. Proyecto y control de mezclas de concreto. Editorial Limusa.

Las siguientes son las consultas a Internet desarrolladas en este trabajo de grado:

http://www.construaprende.com/lap/12/parc12_1.htm

<http://www.imcyc.com/revista/1998/septiembre/mezcla.htm>

<http://www.portal-industrial.com.ar/index.php/news/main/294/event=view>

[www.arcdesign.com.ar/agregados para concreto.htm](http://www.arcdesign.com.ar/agregados_para_concreto.htm)

[:www.arqhys.com/agregado-concreto.html](http://www.arqhys.com/agregado-concreto.html)

<http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>

www.cemexvenezuela.com/content/publica/cemento/index.asp?ns=dgeneral6tml&nDer=gdralderecha6.html&subm=3&submenu=submenu6.html

<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/>

<http://www.imcyc.com/revista/1998/septiembre/mezcla.htm>

http://es.wikipedia.org/wiki/Material_compuesto

[http://www.maccaferri.com.br/informativo/esp/2006/pdf/dica_tec_esp.pdf.](http://www.maccaferri.com.br/informativo/esp/2006/pdf/dica_tec_esp.pdf)

[http://learning.upbbga.edu.co/LearningSpace5/Program/UI/Main/Themes/Kendall/Main.as
p](http://learning.upbbga.edu.co/LearningSpace5/Program/UI/Main/Themes/Kendall/Main.asp)

[http://www.umng.edu.co/www/images/_ensayo%20maquina%20de%20los%20angeles.jp
g](http://www.umng.edu.co/www/images/_ensayo%20maquina%20de%20los%20angeles.jpg)