

**ANÁLISIS, OBSERVACIÓN Y COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO EN  
FUNCION DEL TIEMPO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE 3000  
PSI CON ADICIÓN DE VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 9%,  
10% Y 11% RESPECTO AL AGREGADO FINO.**

**OMAR ALFONSO SUAREZ GONZALEZ  
ANGELICA MARIA VARGAS RINCON**

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

**ANÁLISIS, OBSERVACIÓN Y COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO EN  
FUNCION DEL TIEMPO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE 3000  
PSI CON ADICIÓN DE VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 9%,  
10% Y 11% RESPECTO AL AGREGADO FINO.**

**OMAR ALFONSO SUAREZ GONZALEZ  
ANGELICA MARIA VARGAS RINCON**

**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, Septiembre de 2008.

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto a mis padres, quienes me brindaron el apoyo necesario para cumplir mi sueño de ser una profesional, acompañándome paso a paso en el camino del aprendizaje de una vida llena de éxitos adquiridos. A Dios quien fue mi guía en todo el proceso, y quien me abrió las puertas para ser la persona que hoy soy, permitiéndome culminar la meta propuesta de ser una Ingeniera Civil. Y a todas las personas que con su cariño me ayudaron a sobrellevar los obstáculos presentados, que me hicieron más fuerte.  
Angélica.*

*A Dios por guiarme e iluminarme para hacer bien las cosas y dejar en cada una de ellas un fragmento de Él, y así poder culminar con éxito esta nueva etapa de mi vida. A mi madre Margarita, por sus enseñanzas, sacrificios, paciencia, comprensión y apoyo incondicional, virtudes que fueron indispensables para que este gran momento llegara... Gracias Madre. A mi esposa Lina Marcela por su amor, esfuerzo, abnegación y perseverancia en estos años para lograr finalmente nuestro objetivo. A mi hijo Daniel Eduardo el mejor regalo que Dios me ha dado. Motor de mi vida a quien amo y protegeré siempre. A mis hermanos Junior y Hansel por su cariño colaboración, entusiasmo y por estar siempre dispuestos a brindar el consejo necesario en el momento oportuno.*

*Omar*

## **AGRADECIMIENTOS**

Damos especial reconocimiento al trabajo, esfuerzo y dedicación de nuestro director(a) de proyecto Ing. CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS quien en su labor docente realizo un acompañamiento exhaustivo durante el tiempo de ejecución del proyecto; de igual manera a nuestro compañero y amigo el Ing. JHON EDINSON SARMIENTO GUTIERREZ y a la compañía de concretos PREVESA S.A quienes facilitaron los materiales y equipos necesarios para la elaboración de las muestras motivos de estudio en este proyecto.

Además a la empresa DANA TRANSEJES DE COLOMBIA LTDA, quien facilitó la Viruta de Acero, para la elaboración de las muestras, ya que entregaron el material tamizado, con la colaboración de dos (2) ayudantes de la empresa.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. OBJETIVOS .....	16
1.1. Objetivo General.....	16
1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. Ensayos Preliminares Agregados Mezcla Concreto.....	17
2.2. Diseño de Mezcla.....	17
2.3. Elaboración de las Muestras.....	17
2.3.1. Muestras 56 días.....	17
2.3.2. Muestras 28 días.....	17
2.3.3. Muestras 7 días.....	18
2.3.4. Muestras 3 días.....	18
2.4. Curado de Cilindros.....	18
2.5. Ensayo de Compresión.....	18
2.6. Análisis de Resultados.....	19
3. JUSTIFICACIÓN .....	20
4. ALCANCE.....	21
5. ANTECEDENTES.....	22
6. MARCO TEÓRICO.....	23
6.1. Concreto .....	23
6.1.1. Control de Calidad del Concreto.....	23
6.1.2. Variaciones en la Resistencia.....	24
6.1.3. Análisis de Resultados de la Resistencia.....	25
6.1.3.1 Variación en la Prueba.....	25
6.1.3.2 Requisitos del nivel de resistencia.....	25
6.1.4. Edad del Concreto.....	25
6.1.5. Curado del Concreto.....	27
6.2. Virtua de Acero.....	27
7. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	32
7.1. Masa Unitaria.....	32
7.1.1. Masa Unitaria Suelta y Compacta Agregado Grueso.....	32
7.1.1.1 Masa Unitaria Suelta Agregado Grueso.....	33
7.1.1.2 Masa Unitaria Compacta Agregado Grueso.....	33
7.1.2. Masa Unitaria Suelta y Compacta Agregado Fino.....	34
7.1.2.1 Masa Unitaria Suelta Agregado Fino.....	34
7.1.2.2 Masa Unitaria Compacta Agregado Fino.....	34
7.2. Humedad.....	35
7.3. Peso Especifico y Absorción.....	36
7.3.1. Peso Especifico y Absorción Agregado Grueso.....	36
7.3.2. Peso Especifico y Absorción Agregado Fino.....	38
7.4. Granulometría.....	39
7.4.1. Granulometría Agregado grueso.....	39
7.4.1.1 Tamaño máximo ( TM).....	39
7.4.1.2 Tamaño Máximo Nominal (TMN).....	39

7.4.2.	Granulometría Agregado Fino.....	40
7.4.2.1	Módulo de Finura ( MF ).....	40
8.	DISEÑO DE MEZCLA.....	42
9.	REALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS. ....	45
10.	RESULTADOS. ....	54
10.1.	Ensayo de Resistencia a la Compresión. ....	54
10.1.1.	Procedimiento.....	54
10.2.	Resultados de Ensayos.....	55
10.2.1.	Resultados Ensayos Compresión Tres (3) días. ....	55
10.2.2.	Resultados Ensayos Compresión Siete (7) días. ....	57
10.2.3.	Resultados Ensayos Compresión Veintiocho (28) días.....	59
10.2.4.	Resultados Ensayos Compresión Cincuenta y Seis (56) días. ....	61
10.2.5.	Promedios Generales de Todas las Muestras.....	63
10.3.	Evolución en el Tiempo de los Esfuerzos Promedios de Compresión. ....	64
10.4.	Porcentaje de Aumento de Resistencia Respecto a la Muestra Estándar. ....	65
11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	68
11.1.	Estadística.....	68
11.1.1.	Promedio General X.....	69
11.1.2.	Desviación Estándar $\sigma$ .....	69
11.1.3.	Variación en la Prueba.....	70
11.1.4.	Requisitos del Nivel de Resistencia.....	70
11.1.5.	Criterios de Evaluación para Diseño de Mezcla.....	71
11.1.6.	Mediana.....	72
11.1.7.	Moda.....	73
11.1.8.	Media Geométrica.....	73
11.1.9.	Media Armónica.....	73
11.1.10.	Media Cuadrática.....	73
11.1.11.	Media Cúbica.....	74
11.2.	Resultados Análisis Estadísticos de las Pruebas por Edades..	74
11.2.1.	Análisis Estadísticos Cilindros Tres (3) días.....	74
11.2.2.	Análisis Estadísticos Cilindros Siete (7) días.....	75
11.2.3.	Análisis Estadísticos Cilindros Veintiocho (28) días.....	76
11.2.4.	Análisis Estadísticos Cilindros Cincuenta y Seis (56) días.....	77
11.2.5.	Análisis Estadísticos por Muestras (Concreto Sin Viruta, 9%, 10% y 11% de Adición de Viruta).....	78
11.3.	Análisis de la Densidad del Concreto:.....	82
11.4.	Comparación de Resultados con Trabajos de Grado anteriores.	83
12.	CONCLUSIONES.....	85
13.	RECOMENDACIONES.....	86
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXO 1	RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN.....	88



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Aumento promedio de la resistencia a la compresión del concreto con el tiempo. ....	26
Tabla 2.	Pesos Masa Unitaria Suelta Agregado Grueso .....	33
Tabla 3.	Pesos Masa Unitaria Compacta Agregado Grueso .....	34
Tabla 4.	Pesos Masa Unitaria Suelta Agregado Fino. ....	34
Tabla 5.	Pesos Masa Unitaria Compacta Agregado Fino.....	35
Tabla 6.	Datos para la Determinación de la Humedad.....	35
Tabla 7.	Granulometría Agregado Grueso.....	40
Tabla 8.	Granulometría Agregado Fino.....	41
Tabla 9.	Resumen de Propiedades Agregado Grueso y Fino. ....	43
Tabla 10.	Diseño de Mezcla Muestra Estándar. ....	44
Tabla 11.	Diseño de Mezcla Muestra 9% de Adición de Viruta.....	44
Tabla 12.	Diseño de Mezcla Muestra 10% de Adición de Viruta.....	44
Tabla 13.	Diseño de Mezcla Muestra 11% de Adición de Viruta.....	44
Tabla 14.	Esfuerzos Promedio del Concreto. ....	55
Tabla 15.	Porcentaje de Aumento de Resistencia respecto a la Muestra Estándar .....	65
Tabla 16.	Resultados promedios y Coeficiente de Desviación estándar.	74
Tabla 17.	Resultados Promedios de Densidad.....	82
Tabla 18.	Resultados Resumen Generales Promedio.....	84
Tabla 19.	Porcentajes de Aumento Respecto a la Estándar. ....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Rangos de proporciones de los componentes del concreto por volumen absoluto.....	23
Figura 2.	Efectos de las Condiciones de Humedad durante el Curado.....	27
Figura 3.	Formación de la Viruta .....	28
Figura 4.	Tipos de Viruta .....	29
Figura 5.	Formación de Viruta según la Velocidad de Corte.....	30
Figura 6.	Fragmentación de la Viruta .....	31
Figura 7.	Granulometría Agregado Grueso.....	40
Figura 8.	Granulometría Agregado Fino.....	41
Figura 9.	Porcentaje de Agregado Grueso y Fino para Utilizar en la Mezcla.....	43
Figura 10.	Camisas.....	45
Figura 11.	Moldes con Aceite.....	46
Figura 12.	Viruta de Acero.....	47
Figura 13.	Programa Ejecución de Mezclas.....	48
Figura 14.	Monitoreo de Máquina de Muestra.....	48
Figura 15.	Tolva y Mezclado.....	49
Figura 16.	Mixer.....	50
Figura 17.	Sitio de Descarga del Material .....	50
Figura 18.	Vibrado de la mezcla.....	51
Figura 19.	Cilindros Fabricados.....	52
Figura 20.	Cilindros Desencofrados.....	52
Figura 21.	Cilindros Curándose.....	53
Figura 22.	Fallas en los Cilindros de Concreto .....	55
Figura 23.	Esfuerzos Totales Muestras Tres (3) días.....	56
Figura 24.	Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Tres (3) días.....	57
Figura 25.	Esfuerzos Totales Muestras Siete (7) días.....	58
Figura 26.	Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Siete (7) días.....	59
Figura 27.	Esfuerzos Totales Muestras Veintiocho (28) días.....	60
Figura 28.	Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Veintiocho (28) días.....	61
Figura 29.	Esfuerzos Totales Muestras Cincuenta y Seis (56) días.....	62
Figura 30.	Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Cincuenta y Seis (56) días.....	63
Figura 31.	Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión.....	64
Figura 32.	Evolución en el Tiempo Resistencia a la Compresión.....	65
Figura 33.	Porcentaje de Aumento de Resistencia Respecto a la Muestra Estándar.....	66
Figura 34.	Porcentaje de Aumento Promedio de Muestras General respecto a la Estándar.....	67
Figura 35.	Distribución Normal Esfuerzo de Compresión.....	69

Figura 36.	Curvas Normales de Frecuencia para Diferentes Desviaciones Estándar. ....	70
Figura 37.	División del Área Bajo la Curva de Distribución Normal de Frecuencia Basada en Desviaciones de X en Múltiplos de $\sigma$ .....	71
Figura 38.	Curvas Normales de Frecuencia para coeficientes de Variación de 10, 15 y 20% .....	72
Figura 39.	Distribución Normal Datos Tres (3) días.....	75
Figura 40.	Distribución Normal Datos Siete (7) días.....	76
Figura 41.	Distribución Normal Datos Veintiocho (28) días. ....	77
Figura 42.	Distribución Normal Datos Cincuenta y Seis (56) días.....	78
Figura 43.	Distribución Normal Concreto sin Viruta. ....	79
Figura 44.	Distribución Normal Concreto 9% Viruta. ....	80
Figura 45.	Distribución Normal Concreto 10% Viruta. ....	81
Figura 46.	Distribución Normal Concreto 11% Viruta. ....	82
Figura 47.	Promedio de Densidades.....	83

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TÍTULO:** ANÁLISIS, OBSERVACIÓN Y COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO EN FUNCION DEL TIEMPO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE 3000 PSI CON ADICIÓN DE VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 9%, 10% Y 11% RESPECTO AL AGREGADO FINO.

**AUTOR(ES):** OMAR ALFONSO SUÁREZ GONZÁLEZ  
ANGELICA MARÍA VARGAS RINCÓN

**FACULTAD:** FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**DIRECTOR(A):** CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS

### RESUMEN

Después de realizar el análisis, observación y comportamiento estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado fino, se obtuvieron datos que corroboran los resultados de investigaciones realizadas anteriormente, pues confirman como el porcentaje óptimo de adición de viruta es de 10%, arrojando resultados de resistencia a la compresión óptimos, siendo en todos los casos los más significativos. Se tomaron muestras altamente representativas sobre los diferentes porcentajes de adición de viruta, para los cuales se ha considerado 120 cilindros para cada porcentaje. Los datos se obtuvieron realizando ensayos de laboratorio propios de los materiales componentes del concreto, que fueron caracterizados uno a uno, para desarrollar la mezcla de concreto óptima y así poder analizar el comportamiento en el tiempo del concreto. El porcentaje de viruta adicionada se hace sobre el agregado fino, esta viruta previamente tamizada es incluida en la mezcla (0%-9%-10%-11%) luego de ello se preparan los moldes y es allí donde se conforman los cilindros. Las muestras son dejadas en un proceso de curado para cada porcentaje con las edades respectivas de 3-7-28-y 56 días. Al cumplir con este proceso de curado las muestras son falladas a compresión en el laboratorio y es entonces donde se procede al análisis estadístico sobre el comportamiento en el tiempo de las mismas. Este análisis demuestra a gran escala que este tipo de concretos tiene un comportamiento aceptable y que el 10% continua siendo un porcentaje favorable en cuanto a la resistencia. De igual manera los demás porcentajes son considerados también muy útiles ya que dependiendo de la aplicación que se requiera puede resultar un proceso económico y aplicable a los procesos constructivos.

**PALABRAS CLAVES:** Viruta de Acero. Concreto. Materiales. Resistencia. Estadística.

### GENERAL SUMMARY OF GRADE WORK

**TÍTULO:** ANALYSIS, OBSERVATION AND STATISTICAL BEHAVIOR IN FUNCTION OF TIME OF A MIXTURE OF CONCRETE OF 3000 PSI WITH ADDITION OF A STEEL SHAVING IN PERCENTAGES OF 9%, 10% AND 11%, RESPECT TO FINE AGGREGATE.

**AUTHOR(S):** OMAR ALFONSO SUÁREZ GONZÁLEZ  
ANGELICA MARÍA VARGAS RINCÓN

**FACULTY:** CIVIL ENGINEERING

**DIRECTOR:** CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS

### ABSTRACT

After analyze, observation and statistical behavior in function of time of a 3000 psi concrete mixture with the addition of a steel shaving in percentages of 9%, 10% and 11% with respect to the fine aggregate, data recordings were obtained which corroborate the result of previous researches, thus the confirm how the optimum of steel shaving adding percentage it is 10%, giving optimum compression resistance as a result, being those the most significant in all cases. Highly significant samples were taken over the different steel adding percentages, for which 120 cylinders per each percentage were considered. The data was obtained by making proper laboratory essays of the materials that composing concrete, which were characterized one by one, in order to develop the optimum concrete mixture and so be able to analyze the behavior of concrete through time. The added steel shaving percentage is made over the fine aggregate, these shavings previously sifted is included within the mixture ( 0%, 9%, 10%, 11%), after that the molds are prepared and it is there where the cylinders take form. The samples are left to the cured process for each percentage with the respective ages of 3 - 7- 28 and 56 days. When this cured process is accomplished, the samples are failed by compression within the laboratory, and it is there, when the statistical analysis goes over the time behavior of the samples. This analysis shows in a great scale, that, this kind of concrete has an acceptable behavior and that 10% continues being a favorable percentage as far as it refers to resistance. In the same way, the other percentages are considered very useful, because depending of the required application it could be a cheap and applicable process the constructive processes.

**KEY WORDS:** Steel shaving. Concrete. Materials. Resistance. Statistics.

## INTRODUCCIÓN

En los estudios realizados previamente sobre el comportamiento de la Viruta de Acero en el concreto, y las que aportan en adiciones de 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 15% y 20% se pudo comprobar que estos pueden reemplazar parte del agregado fino, con resultados óptimos. Se considera necesario hacer un análisis detallado de este material residual (Viruta) teniendo en cuenta el comportamiento en el transcurso del tiempo, para conocer su desempeño en los posibles factores que pueden afectar su calidad y funcionamiento.

Como algo adicional la viruta y el concreto han mostrado una afinidad bastante notable que ha permitido elaborar investigaciones muestren resultados notables y muy puntuales sobre las posibles aplicaciones y usos de estos dos componentes, uno de ellos es la construcción y el otro considerando que la viruta es un material residual, se muestra que se puede aprovechar en aplicaciones que mejoran resultados de un material convencional.

El concreto sigue siendo el material más usado por los constructores y es así como al adicionarle viruta de acero se convierte una mejor opción, por cuanto se incrementa en aproximadamente un 45% la resistencia respecto al concreto normal, por lo cual, puede ser utilizado en estructuras en las cuales se necesite obtener altos resultados de resistencia a la compresión.

Por último es importante mencionar que al encontrar los análisis estadísticos en este proyecto de grado, se pueden corroborar que el porcentaje óptimo de adición de viruta es el 10% reemplazando el agregado fino de la mezcla.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo General.**

Observar el comportamiento de una mezcla de concreto con una adición de viruta en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado fino.

### **1.2. Objetivos Específicos.**

Elaborar el diseño de mezcla para los diferentes porcentajes de viruta adicionadas a la mezcla de concreto.

Realizar 30 probetas para 9%, 10% y 11% de adición de viruta a los 3, 7, 28 y 56 días para cada uno de los porcentajes.

Analizar estadísticamente los diferentes resultados obtenidos con el tiempo y comparar las resistencias logradas en cada uno de los porcentajes de viruta.

Comparar los resultados obtenidos con los estudios realizados previamente.

Analizar los resultados de compresión, observando el aumento de resistencia en el tiempo.

## 2. METODOLOGÍA

Para poder realizar el análisis y la observación estadística en función del tiempo de la mezcla de concreto con adición de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11%, fue necesario hacer una serie de estudios que muestran el comportamiento del concreto arrojando resultados satisfactorios para la investigación.

### 2.1. Ensayos Preliminares Agregados Mezcla Concreto.

Primero se desarrollaron una serie de ensayos de laboratorios aplicados al agregado grueso y al agregado fino:

- Granulometría
- Humedad
- Peso Especifico y Absorción
- Masa Unitaria

### 2.2. Diseño de Mezcla.

Con la obtención de los resultados de estos ensayos de laboratorio se realizó el diseño de mezcla, siguiendo las especificaciones de la norma ICONTEC 174.

### 2.3. Elaboración de las Muestras.

A continuación se procedió con la elaboración de las probetas para el análisis de la siguiente manera:

#### 2.3.1. Muestras 56 días.

Para 56 días de curado se elaboraron:

- 30 cilindros sin adición de viruta.
- 30 cilindros con 9% de adición de viruta.
- 30 cilindros con 10% de adición de viruta.
- 30 cilindros con 11% de adición de viruta.

#### 2.3.2. Muestras 28 días.

Para 28 días de curado se elaboraron:

- 30 cilindros sin adición de viruta.
- 30 cilindros con 9% de adición de viruta.
- 30 cilindros con 10% de adición de viruta.



- 30 cilindros con 11% de adición de viruta.

### **2.3.3. Muestras 7 días.**

Para 7 días de curado se elaboraron:

- 30 cilindros sin adición de viruta.
- 30 cilindros con 9% de adición de viruta.
- 30 cilindros con 10% de adición de viruta.
- 30 cilindros con 11% de adición de viruta.

### **2.3.4. Muestras 3 días.**

Para 3 días de curado se elaboraron:

- 30 cilindros sin adición de viruta.
- 30 cilindros con 9% de adición de viruta.
- 30 cilindros con 10% de adición de viruta.
- 30 cilindros con 11% de adición de viruta.

## **2.4. Curado de Cilindros.**

Se dejaron en agua las muestras para realizar un curado continuo desde que se desencofraron los cilindros y hasta el momento de fallarlos.

## **2.5. Ensayo de Compresión.**

Después de cumplido el tiempo en el que debían estar sumergidos en agua (curado) los cilindros se inició el proceso de obtención de resultados. Antes de realizar la falla de cada uno de los cilindros, se debe tomar medidas de:

- Diámetro del cilindro.
- Altura del cilindro.
- Peso en kg.

Se realiza el ensayo de compresión en la máquina de compresión que arroja las siguientes características del objeto a estudio:

- Carga en KN.

Visualmente se puede obtener después de realizado el ensayo:

- Tipo de falla.

## **2.6. Análisis de Resultados.**

Por último el análisis de resultados, es el que permite conocer con exactitud, el comportamiento estadístico de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de viruta en las proporciones antes mencionadas, y determinar si es factible sustituir una cantidad de agregado fino por viruta de acero.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Después de observar los trabajos e investigaciones anteriormente desarrolladas, y con los resultados de resistencia óptimos de viruta en un porcentaje de 10% de adición de este material reemplazando el agregado fino para 3, 7 y 28 días, se decidió continuar con el trabajo de Análisis, Observación y Comportamiento Estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de Viruta de Acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al Agregado Fino. Y así obtener mayores resultados respecto al comportamiento adicionando Viruta de Acero a una mezcla de concreto, tanto para edades tempranas, como para su desempeño (viruta) en un tiempo más avanzado de fraguado, es decir llegar hasta fallar cilindros a los cincuenta y seis (56) días de realizados.

#### 4. ALCANCE

Después de culminadas los trabajos de grado; “Optimización de un concreto de 3000 psi mejorando la resistencia a la compresión adicionando viruta de acero”, “Mejoramiento de un concreto de 3000 psi con adición de viruta con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la muestra” y “Mejoramiento del concreto con adición de viruta de acero a porcentajes de 12 y 14% respecto al agregado fino de la mezcla”.

Se pudo concluir de estos trabajos, que el porcentaje óptimo de adición de viruta es de 10% estudiados hasta los 28 días. Como no existen estudios de adiciones de viruta en porcentajes de 9%, y 11% para 3, 7, 28 y 56 días, es de gran importancia realizar la investigación: “Análisis, Observación y Comportamiento Estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de Viruta de Acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% Respecto al Agregado Fino”. Así se podrá conocer más a fondo si la viruta con el tiempo presenta problemas como la corrosión u oxidación, e igualmente comprobar si la resistencia de la mezcla de concreto con adición de viruta de acero sigue teniendo resultados óptimos de resistencia.

## 5. ANTECEDENTES.

El comportamiento de los materiales de construcción ha sido un tema de estudio constante, así como el deseo de probar nuevas alternativas de los mismos sin alterar y en último mejorar los resultados y comportamientos finales. Uno de estos estudios que se ha venido desarrollando es la adición de viruta en la mezcla de concreto reemplazando porcentajes del agregado fino.

El estudio de la viruta se inicio con la investigación llamada; “optimización de un concreto de 3000 psi mejorando la resistencia a la compresión adicionando viruta de acero”, en donde se obtuvieron resultados muy alentadores sobre este material, se observó que no es conveniente reducir el porcentaje de agregado grueso en la mezcla, porque disminuye la resistencia a la compresión, contrario a lo que ocurre con el agregado fino que es compatible con la granulometría de la viruta. Se encontró que la adición de viruta en un 10% tiene resistencias más notables en comparación con los otros porcentajes.

Debido a estos excelentes resultados con 10% de adición de viruta en el agregado fino, se continuo el estudio con la investigación denominada; “Mejoramiento de un concreto de 3000 psi con adición de viruta con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la muestra” y “Mejoramiento del concreto con adición de viruta de acero a porcentajes de 12 y 14% respecto al agregado fino de la mezcla”. Los resultados mostraron que el porcentaje de viruta que arroja los esfuerzos mas óptimos es el 10%, e igualmente se descubrió que el incremento de resistencia es muy significativa en todas las edades a las que fueron sometidos los ensayos (3, 7 y 28 días). Con estos resultados se concluyó que es posible elaborar mezclas de concreto mas económicas y sin alterar el nivel de eficiencia.

Ahora es necesario hacer un estudio más a fondo del comportamiento de una mezcla de concreto con una adición de viruta en porcentajes de 9%, 10% y 11% pero a edades mayores (56 días). Y así obtener resultados más precisos de lo que puede ocurrir con el concreto. Además poder hacer análisis estadísticos de las muestras para determinar que tan confiables son los resultados.

## 6. MARCO TEÓRICO.

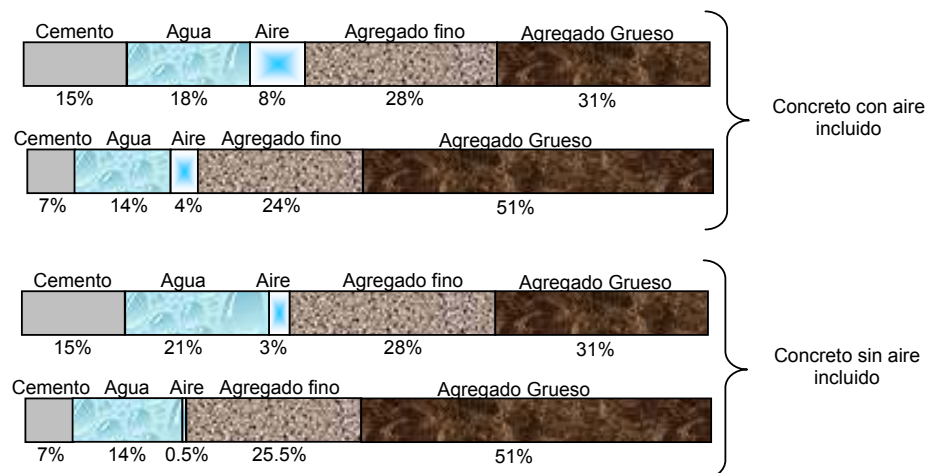
A continuación se muestran algunas características importantes de los materiales que componen el concreto con adición de viruta.

Es importante aclarar que se va a realizar una breve descripción de la obtención de la viruta de acero que se está utilizando en el proyecto de grado.

### 6.1. Concreto<sup>1</sup>

El mortero mezclado con agregado grueso, da como resultado el concreto.

El concreto está compuesto por cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino. En la Figura 1, se muestran los diferentes porcentajes que se manejan en cada uno de los tipos de concreto que se pueden desarrollar.



Fuente: Figura 14.32 Fundamento de la Ciencia de los materiales. Pág 666.

**Figura 1. Rangos de proporciones de los componentes del concreto por volumen absoluto.**

#### 6.1.1. Control de Calidad del Concreto.

El concreto es una masa endurecida de materiales heterogéneos que está sujeto a la acción de muchas variables, las cuales dependen de los materiales que lo constituyen y de procedimientos seguidos durante los procesos de diseño previos tales como la dosificación mezclado entre otros.

<sup>1</sup> Sánchez de Guzmán Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. 1987.

La calidad del concreto se puede definir como la aptitud de este para satisfacer una necesidad definida, al menor costo. Esto se logra en el momento en que al producirlo y colocarlo, el concreto reproduzca finalmente el diseño que ha sido optimizado por el ingeniero y se sigan las recomendaciones de este en cuanto a su manejo.

Una calidad deficiente en el concreto constituye un riesgo muy frecuente para el dueño de la obra y un sobre diseño es un desperdicio económico muy alto de ningún beneficio y que corre por cuenta del propietario de la obra.

Es por eso que este ciclo de producción y manejo del concreto es una actividad que debe ser organizada y racional para optimizar su uso y hacer de este un material altamente viable en cuanto a obras se refiere.

Para hacer de este proceso algo viable es importante tener en cuenta algunos pasos los cuales son:

- Elaboración del proyecto y definición de la categoría correspondiente al concreto
- Redacción de las especificaciones de calidad para el concreto
- Selección y habilitación de los componentes del concreto, con la calidad especificada
- Diseño de la mezcla de concreto requerida, con los seleccionados y dispuestos
- Producción de la mezcla de concreto a escala de obra, mezcla prueba.
- Comprobación de las características previstas en el concreto recién elaborado
- Verificación de las propiedades especificadas en el concreto en estado endurecido
- Ajuste de la mezcla de concreto para buscar concordancia con los requisitos especificados.

### **6.1.2. Variaciones en la Resistencia.**

La magnitud de las variaciones en la resistencia de las muestras de prueba de concreto depende de lo adecuado del control de los materiales de la fabricación del concreto y de la realización de las pruebas. Se puede encontrar el origen de las diferencias en la resistencia en dos fuentes fundamentalmente distintas las variaciones en la propiedades de la mezcla de concreto y de sus ingredientes; y las diferencias aparentes en la resistencia ocasiona la da por las variaciones inherentes a la prueba.

### **6.1.3. Análisis de Resultados de la Resistencia.**

Los procedimientos estadísticos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia y la información derivada de estos procedimientos también sirve para reafirmar criterios y especificaciones de diseño.

Para que estos procedimientos sean válidos los datos deben derivarse de muestras obtenidas en el curso del desarrollo de un plan de muestreo al azar, diseñado para reducir la escogencia de las muestras por parte de quien las toma.

Para obtener el máximo de información, debe efectuarse una cantidad suficiente de pruebas. Los estadísticos han designado 30 pruebas como la línea divisoria entre las muestras grandes y las pequeñas. Por tal motivo, muchos códigos, coinciden en que el número de muestras debe ser como mínimo 30 para que el análisis estadístico sea representativo.

Adicionalmente este análisis se aplica al número total de pruebas efectuadas en un mismo tipo de mezcla que se han producido de manera consecutiva y en condiciones similares durante todo el tiempo.

#### **6.1.3.1 Variación en la Prueba**

La variación en la resistencia del concreto dentro de una prueba única se obtiene calculando la variación de un grupo de cilindros elaborados de una muestra de concreto tomada de una mezcla determinada.

Es razonable suponer que una mezcla de prueba de concreto es homogénea y que cualquier variación entre dos cilindros compañeros elaborados de una muestra determinada es ocasionada por las variaciones en la fabricación, el curado y la prueba.

#### **6.1.3.2 Requisitos del nivel de resistencia**

Cuando se diseña se produce una mezcla de concreto las muestras tomadas del material obtenido no siempre dan la misma resistencia dadas las causas de variación que ya han sido expuestas en unos casos, se valores superiores al de diseño y en otros , se obtienen valores inferiores.

### **6.1.4. 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, es necesario escoger una edad definida para que la resistencia en ese momento caracterice sus propiedades mecánicas. Arbitrariamente, esta edad se ha tomado de 28 días.

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. Esto se debe a que, en el primer caso, los granos de cemento están más cerca unos de otros y se establece más rápidamente un sistema continuo de gel. Por esta razón, no es fácil hacer una extrapolación de la resistencia a los 7 días para obtener valores a los 28 días, aunque se trate de un solo tipo de cemento.

Sin embargo, tomado como base la resistencia a la compresión a los 28 días, el aumento promedio de la resistencia con el tiempo, se puede asumir de manera aproximada como se indica en la Tabla 1, para concretos preparados con relaciones agua-cemento equivalentes y distintos cementos tipo 1 del país, pero teniendo en cuenta que la resistencia a los 28 días de edad no es la misma para todos los cementos.

En esta tabla, el límite inferior corresponde a relaciones agua-cemento altas (0.7) y el límite superior a relaciones agua-cemento bajas (0.4).

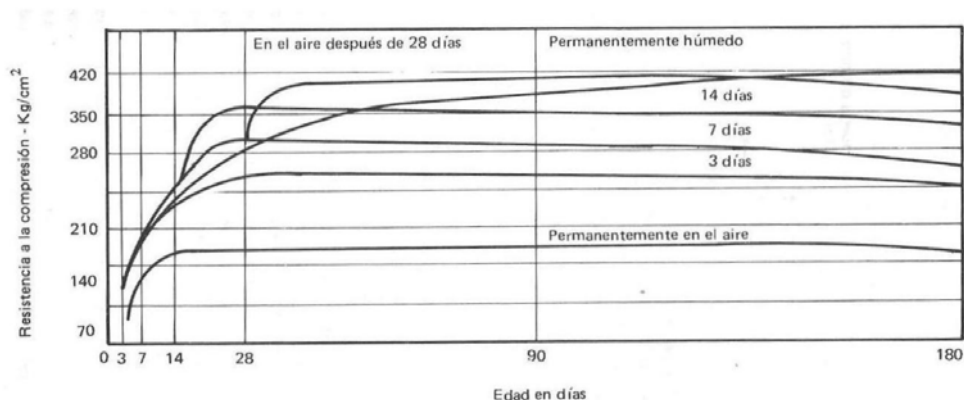
**Tabla 1. Aumento promedio de la resistencia a la compresión del concreto con el tiempo.**

Cemento	Edad (días)	Porcentaje de resistencia con respecto a la de 28 días					
		1	3	7	14	28	56
Argos	9-14	35-47	60-67	80-84	100	116-120	128-134
Boyacá	11-14	33-43	58-64	79-82	100	118-121	130-135
Cairo	24-27	38-49	62-69	81-84	100	115-116	126-127
Caldas	10-19	36-46	60-66	80-83	100	117-120	128-134
Caribe	17-32	44-56	65-72	83-86	100	114-117	124-129
Nare	12-19	41-46	64-66	82-83	100	117-118	128-131
Paz del río	10-24	38-49	62-69	81-84	100	116-119	127-132
Samper sta. Rosa	18-22	45-47	66-68	83-84	100	116-117	127-129
Samper Siberia	17-24	43-49	65-68	81-84	100	116-119	127-131
Valle	6-9	33-39	59-62	79-81	100	119-121	132-135

### 6.1.5. Curado del Concreto

La exposición al aire del concreto, debido a la pérdida de humedad durante el proceso de fraguado, posteriormente impide la hidratación completa del cemento y por lo tanto la resistencia final disminuirá. La velocidad e intensidad del secamiento depende de la masa de concreto relativa al área de superficie expuesta, así como también de la humedad del ambiente.

Por tal motivo el curado es el nombre que se le da a los procesos para promover la hidratación del cemento y consiste en controlar la temperatura y los movimientos de la humedad dentro y fuera del concreto. Pero más específicamente, el objeto del curado es mantener el concreto saturado o tan saturado como sea posible para terminar de hidratar el cemento. Figura 2, se representa en forma gráfica el efecto de las condiciones de humedad durante el curado y de la humedad del concreto en el instante de la falla sobre la resistencia a la compresión. En esta grafica puede observarse como al reinicia el curado al aire durante un tiempo determinado, se reinicia también el proceso de hidratación.

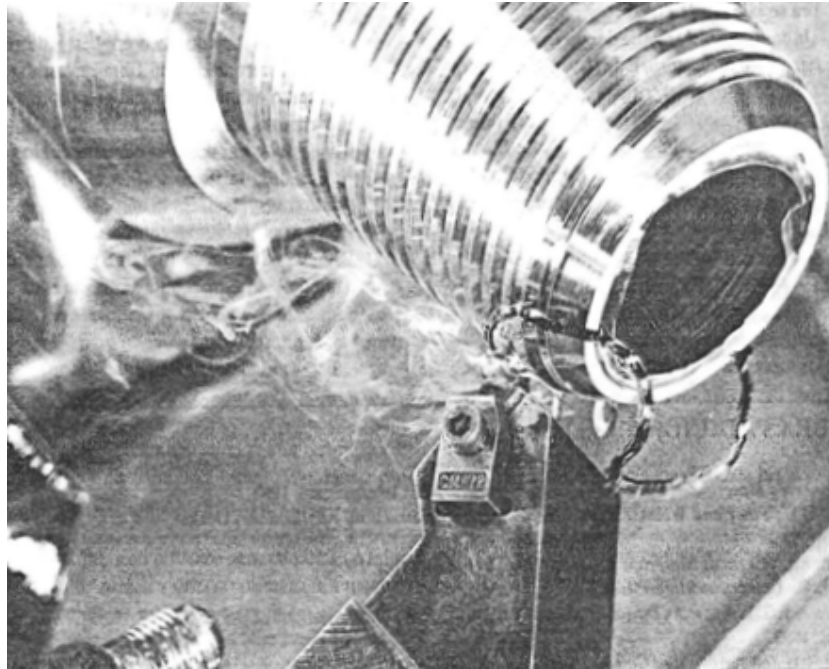


**Figura 2. Efectos de las Condiciones de Humedad durante el Curado.**

### 6.2. Viruta de Acero.<sup>2</sup>

La viruta de acero es una hoja delgada que se saca con el cepillo al labrar los metales, en este caso el acero. En los procesos de maquinado se crea una forma al retirar el material, esta viruta producida representa una pérdida.

<sup>2</sup> Procesos de Manufactura. John A. Schey. Editorial Mc Graw Hill. 2000. Tercera Edición. Pág 637 – 665.



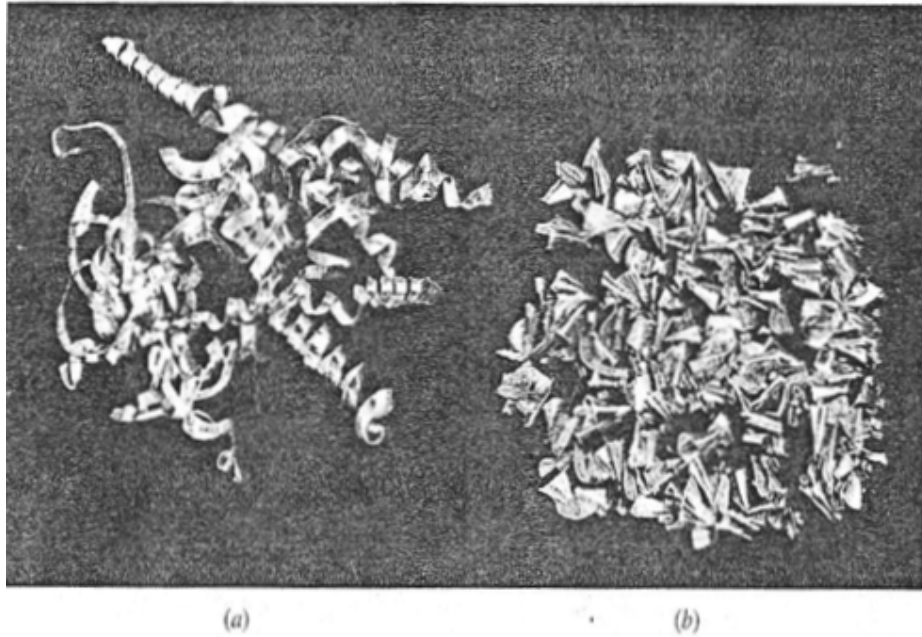
**Figura 3. Formación de la Viruta**

El maquinado es capaz de crear configuraciones geométricas, tolerancias y acabados superficiales a menudo no obtenibles por cualquier otra técnica. Sin embargo, el maquinado elimina material por el cual ya se ha pagado, en forma de partículas relativamente pequeñas que son más difíciles de reciclar y que fácilmente se pueden mezclar. Por lo tanto con frecuencia los avances tienen como objeto reducir o, si es posible, eliminar el maquinado, especialmente en la producción en masa.

La formación de viruta es en realidad muy compleja. La zona de corte se ensancha y se extiende delante del corte y se forma una zona secundaria de corte en la cara de ataque de la herramienta.

Al cortar el metal existen dos posibilidades de formaciones de viruta, cortas y fragmentadas para maquinado libre, o las utilizadas en la investigación, continuas, rectas o helicoidales que se producen por el corte de materiales dúctiles.

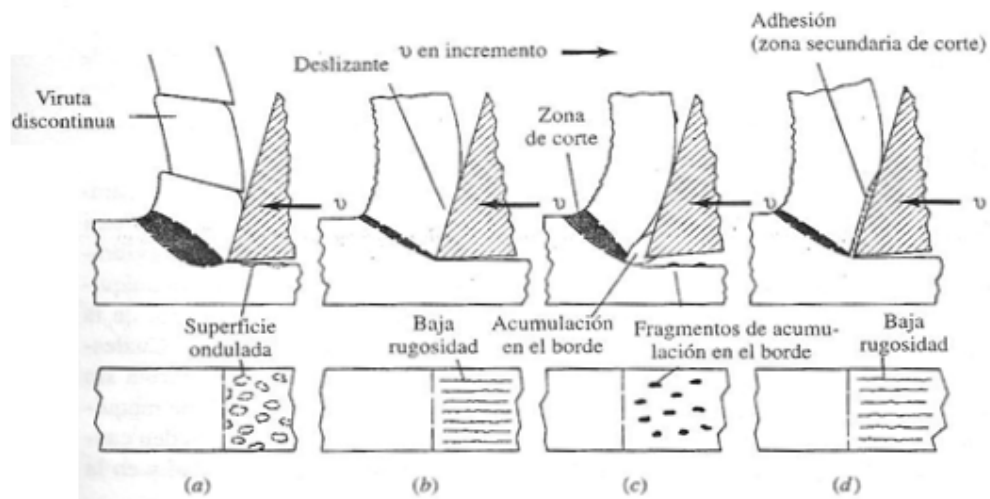
En la Figura 4 se pueden observar los dos tipos de viruta producidas según el tipo de corte:



**Figura 4. Tipos de Viruta.**

Existe otra característica que hace que la formación de viruta cambie, y esta es la Velocidad de corte. En el corte de acero, la viruta (a) es discontinua a velocidades menores de 2 m/min, (b) continua y se desliza sobre la cara de ataque a 7 m/min, (c) se forma con una acumulación en el borde a 20 m/min, y (d) desarrolla una zona secundaria de corte a 40 m/min.

En la Figura 5 se pueden observar los cuatro tipos de formaciones de viruta según la velocidad de corte:



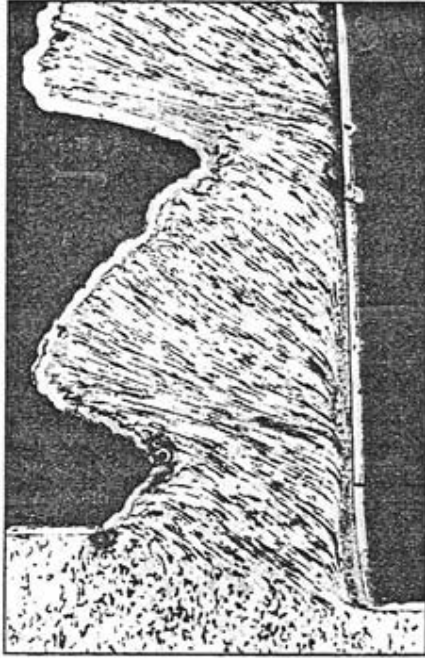
**Figura 5. Formación de Viruta según la Velocidad de Corte.**

Bajo condiciones especiales, la viruta puede ser continua pero presenta un cambio periódico en el espesor. Una viruta ondulada presenta variaciones casi senoidales en el espesor, que normalmente están relacionadas con el Castaño (vibración) atribuible a cambios periódicos en las fuerzas de corte.

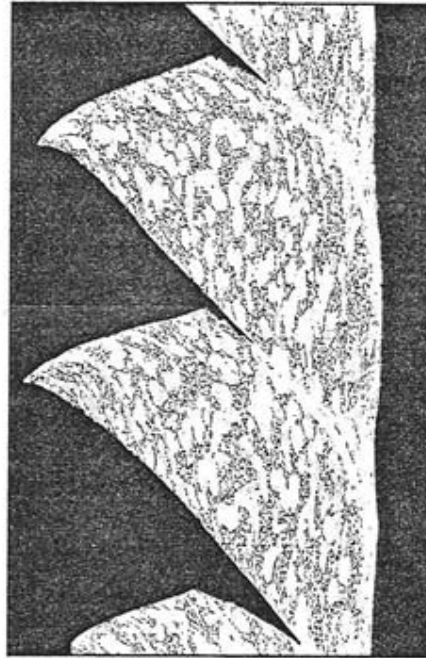
Las virutas segmentadas presentan una ondulación parecida a los dientes de una sierra. Las secciones gruesas solo se deforman ligeramente y se unen mediante varias secciones más delgadas, severamente rasgadas. Una forma extrema de formación de viruta segmentada se observa en los materiales de baja conductividad térmica, como el titanio.

Las virutas segmentadas también se forman a velocidades muy elevadas (en el de alta velocidad), cuando la caída en el esfuerzo cortante debida al calentamiento es mayor que el incremento originado por el endurecimiento por deformación. La velocidad a la que esto ocurre depende del material; en el corte de acero tratado térmicamente es alrededor de 1000 m/min.

En la Figura 6 se puede observar cuando la viruta formada es ondulada (a) 55 m/min, o segmentada (b).



(a) Ondulada



(b) Segmentada

**Figura 6. Fragmentación de la Viruta.**

## 7. ENSAYOS DE LABORATORIO.

En esta sección del documento se mostraran los resultados de ensayos de laboratorio que se necesitan para los materiales que se utilizaron en la elaboración del concreto.

### 7.1. Masa Unitaria.<sup>3</sup>

El objetivo de este laboratorio es obtener la masa unitaria suelta y apisonada, (NTC 237 y NTC 176), las cuales involucran una muestra de agregado en un recipiente de volumen conocido y luego se resta la masa del recipiente.

La masa unitaria suelta se realiza por medio del llenado con el agregado del recipiente, a una altura no mayor de 50 mm, se enraza y se pesa (3 veces), se saca la masa promedio y se divide sobre el volumen y se obtiene la masa unitaria suelta.

Para la masa unitaria compacta se realiza el mismo procedimiento, con la variación de que el recipiente se llena en tres capas y cada capa es golpeada según la Norma y luego se procede igual.

El propósito de este método de ensayo es determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado, para agregados que no excedan 100 mm de Tamaño Máximo Nominal. La masa de un agregado debe ser siempre relacionada con el volumen específico. La masa unitaria de un agregado debe ser conocida para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto.

Este método permite la determinación de la masa unitaria de un agregado en la condición compactada (por apisonado externo o vibración) o en la condición suelta (como viene de una pala o cucharón) después de que el agregado ha sido secado hasta masa constante.

A continuación se realizarán los cálculos respectivos para el Agregado Grueso y Fino de los materiales.

#### 7.1.1. Masa Unitaria Suelta y Compacta Agregado Grueso

Para determinar la Masa Unitaria Suelta y Compacta del agregado grueso, se deben tener unos datos iniciales que coinciden para ambos ensayos de laboratorio, a continuación se muestran estos datos.

Peso molde = 3105 gr

---

<sup>3</sup> <http://www.construaprende.com/Lab/13/Prac13.html>

Para determinar el volumen se utiliza la ecuación (1).

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} \quad (1)$$

Donde:

V → Volumen del Molde.

d → Diámetro del Molde. d = 19 cm

h → Altura del molde. h = 20 cm

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} = \frac{\pi \cdot 19^2 \cdot 20}{4} = 5670.57 \text{ cm}^3$$

#### 7.1.1.1 Masa Unitaria Suelta Agregado Grueso.

En este punto se determinaran los valores de los pesos para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Grueso. Para determinar este parámetro se utiliza la ecuación (2) mostrada.

$$MUS = \frac{\text{Peso Promedio Suelto}}{V} \quad (2)$$

**Tabla 2. Pesos Masa Unitaria Suelta Agregado Grueso**

<b>Peso Molde + Muestra (gr)</b>	<b>Peso Muestra (gr)</b>
10040	6935
10030	6925
10110	7005
10110	7005

Peso Promedio = 10072.5 gr

$$MUS = \frac{10072.5 \text{ gr}}{5670.57 \text{ cm}^3} = 1.77 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

#### 7.1.1.2 Masa Unitaria Compacta Agregado Grueso.

La masa unitaria compactada se determina usando el método de apisonamiento con varilla en agregados con tamaño máximo nominal menor o igual a 37.5 mm, o mediante el método de golpeo si el tamaño máximo nominal es superior a los 37.5 mm e inferior a 150 mm. Para determinar el valor de la Masa Unitaria Compacta se utiliza la ecuación (2).



**Tabla 3. Pesos Masa Unitaria Compacta Agregado Gueso**

<b>Peso Molde + Muestra (gr)</b>	<b>Peso Muestra (gr)</b>
10820	7715
10605	7500
10625	7520
10775	7670
10705	7600

Peso Promedio = 10706 gr

$$MUC = \frac{10706gr}{5670.57cm^3} = 1.88 \frac{gr}{cm^3} \quad 1.88 \text{ gr/cm}^3$$

### 7.1.2. Masa Unitaria Suelta y Compacta Agregado Fino.

Los datos iniciales utilizados para determinar estos parámetros para el agregado fino son los mismos que para el agregado grueso, por esta razón no se calculan otra vez.

#### 7.1.2.1 Masa Unitaria Suelta Agregado Fino.

En la Tabla 4 se muestran los pesos obtenidos para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino:

**Tabla 4. Pesos Masa Unitaria Suelta Agregado Fino.**

<b>Peso Molde + Muestra (gr)</b>	<b>Peso Muestra (gr)</b>
11270	8165
11410	8305
11390	8285
11340	8235

Peso Promedio = 11352.5 gr

$$MUS = \frac{11352.5gr}{5670.57cm^3} = 2.0 \frac{gr}{cm^3}$$

#### 7.1.2.2 Masa Unitaria Compacta Agregado Fino.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de los pesos de las muestras con y sin molde para determinar la Masa Unitaria Compacta del Agregado Fino.

**Tabla 5. Pesos Masa Unitaria Compacta Agregado Fino**

<b>Peso Molde + Muestra (gr)</b>	<b>Peso Muestra (gr)</b>
11885	8780
11890	8785
11925	8820
11885	8780

Peso Promedio = 11896.25 gr

$$MUC = \frac{11895.25gr}{5670.57cm^3} = 2.09 \frac{gr}{cm^3}$$

## 7.2. Humedad.<sup>4</sup>

En los agregados existen poros y cuando se encuentran a la intemperie pueden estar llenos con agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él se puede saber si se necesita agregar agua a la mezcla de concreto.

En los ensayos de laboratorio se utilizaran agregados que están parcialmente secos (al aire libre) para la determinación del contenido de humedad total de los agregados.

Este método consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total. Este método es lo suficientemente exacto para los fines usuales, tales como el ajuste de la masa en una mezcla de concreto.

**Tabla 6. Datos para la Determinación de la Humedad.**

<b>Material</b>	<b>Peso Húmedo (gr)</b>	<b>Peso Seco (gr)</b>	<b>Peso Agua (gr)</b>	<b>W%</b>
Agregado Grueso	8710	8620	90	1.04
Agregado Fino	146.6	139.8	6.8	4.86

Con la siguiente ecuación se determina el valor de la humedad:

$$W = \frac{\text{PesoHúmedo} - \text{PesoSeco}}{\text{Peso}} \quad (3)$$

<sup>4</sup> [http://www.construaprende.com/Lab/18/Prac18\\_1.html](http://www.construaprende.com/Lab/18/Prac18_1.html)

### **7.3. Peso Específico y Absorción.<sup>5</sup>**

Una de las propiedades físicas de los agregados es la DENSIDAD. AL realizar este laboratorio se puede decir que de acuerdo a los tipos de agregados se encontraran partículas que tienen poros saturables como no saturables que dependiendo de su permeabilidad pueden estar vacíos parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, generando así una serie de estados de humedad y densidad.

Sabiendo lo que más interesa en el diseño de mezcla es la densidad aparente de los agregados. Este factor es importante para el diseño de mezcla porque con él se puede determinar la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto.

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

#### **7.3.1. Peso Específico y Absorción Agregado Grueso**

Se escogió una muestra representativa del agregado, la cual se redujo desechando el material que pasara por el tamiz # 4, luego se procedió a lavarla y sumergirla en el balde durante 24 horas.

Al día siguiente, se tomo la muestra secándola parcialmente con una toalla hasta eliminar películas visibles de agua en la superficie. Se tuvo en cuenta que las partículas más grandes se secaron por separado. Cuando las partículas tienen un color mate es porque ya está en la condición saturada y superficialmente seca.

Con la balanza debidamente calibrada se pesa la muestra para averiguar su masa en esta condición. Luego se introdujo en la canastilla y se sumergió, y se cuantifico la masa sumergida en agua a una temperatura ambiente. Luego fue llevada al horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, al día siguiente se cuantificó su peso y se obtuvieron los resultados.

A continuación se relaciona la ecuación con la cual se obtiene la densidad nominal del agregado.

---

<sup>5</sup> [http://www.construaprende.com/Lab/17/Prac17\\_1.html](http://www.construaprende.com/Lab/17/Prac17_1.html)

$$Densidad\ No\ min\ al = \frac{P_s}{P_s - P_w} \quad (4)$$

Donde:

$P_w$  = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua.

$P_s$  = Masa en gramos de la muestra seca.

Para determinar la densidad aparente se utiliza la ecuación (5) que se muestra a continuación:

$$Densidad\ Aparente = \frac{P_s}{P_s - P_w} \quad (5)$$

Donde:

$P_{sss}$  = Masa en gramos de la muestra saturada interiormente.

$P_s$  = Masa en gramos de la muestra seca.

Para determinar el peso específico del agregado grueso o densidad, se utiliza la ecuación (6) que se muestra a continuación:

$$Peso\ Especifico\ Agregado\ Grueso = \frac{P_{sss}}{P_{sss} - P_w} \quad (6)$$

Para determinar el porcentaje de absorción del Agregado Grueso, se utiliza la ecuación (7), que se relaciona a continuación:

$$Porcentaje\ de\ Absorción = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (7)$$

Específicamente para el agregado grueso en el trabajo de grado en particular se obtuvieron los siguientes resultados:

$P_s = 3855$  kg

$P_{sss} = 3960$  kg

$P_w = 2147$  kg

$$Densidad\ Aparente = \frac{3855}{3855 - 2147} = 2.26$$

$$Peso\ Especifico\ Agregado\ Grueso = \frac{3960}{3960 - 2147} = 2.18$$

$$Porcentaje\ de\ Absorción = \frac{3960 - 3855}{3855} \cdot 100 = 2.72\%$$

### 7.3.2. Peso Específico y Absorción Agregado Fino

Se toma una muestra representativa de agregado fino la cual se sumerge durante 24 horas. Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de un recipiente o bandeja la cual no es absorbente. Con el secador se le inyecta una corriente de aire hasta conseguir un secado uniforme, la operación es terminada cuando los granos del agregado están sueltos. Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1 cm, posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer es porque no existe humedad libre, si es lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca.

Se procede a tomar una muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el picnómetro llenándolo con agua a 20°C hasta más o menos 250 cm<sup>3</sup>, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posibles. Se procede a cuantificar el peso del picnómetro en la balanza anotando su respectivo valor.

Al término de este paso, se embaza la muestra en tazas para ser dejadas en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevaron las muestras a la balanza y se cuantificó su valor.

Las ecuaciones utilizadas para determinar los parámetros, son las mismas que para el agregado grueso.

A continuación se muestran los cálculos específicos del trabajo de grado particular.

Ps = 500 kg  
Psss = 911 kg  
Pw = 1218 kg

$$DensidadAparente = \frac{496}{(911 + 500 - 1218)} = 2.57$$

$$PesoEspecíficoAgregadoFino = \frac{500}{911 - (500 - 1218)} = 2.59$$

$$PorcentajeAbsorción = \frac{500 - 496}{496} \cdot 100 = 0.806\%$$

## **7.4. Granulometría.<sup>6</sup>**

Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. El término agregados comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizada para preparar morteros y concretos.

La limpieza, sanidad, resistencia, forma y tamaño de las partículas son importantes en cualquier tipo de agregado.

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.

Para la gradación de los agregados se utilizan una serie de tamices que están especificados en la Norma Técnica Colombiana NTC 32, de los cuales se seleccionarán los tamaños requeridos para observar las granulometrías del agregado que hace parte de las mezclas de concreto.

### **7.4.1. Granulometría Agregado grueso**

#### **7.4.1.1 Tamaño máximo ( TM)**

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

#### **7.4.1.2 Tamaño Máximo Nominal (TMN)**

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal y comúnmente se estipula de tal manera que el agregado cumpla con los siguientes requisitos.

El TMN no debe ser mayor que  $1/5$  de la dimensión menor de la estructura, comprendida entre los lados de una formaleta.

El TMN no debe ser mayor que  $1/3$  del espesor de una losa.

El TMN no debe ser mayor que  $3/45$  del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.

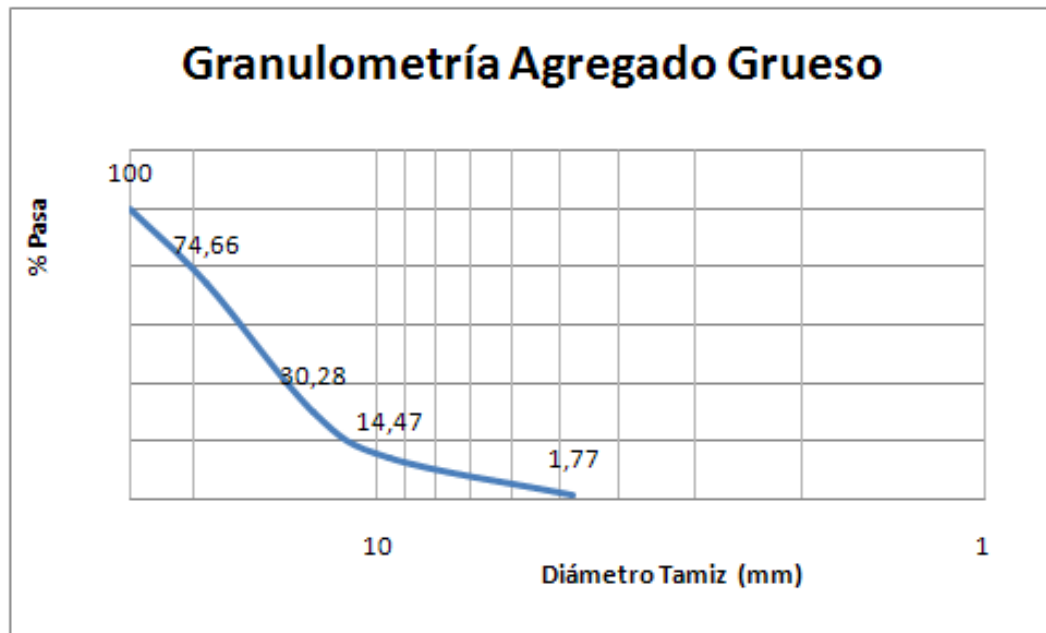
En la Tabla 7 y la Figura 7, se muestran los resultados de la granulometría del agregado grueso.

---

<sup>6</sup> [http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19\\_1.html](http://www.construaprende.com/Lab/19/Prac19_1.html)

**Tabla 7. Granulometría Agregado Grueso.**

TAMIZ	PESO RET	% RETENIDO	% RET TOTAL	% PASA TOTAL
1 1/2"	0	0	0	0
1"	0	0	0	100
3/4"	2206	25,34	25,34	74,66
1/2"	3863	44,38	69,72	30,28
3/8"	1376	15,81	85,53	14,47
No 4	1105,2	12,7	98,23	1,77
FONDO	96,2	1,11	100	0
TOTAL	8646,4	100		



**Figura 7. Granulometría Agregado Grueso.**

#### 7.4.2. Granulometría Agregado Fino.

Del agregado fino el parámetro más importante para determinar es el conocido módulo de finura, que se define a continuación:

##### 7.4.2.1 Módulo de Finura ( MF )

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100, para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y 1/2". En la ecuación (8), se muestra la forma de obtener este parámetro:

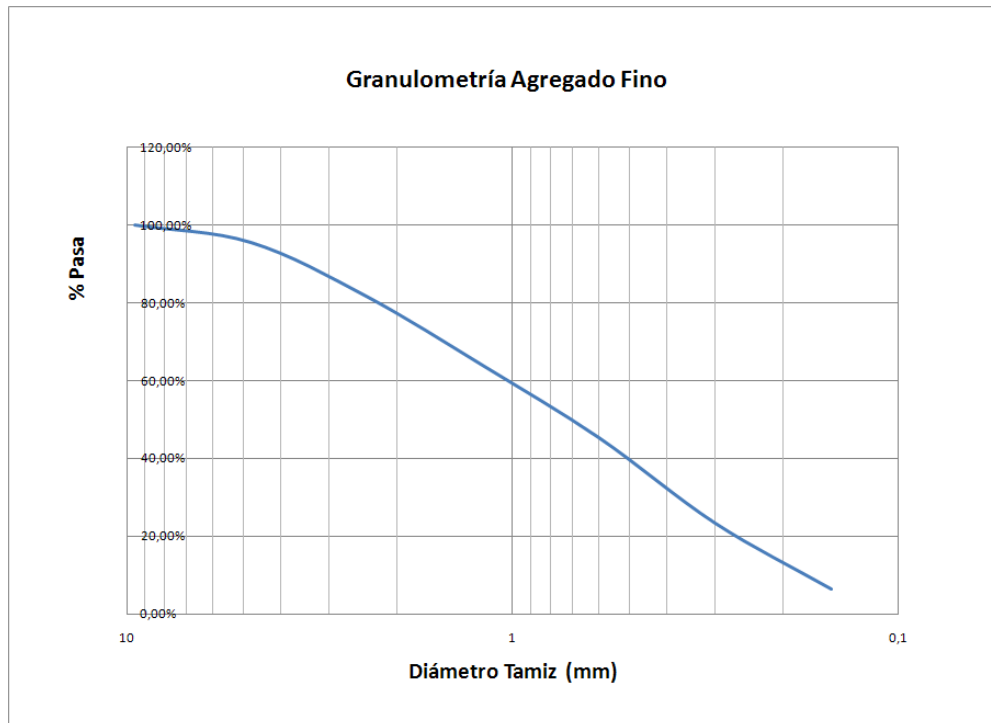
$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenidos Acumulados}}{100} \quad (8)$$

Se considera que el MF de una arena adecuada para producir concreto debe estar entre 2, 3, y 3,1 o, donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina 2,5 una arena de finura media y más de 3,0 una arena gruesa.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de esta granulometría, así mismo en la siguiente figura se muestra la gráfica de la granulometría de este agregado.

**Tabla 8. Granulometría Agregado Fino.**

TAMIZ	PESO RET	% RETENIDO	% RET TOTAL	% PASA TOTAL
3/8"	0	0,00%	0,00%	100,00%
No 4	45	4,50%	4,50%	95,50%
No 8	140	14,00%	18,50%	81,50%
No 16	178	17,80%	36,30%	63,70%
No 30	184	18,40%	54,70%	45,30%
No 50	220	22,00%	76,70%	23,30%
No 100	170	17,00%	93,70%	6,30%
No 200	42	4,20%	97,90%	2,10%
Fondo	21	2,10%		
TOTAL	1000			



**Figura 8. Granulometría Agregado Fino.**



## 8. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realiza teniendo en cuenta una serie de características esenciales de los materiales de construcción, que permiten conocer las proporciones adecuadas a utilizar según el uso de la mezcla, vigas, losas, pavimentos, etc. Estas características se obtienen previamente con una serie de ensayos de laboratorio del agregado grueso, agregado fino y del cemento.

El primer paso a seguir para el diseño de mezcla es seleccionar el asentamiento, el cual está determinado por el tipo de estructura y las condiciones de colocación, seguidamente se elige el tamaño máximo nominal (TMN), que se establece según el tipo de estructura; muros reforzados, vigas y columnas, muros sin refuerzo, losas muy reforzadas, losas sin refuerzo o poco reforzadas etc.

Como tercer paso es de suma importancia estimar el contenido de aire, que se establece según el agregado grueso TMN y el grado de exposición; suave, mediano o severo.

El cuarto paso es considerar la cantidad de agua de mezclado, en donde se calcula la cantidad de agua por metro cúbico, con el asentamiento según el agregado o también por medio de las condiciones del contenido de aire (con aire o sin aire incluido), el asentamiento y el TMN.

Como quinto paso se elige la relación agua/cemento ( $a/c$ ), determinado por la inclusión o no del aire, y luego se calcula el contenido de cemento. Después de obtener las seis consideraciones anteriores se verifica si los agregados cumplen las recomendaciones granulométricas ICONTEC 174.

Si cumplen se debe estimar el contenido de agregado grueso y el agregado fino, según el material que pasa por cada uno de los tamices establecidos por la norma ICONTEC 174. Luego se ajusta la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado, conocido como factor  $b/b_0$  (método ACI), este volumen es establecido según el modulo de finura y el TMN. Finalmente se ajusta la mezcla de prueba.

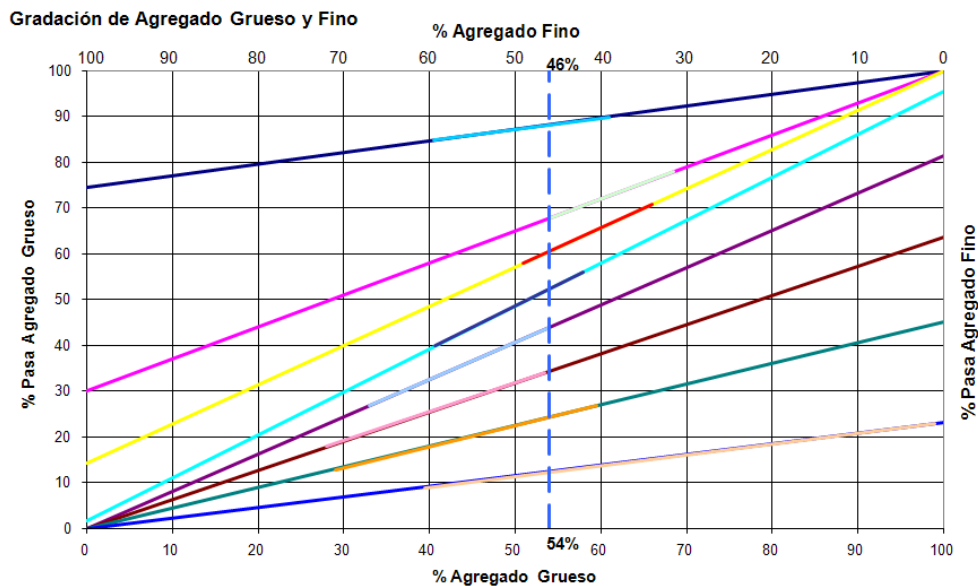
Si después de verificadas las recomendaciones granulométricas ICONTEC 174 estas NO cumplen, se debe optimizar la granulometría y estimar el contenido de arena y grava para así poder ajustar la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado y finalmente ajustar las mezclas de prueba.

Después de realizar los ensayos preliminares a los materiales que hacen parte del concreto, se procede a realizar el diseño de mezcla con los siguientes parámetros:

**Tabla 9. Resumen de Propiedades Agregado Grueso y Fino.**

Propiedades	Agregado Grueso	Agregado Fino	Viruta
Peso Específico	2180	2590	3330
Absorción	2,72	0,806	
Masa Unitaria Suelta	1.77	2.00	
Humedad	1,04	4,86	
Masa Unitaria Compacta	1.88	2.09	
Tamaño Máximo (mm)	25,4		
Tamaño Máximo Nominal (mm)	25,4		

Después de tener estos parámetros se procede a realizar los cálculos para determinar la cantidad de cemento, la cantidad de agregados y la cantidad de agua que se debe adicionar a la mezcla. Es importante aclarar que cuando se comparó la granulometría del agregado grueso y fino con las normas, no cumplen, por lo cual se debe realizar un método gráfico para determinar cual es la proporción adecuada que cumple con la granulometría de la Norma.



**Figura 9. Porcentaje de Agregado Grueso y Fino para Utilizar en la Mezcla.**

Como se puede observar en la figura, del porcentaje de agregado fino obtenido, se van a reemplazar, 9, 10 y 11% por la viruta obtenida.

A continuación se observan los resultados de diseño de mezcla para la muestra estándar y las muestras adicionadas con viruta, ya realizado el ajuste de agua por humedad y absorción de los agregados.

**Tabla 10. Diseño de Mezcla Muestra Estándar.**

<b>Materiales</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol (m<sup>3</sup>)</b>
Aire	0,000	0	0,020
Agua	186,90	1000	0,202
Cemento	348,10	3110	0,112
Agregado Grueso	854,60	2180	0,388
Agregado Fino	755,52	2590	0,278
<b>Total</b>	<b>2145,122477</b>		<b>1,000</b>

**Tabla 11. Diseño de Mezcla Muestra 9% de Adición de Viruta.**

<b>Materiales</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol (m<sup>3</sup>)</b>
Aire	0,000	0	0,020
Agua	189,529	1000	0,202
Cemento	348,103	3110	0,112
Agregado Grueso	854,602	2180	0,388
Agregado Fino	687,521	2590	0,253
Viruta	83,372	3330	0,025
<b>Total</b>	<b>2163,13</b>		<b>1,000</b>

**Tabla 12. Diseño de Mezcla Muestra 10% de Adición de Viruta.**

<b>Materiales</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol (m<sup>3</sup>)</b>
Aire	0,000	0	0,020
Agua	189,821	1000	0,202
Cemento	348,103	3110	0,112
Agregado Grueso	854,602	2180	0,388
Agregado Fino	679,965	2590	0,250
Viruta	92,636	3330	0,028
<b>Total</b>	<b>2165,13</b>		<b>1,000</b>

**Tabla 13. Diseño de Mezcla Muestra 11% de Adición de Viruta.**

<b>Materiales</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol (m<sup>3</sup>)</b>
Aire	0,000	0	0,020
Agua	190,113	1000	0,202
Cemento	348,103	3110	0,112
Agregado Grueso	854,602	2180	0,388
Agregado Fino	672,41	2590	0,248
Viruta	101,9	3330	0,031
<b>Total</b>	<b>2167,13</b>		<b>1,000</b>

## 9. REALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS.

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla, es en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

La forma de evaluar la resistencia del concreto, es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para este tipo de pruebas existen diferentes tipos de muestras, y en este caso la utilizada fue la de cilindros.

Para la realización de los cilindros, se utilizan moldes especiales de acero o hierro fundido como se muestra en la Figura 10, que tienen 15 cm de diámetro, por 30 cm de altura.



**Figura 10. Camisas.**

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



**Figura 11. Moldes con Aceite.**

Los cilindros son ubicados de manera uniforme para poder realizar el procedimiento de llenado de concreto como se observa en la Figura 11, así se hace más fácil el proceso, pues es más sencillo llevar un control sobre la calidad del concreto y los posibles cambios que pueda tener por temperatura y demás características que pueden influir en la resistencia o en general en la obtención de los resultados.

Los moldes cilíndricos son armados en el sitio, de manera segura, con el fin de evitar que el material se segregue y ocurran pérdidas de provocando cambios en las características de la mezcla.

En este caso la mezcla de concreto difiere un poco de las mezclas convencionales, pues se reemplazó un porcentaje de arena o agregado fino por viruta de acero, material que procede del labrado de los metales. En los procesos de maquinado, esta viruta producida representa una pérdida.

Para poder pasar la viruta de acero al proceso de mezclado primero fue necesario lavarla con detergente para eliminar las impurezas, procedentes de químicos que se aplican al acero para hacer posible su maquinado o corte. De igual forma se pasan por un tamiz de 7mm de espeso para que el material sea uniforme.

La viruta de acero se pesa y se pone a secar por unos días, para que quede lista para adicionarla y mezclarla con los demás materiales; agregado fino, grueso, cemento y agua.

En la Figura 12, se observa la viruta de acero empleada en el diseño de mezcla.



**Figura 12. Viruta de Acero.**

El concreto se obtuvo en una planta llamada Prevesa, lugar en donde fue proporcionado el concreto y en donde se realizaron los cilindros con la supervisión del jefe de laboratorios, para hacer de manera correcta la distribución del material al fundir las muestras.

La preparación de la mezcla de concreto, se realiza con un software muy avanzado en donde se programan las cantidades apropiadas de agregado fino, agregado grueso, cantidad de agua, cemento y en este caso viruta de acero.

En la Figura 13 se aprecia cómo se programa cada uno de los elementos que conforman el concreto.



**Figura 13. Programa Ejecución de Mezclas.**

Así mismo existe un equipo que mide las proporciones de la mezcla y controla que se esté ejecutando la fórmula adecuada para elaborar el concreto requerido, haciendo posible medir con exactitud cada una de las cantidades aplicadas al concreto ordenado.



**Figura 14. Monitoreo de Máquina de Muestra.**

Después de haber establecido cual es el concreto que se desea preparar, comienza a ejecutarse la maquina mezcladora, pero como en este caso el concreto no era convencional, pues tenía adiciones de viruta de acero, se

necesita interrumpir el proceso para adicionar la viruta en los porcentajes anteriormente diseñados.

El material por separado va cayendo en una tolva que se encarga de llevarla a un recipiente en donde se realiza el mezclado, esto en cantidades pequeñas para que la mezcla quede uniforme.

En las Figura 15 se puede apreciar el momento en que el material es transportado a la tolva, y de allí al recipiente para hacer el mezclado.



**Figura 15. Tolva y Mezclado.**

El procedimiento de mezclado es muy rápido, dura aproximadamente 4 minutos por metro cubico, permitiendo que el proceso de cargue de mezcladoras o mixer sea eficiente y se cuente con el material minutos después de realizada la preparación en los software antes mencionados.

Para la investigaciones por cada día se elaboraban 30 cilindros, lo que hace más fácil el suministro de material.

La mixer se encarga de la carga y transporte del material al lugar en donde se funde el concreto, y en este caso en donde se realizarían los cilindros.

En la Figura 16 se observa este proceso de cargue al carro mezclador.





**Figura 16. Mixer.**

El lugar en donde se vierte el material para fundir los cilindros, debe ser libre de impurezas y de cualquier tipo de material diferente a el concreto ya elaborado.

Este lugar debe ser encerrado para evitar pérdidas de cualquier componente esencial del concreto, evitando así cambios en los resultados de resistencia.

En este lugar que se observa en la Figura 17 el carro mezclador o mixer, descarga el material para hacerlo manejable para el proceso de elaboración de los cilindros con adiciones de viruta de acero.



**Figura 17. Sitio de Descarga del Material**

El cilindro se llena en tres capas de igual altura, y cada capa se apisona con una varilla lisa de 16mm (5/8”) de diámetro, con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa en diferentes sitios de la superficie del concreto, teniendo cuidado de que la varilla solo atraviese la capa que se está compactando, sin pasar a la capa siguiente. Ese proceso se puede observar en la Figura 18.



**Figura 18. Vibrado de la mezcla.**

Al final de la compactación, se completa el llenado del molde con más mezcla y se alisa la superficie con la ayuda de un palustre o de una regla.

Una vez que se ah llenado cada capa, se dan unos golpes con la varilla o con un martillo de caucho a las paredes de éste, con el objeto de eliminar las burbujas de aire que se hayan podido adherir al molde o hayan quedado embebidas en el concreto.

En la Figura 19 se aprecian los cilindros fabricados ya listos para dejar reposar veinticuatro horas en las camisas que sirven de formaleta para desencofrarlos e introducirlos a las canecas sumergidos en agua.



**Figura 19. Cilindros Fabricados.**

Los cilindros recién elaborados quedan en reposo, en sitio cubierto y protegido de cualquier golpe o vibración y al día siguiente se les quitó el molde cuidadosamente.

En la Figura 20 se aprecian los cilindros después de estar un día en reposo, y de haber removido el molde, para continuar con la elaboración de las muestras con diferentes adiciones de viruta.



**Figura 20. Cilindros Desencofrados.**

Inmediatamente después de remover el molde, los cilindros son sometidos a un proceso de curado en tanques de agua, con el fin de evitar la evaporación del agua que contiene el cilindro por la acción del aire o el sol, para que el desarrollo de resistencia se lleve a cabo en condiciones constantes a través del tiempo.

En estas condiciones mostradas en la Figura 21 los cilindros se mantienen hasta el día del ensayo a compresión.



**Figura 21. Cilindros Curándose.**

Cuando el día de probarlas llega, se retiran de las canecas y se llevan a ensaya, para conocer la resistencia a compresión del concreto, esta se mide con una prensa que aplica carga sobre la superficie superior del cilindro.

## 10. RESULTADOS.

Después de realizadas las muestras, se realiza el ensayo de resistencia a la compresión.

### 10.1. Ensayo de Resistencia a la Compresión.

Este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos a una velocidad que está dentro de un intervalo prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la máxima carga alcanzada durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.

Los valores obtenidos en este ensayo dependen del tamaño y forma del espécimen, dosificación, los procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeado y fabricación, edad, la temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

Este método de ensayo se puede usar para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las NTC 550, 889, 1377, 504, y la norma ASTM C 873.

Los resultados de este método de ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; determinación del cumplimiento de especificaciones; control para evaluar la efectividad de aditivos y usos similares.

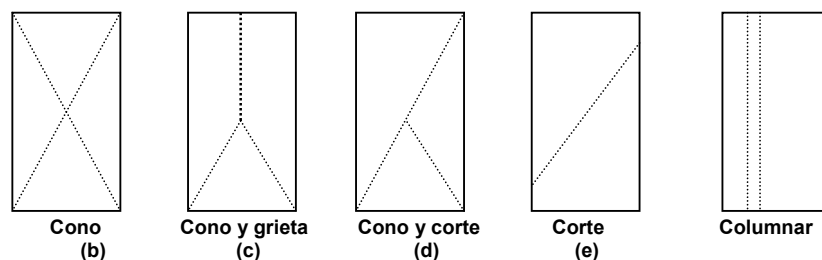
#### 10.1.1. Procedimiento.

Los ensayos de compresión de especímenes curados, se deben hacer tan pronto como sea posible después de la remoción del sitio de curado, se deben mantener húmedos y se deben ensayar en la condición húmeda.

Se coloca el bloque de apoyo plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o plato de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque con rotula (superior).

Se aplica la carga continuamente y sin impactos, hasta que el espécimen falle, y se registra la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Se anota el tipo de falla y la apariencia del concreto.

En la Figura 22 que se muestra a continuación, se puede observar los tipos de falla que pueden ocurrir en los cilindros de concreto.



**Figura 22. Fallas en los Cilindros de Concreto**

## 10.2. Resultados de Ensayos.

En este punto, se mostrarán los resultados promedio de todas las muestras ensayadas en este proyecto de grado. En el Anexo 1, se muestran los resultados en tablas de las diferentes muestras ensayadas.

A continuación en la Tabla 14 se mostrarán los resúmenes de los resultados obtenidos en este trabajo de grado.

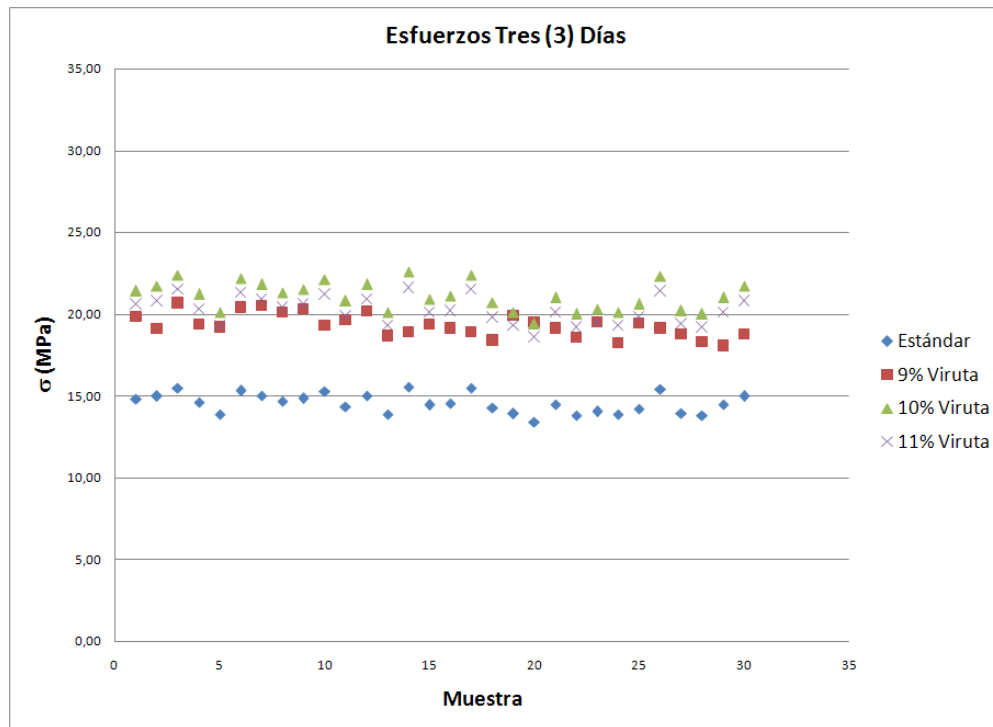
**Tabla 14. Esfuerzos Promedio del Concreto.**

Días	3	7	28	56
Estándar	14,47	16,71	21,80	22,89
9% viruta	19,20	21,96	28,86	30,15
10% viruta	21,08	25,07	31,61	32,24
11% viruta	20,21	23,72	27,68	28,85

### 10.2.1. Resultados Ensayos Compresión Tres (3) días.

En la Figura 23, se puede observar el comportamiento de los cilindros después de cumplidos tres (3) días de curado. Los cilindros sin adición de viruta fueron los que menos esfuerzo soportaron, comparados con los del 10% de adición de viruta cuyo valor alcanzado fue superior a 20 Mpa.

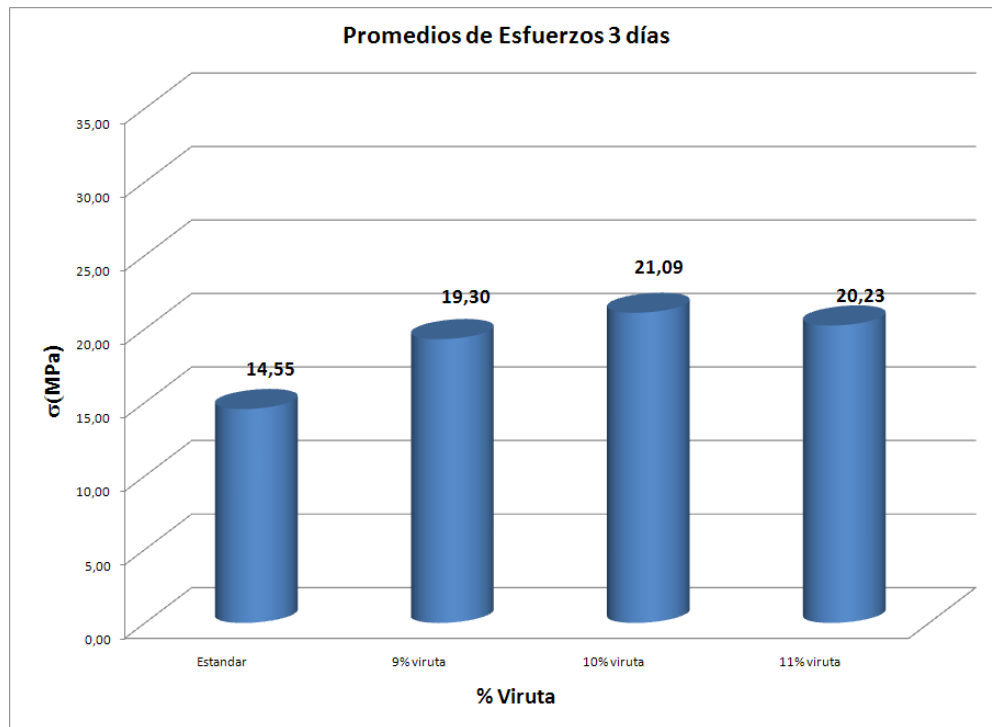
Comprobando así, que para tres días de fundida la mezcla de concreto, el porcentaje óptimo de adición de viruta es del 10%, ya que la resistencia con este valor estuvo por encima de el resto de valores obtenidos con los demás porcentajes.



**Figura 23. Esfuerzos Totales Muestras Tres (3) días.**

En la Figura 24 se aprecian los promedios de esfuerzos alcanzados en un periodo de tres (3) días después de fundida la mezcla de concreto, y sumergidos en agua con el fin de lograr un correcto curado.

El valor máximo de esfuerzo logrado fue de 21,08 MPa con una adición de viruta del 10% y el mínimo de 14,52 MPa para las pruebas tomadas sin adición de viruta.



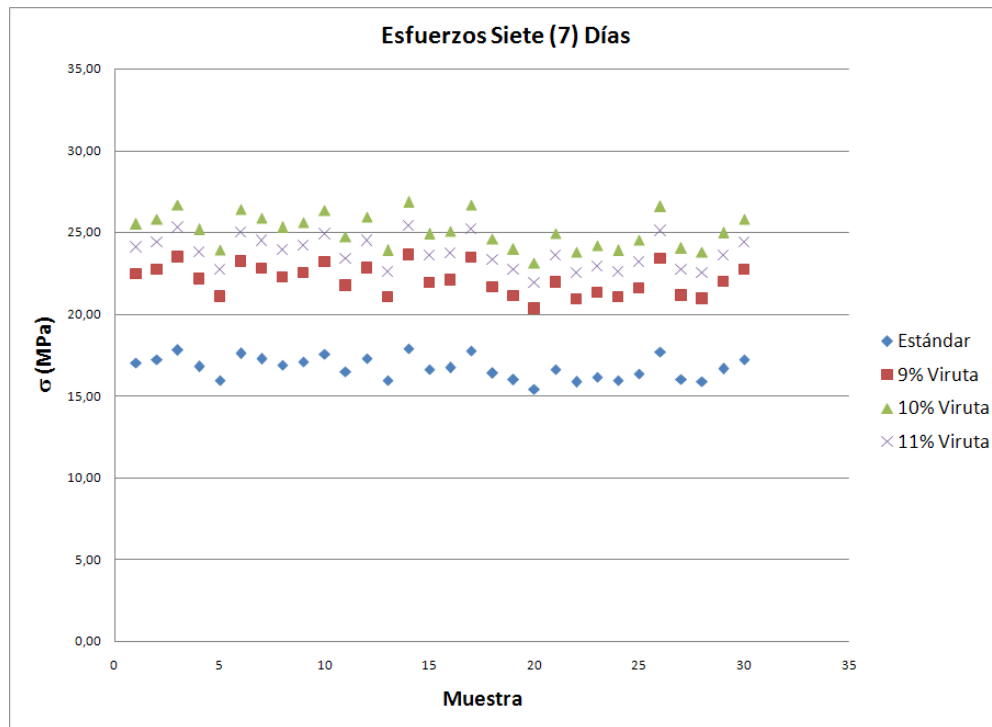
**Figura 24. Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Tres (3) días.**

### 10.2.2. Resultados Ensayos Compresión Siete (7) días.

En la Figura 25, se nota el crecimiento representativo en los esfuerzos soportados por los cilindros con las diferentes adiciones de viruta, esto debido a que con el tiempo se va incrementando la resistencia del material (concreto), estando el valor máximo de esfuerzo por encima de 25 Mpa.

Continuando como valor mínimo de esfuerzo los alcanzados sin adición de viruta, y los máximos los valores alcanzados con una adición de viruta del 10%,.

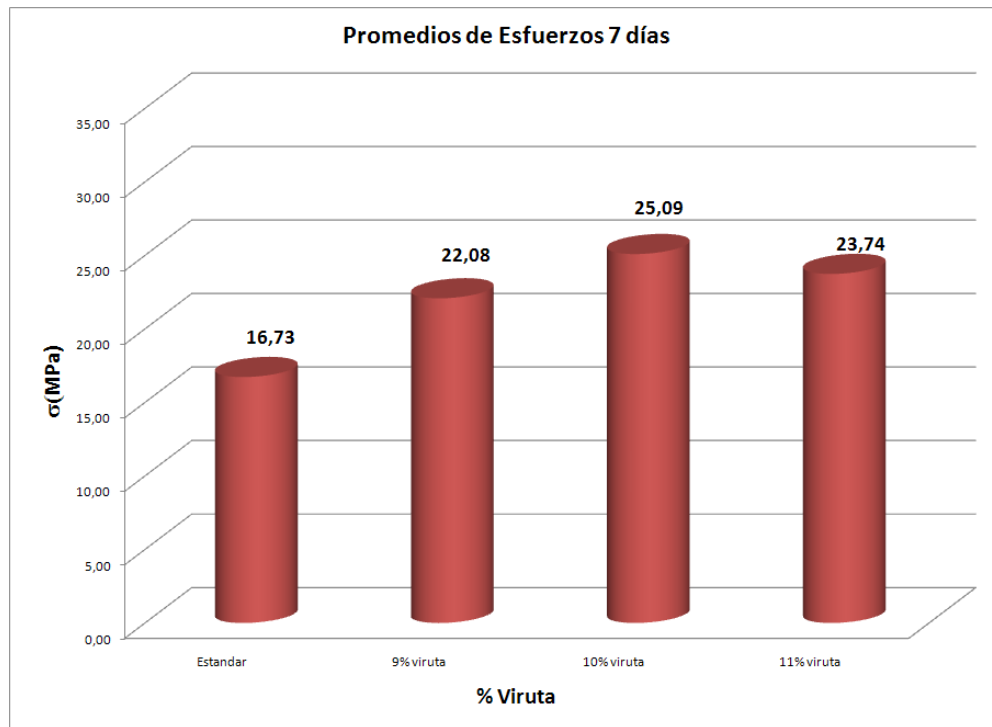




**Figura 25. Esfuerzos Totales Muestras Siete (7) días.**

A continuación se observa en la Figura 26 nuevamente que la adición de viruta del 10% es la que mejores resultados arroja, comparados con los obtenidos con el resto de porcentajes de viruta en una muestra de concreto, para siete (7) días de fundidos los cilindros e igual cantidad de días sumergidos en agua.

Un valor de cantidad de esfuerzo soportado que se mantiene muy cercano del máximo alcanzado es el de adición de viruta del 11%, pero continúa siendo más resistente a la compresión el diseño de mezcla con una adición del 10% a pesar de pasados siete días.



**Figura 26. Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Siete (7) días.**

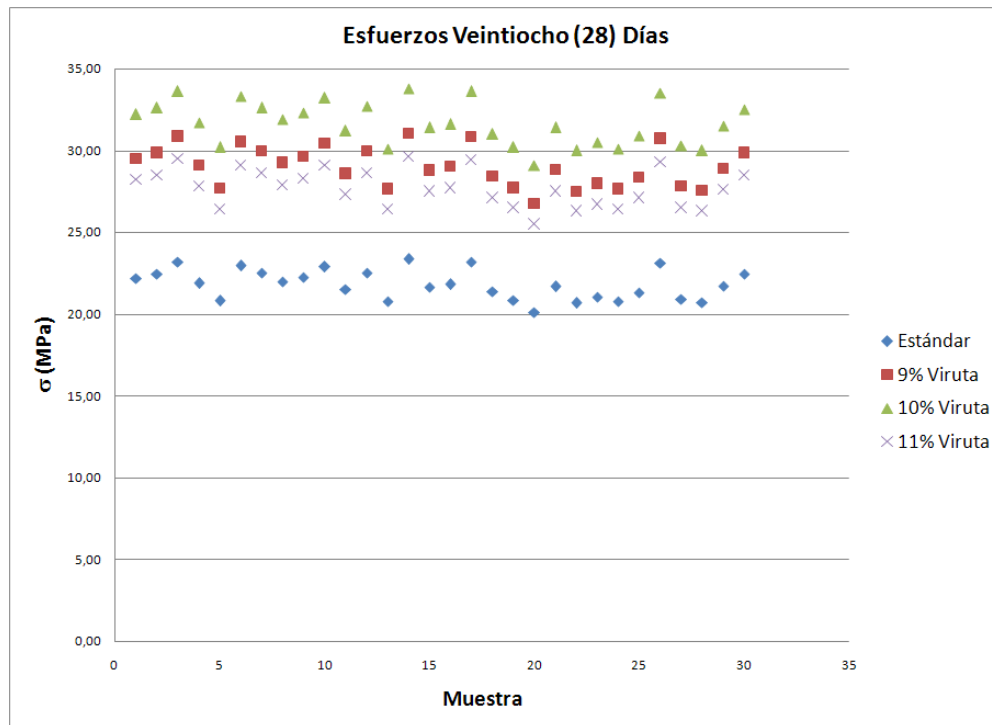
### 10.2.3. Resultados Ensayos Compresión Veintiocho (28) días.

Observando la Figura 27 se puede notar un cambio importante con el paso del tiempo de los cilindros realizados hace 28 días, e igual cantidad de tiempo de estar sumergidos en agua.

Los cilindros realizados sin adición de viruta, no han cambiado, pues siguen siendo los que soportan la menor cantidad de carga, es decir los que menor esfuerzo obtienen.

Después de veintiocho (28) días, las pruebas de concreto con adición de viruta del 11% han disminuido su capacidad de resistir carga, disminuyendo el esfuerzo. Contrario a lo que ocurre con los cilindros realizados con 9% de viruta que comparado con los tiempos anteriormente estudiados, incrementaron considerablemente la resistencia.

Resultados que no han tenido ningún tipo de cambios son los obtenidos con adición de viruta del 10%, puesto que siguen siendo los de mayor carga soportada, corroborando así que es el porcentaje óptimo para adición de viruta en una mezcla de concreto.

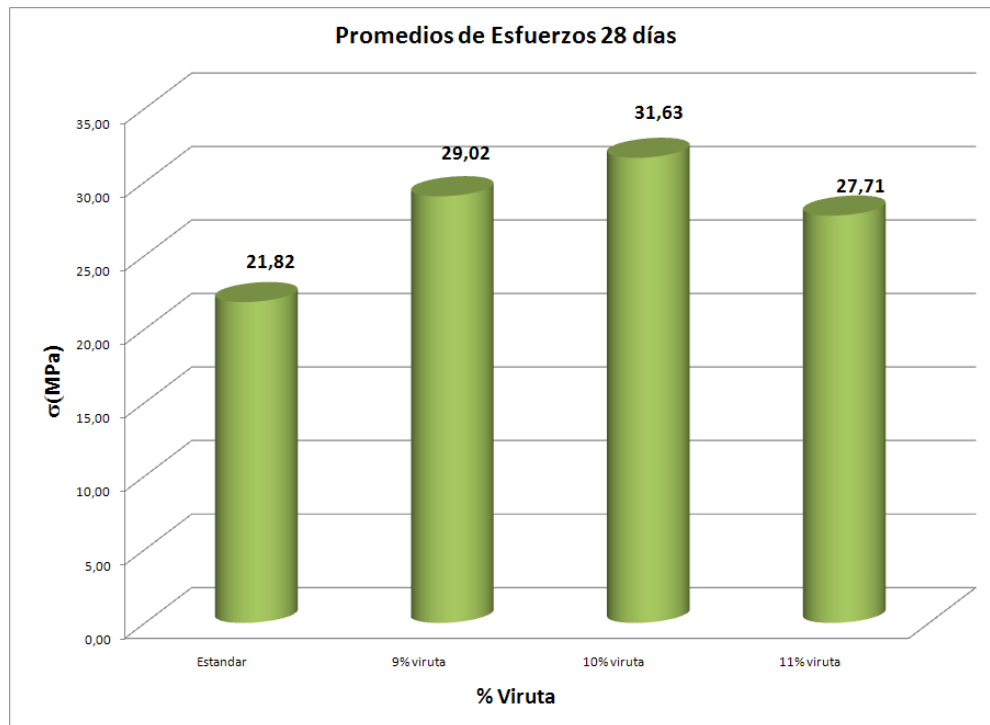


**Figura 27. Esfuerzos Totales Muestras Veintiocho (28) días.**

En la Figura 28 se ve con mayor claridad y más detalladamente los valores máximos y mínimos de esfuerzo obtenidos después de veintiocho días de realizada la mezcla de concreto con los diferentes porcentajes de viruta.

Aquí se observa que el esfuerzo de la mezcla con una adición de viruta del 9% se ah incrementado, alcanzando como valor máximo de esfuerzo 28,97 Mpa, contrario a lo que ocurre con los cilindros realizados con adición de viruta del 11% que disminuyeron considerablemente su capacidad de resistencia alcanzando como valor máximo de esfuerzo 27,68 Mpa.

Manteniéndose como la mezcla de concreto más resistente a la compresión la realizada con adición de viruta del 10%, cuyo valor máximo de esfuerzo obtenido fue de 31,61 Mpa.

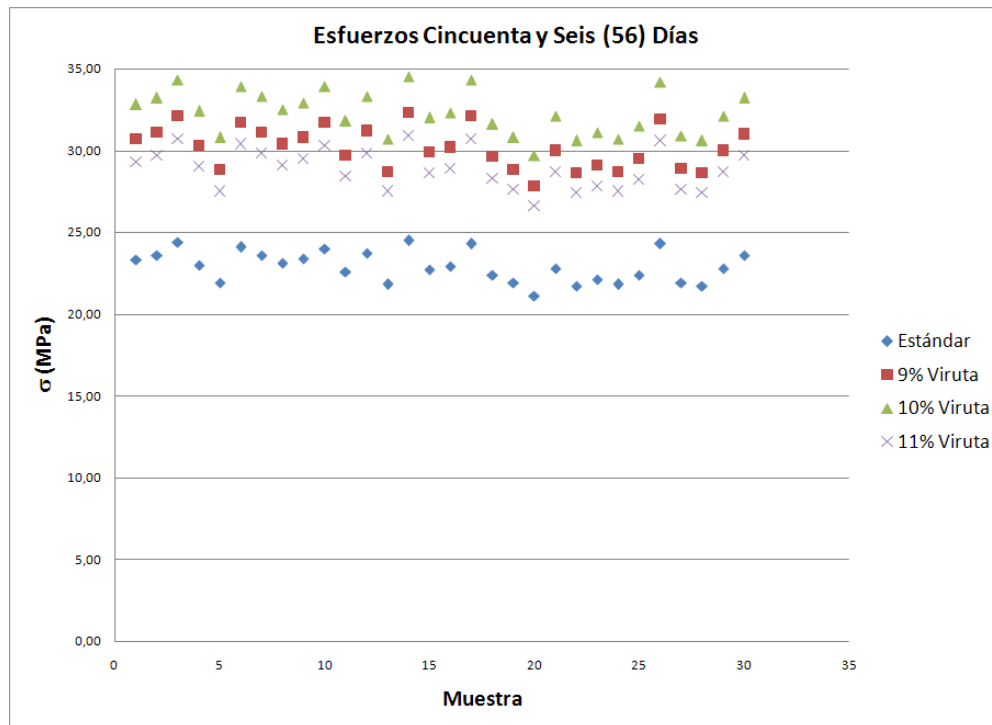


**Figura 28. Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Veintiocho (28) días.**

#### **10.2.4. Resultados Ensayos Compresión Cincuenta y Seis (56) días.**

Después de cincuenta y seis (56) días de realizada la mezcla de concreto y tomados los cilindros para estudio, e igualmente con la misma cantidad de tiempo sumergidas en agua, se puede comprobar y reafirmar que el porcentaje óptimo de adición de viruta para una mezcla de concreto es de 10%, porque siempre con el paso del tiempo fue la mezcla que mayor resistencia a la compresión alcanzó.

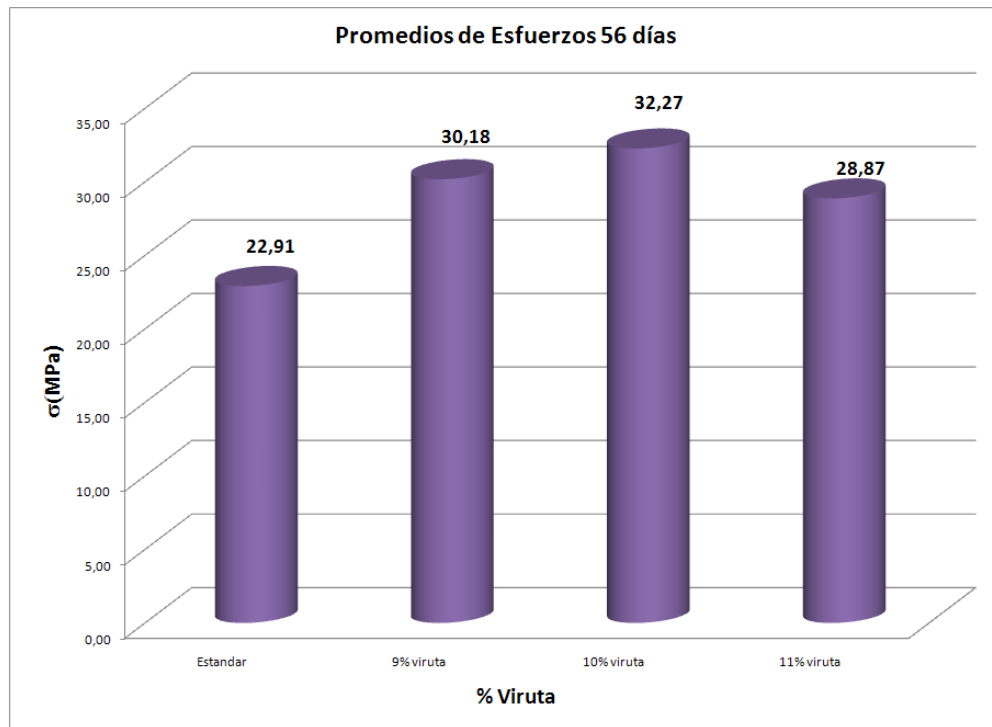
Durante los diferentes tiempos en que fueron probadas las muestras o los cilindros de concreto siempre estuvo por debajo la mezcla que no tuvo adición de viruta, pues las cargas soportadas fueron menores comparadas con el resto de los porcentajes de adición de viruta, como se observa en la Figura 29.



**Figura 29. Esfuerzos Totales Muestras Cincuenta y Seis (56) días.**

Los promedios de esfuerzo obtenidos después de cincuenta y seis días siguieron con la tendencia a incrementar el valor de esfuerzo soportado, aunque ya no en el mismo ritmo en el que venía aumentando con los tiempos anteriores. Sin embargo se puede observar en la Figura 30 que como en el resto de tiempos estudiados el porcentaje de adición de viruta que mayor carga resistió fue la de 10% de adición de viruta, alcanzando después de cincuenta y seis (56) días un valor máximo de esfuerzo de 32,24 Mpa.

Siendo el mínimo valor comparado con el resto de cilindros o muestras pero el máximo alcanzado en el transcurso del tiempo para una mezcla sin adición de viruta, de 22,87 Mpa.

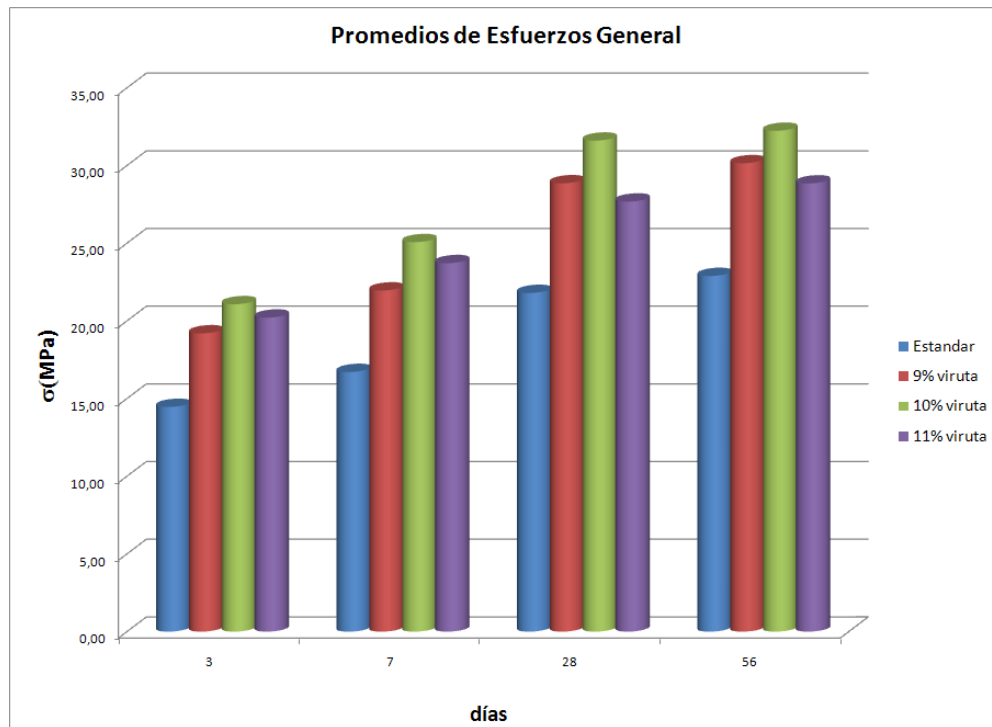


**Figura 30. Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión Edad Cincuenta y Seis (56) días.**

#### 10.2.5. Promedios Generales de Todas las Muestras.

En la Figura 31 se observa un resumen detallado de los resultados obtenidos en el tiempo, con los diferentes porcentajes de adición de viruta, siendo el máximo en todos los tiempos los obtenidos con el 10% de viruta en una mezcla de concreto.

Así mismo se puede ver el cambio que tienen los cilindros realizados con una adición de viruta del 11%, quienes en los dos primeros tiempos (3 días y 7 días) tuvieron valores altos de resistencia a la compresión, pero después de los 28 días, perdieron resistencia. Igualmente las muestras realizadas con 9% de viruta en la mezcla iniciaron en los dos primeros tiempos (3 días y 7 días) con resistencias bajas, incrementaron la capacidad de soportar carga después de los 28 días, pero nunca mayores a los alcanzados por el 10% de viruta.



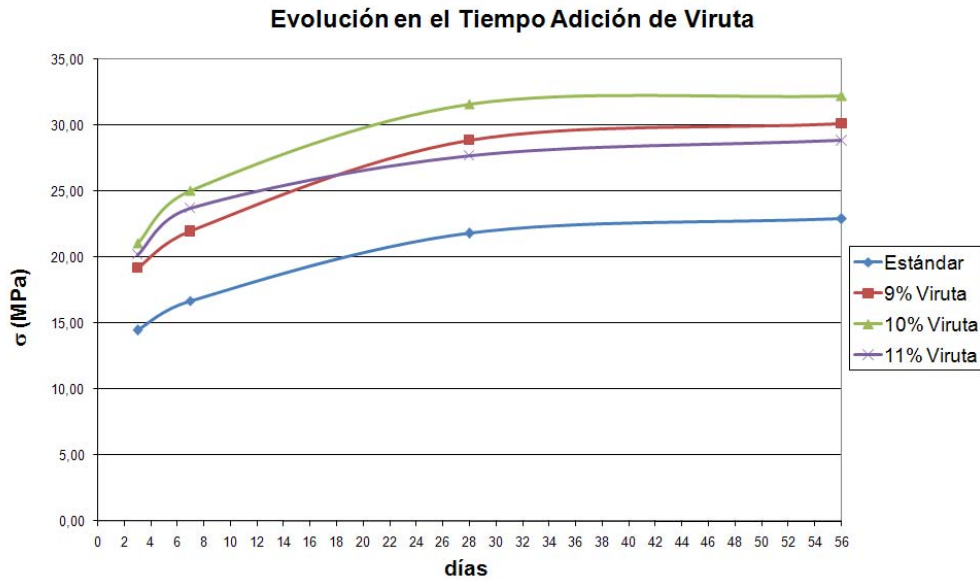
**Figura 31. Esfuerzos Promedio Resistencia a la Compresión.**

### 10.3. Evolución en el Tiempo de los Esfuerzos Promedios de Compresión.

En la Figura 32 se puede observar claramente que en el transcurso del tiempo y después de cincuenta y seis (56) días de realizada la mezcla de concreto con diferentes porcentajes de adición de viruta, (9%, 10%, 11%), el porcentaje que siempre alcanzó el máximo valor de esfuerzo y mayor resistencia a la compresión fue la mezcla de concreto realizada con una adición de viruta del 10%.

Coincidiendo estos resultados con los obtenidos en investigaciones anteriores, en que el 10% es el valor óptimo para la adición de viruta, pues se obtuvieron mejores resultados que el resto de pruebas realizadas con otros porcentajes de viruta.

Además se observa que al realizar los ensayos de compresión a los cincuenta y seis días de probada las muestras, continua con un comportamiento constante a lo largo del tiempo, comprobando que la resistencia óptima se alcanza a los veintiocho (28) días.



**Figura 32. Evolución en el Tiempo Resistencia a la Compresión.**

#### 10.4. Porcentaje de Aumento de Resistencia Respecto a la Muestra Estándar.

En la Tabla 15, se muestran los resultados de porcentaje de aumento de resistencia de las muestras adicionadas con viruta respecto a la muestra estándar o patrón. En los siguientes párrafos se realiza el análisis gráfico de estos resultados.

**Tabla 15. Porcentaje de Aumento de Resistencia respecto a la Muestra Estándar**

Días	3	7	28	56
9% viruta	32,73	31,39	32,38	31,70
10% viruta	45,69	50,00	44,98	40,82
11% viruta	39,72	41,92	26,98	26,01

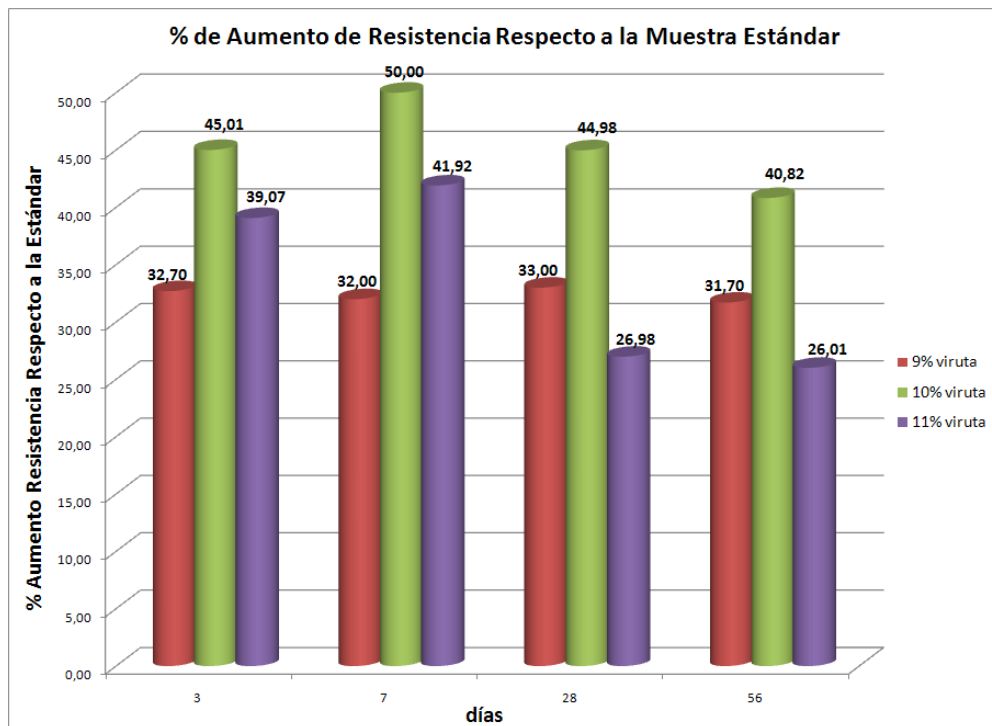
Se hace necesario estudiar lo que ocurre con las resistencias obtenidas con diferentes porcentajes de adición de viruta, comparados con lo que ocurre normalmente con la resistencia de una muestra de concreto sin adiciones de viruta.

En la Figura 33 se observa el aumento de resistencia a compresión que se consigue adicionándole viruta de acero a una mezcla de concreto, siendo el 10% de adición el que mejores resultados arroja.

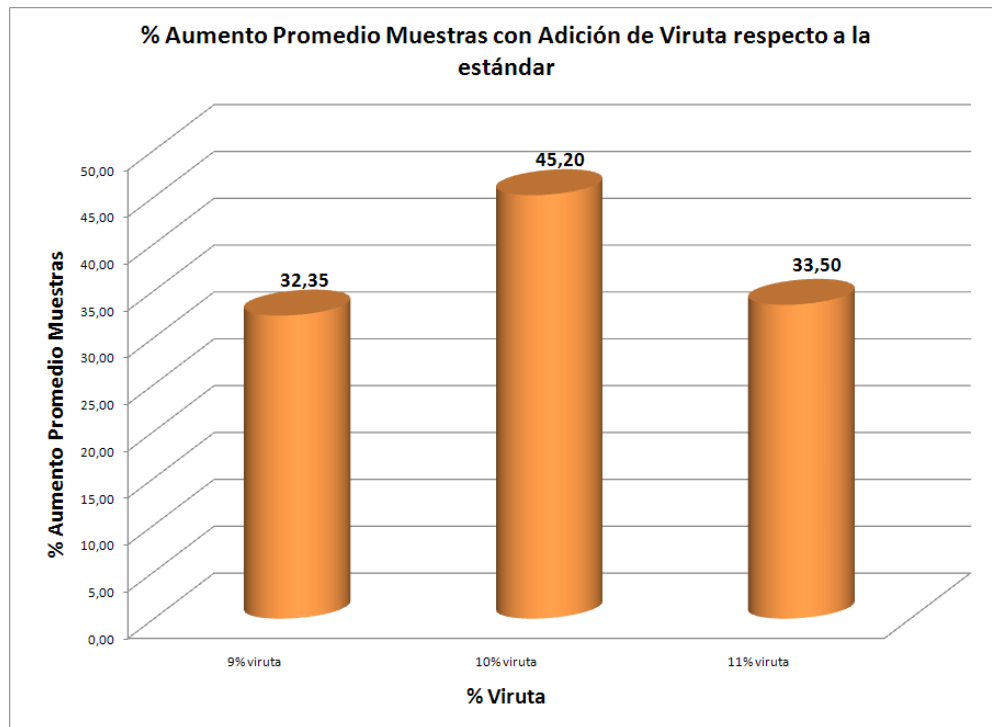


Aún más claramente se observa en la Figura 34 como el porcentaje más óptimo de aumento de resistencia se produce con la adición de viruta de acero del 10% que reemplaza la cantidad especificada del agregado fino de la mezcla, requerido en el diseño de mezcla.

Este aumento fue 45,37% el máximo presentado con el 10% de adición de viruta de acero, con lo cual se obtienen los mismos resultados obtenidos en los trabajos de grado anteriores.



**Figura 33. Porcentaje de Aumento de Resistencia Respecto a la Muestra Estándar.**



**Figura 34. Porcentaje de Aumento Promedio de Muestras General respecto a la Estándar.**

## 11. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En esta parte, se realizará una introducción al análisis estadístico de resultados, el cual ilustrará un poco mejor como se deben evaluar los datos de una muestra en particular.

Por lo anterior, para poder realizar el análisis de resultados mostrado en el capítulo anterior, se debe realizar una introducción muy rápida a lo que son los datos estadísticos básicos.

### 11.1. Estadística.<sup>7</sup>

Los procedimientos estadísticos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia y la información derivada de estos procedimientos también sirve para reafirmar criterios y especificaciones de diseño como se verá más adelante.

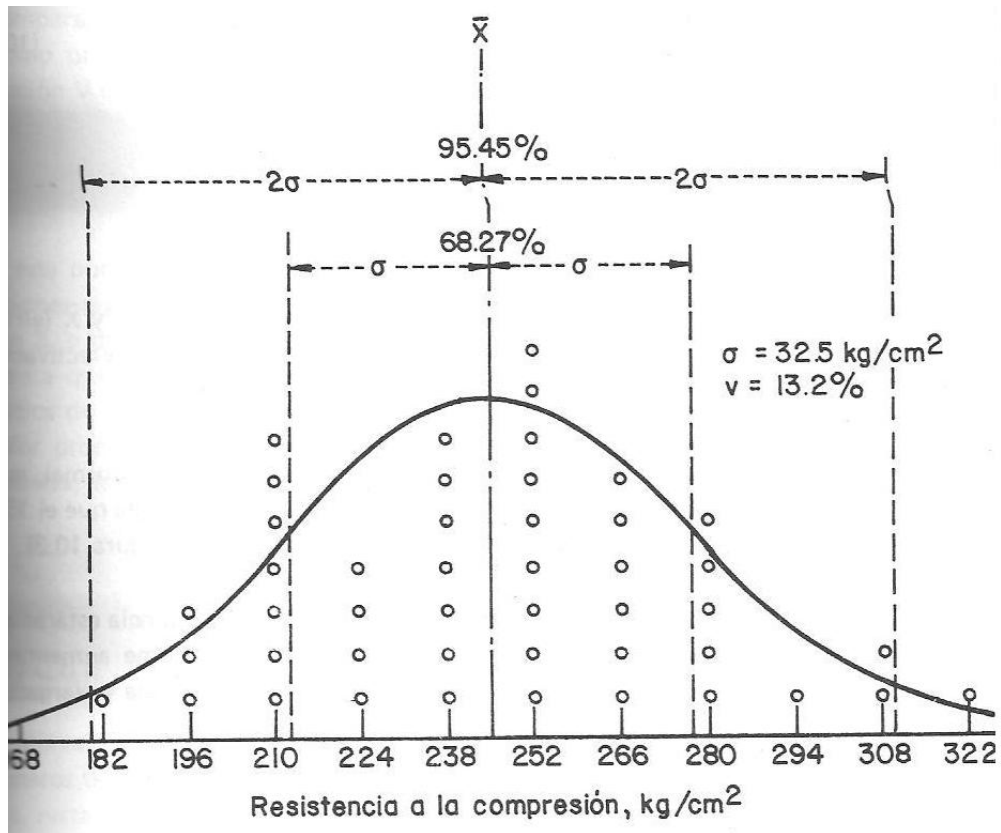
Para que los procedimientos sean valiosos, los datos deben derivarse de muestras obtenidas en el curso del desarrollo de un plan de muestreo al azar, y para obtener el máximo de información, debe efectuarse una cantidad suficiente de pruebas. Los estadísticos han designado 30 pruebas como la línea divisoria entre las muestras grandes y las pequeñas. Por tal motivo, muchos códigos, coinciden en que el número de muestras debe ser como mínimo 30, para que el análisis estadístico sea representativo.

Adicionalmente, este análisis se aplica al número total de pruebas efectuadas a un mismo tipo de mezcla que se han producido de manera consecutiva y en condiciones similares durante todo el tiempo.

Esta plenamente demostrado, que al disponer de una serie de resultados de pruebas de resistencia que se colocan en un gráfico de frecuencias como el indicado en la figura, se conforma una curva muy definida. Esta curva, asume un patrón similar al de la distribución normal de frecuencias de Gauss, cuyas propiedades pueden definirse matemáticamente y a partir de ellas calcular ciertas funciones de la resistencia del concreto.

---

<sup>7</sup> Sánchez de Guzmán Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Pontificia Universidad Javeriana. 1988.



**Figura 35. Distribución Normal Esfuerzo de Compresión.**

**11.1.1. Promedio General X**

Es la suma aritmética de los resultados de resistencia de todas las pruebas individuales, dividida por el número total de pruebas efectuadas. Como ya se indicó, una prueba se define como la resistencia promedio de todos los cilindros de la misma edad elaborados de una muestra tomada de una única mezcla de concreto.

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} = \frac{\sum X_i}{N}$$

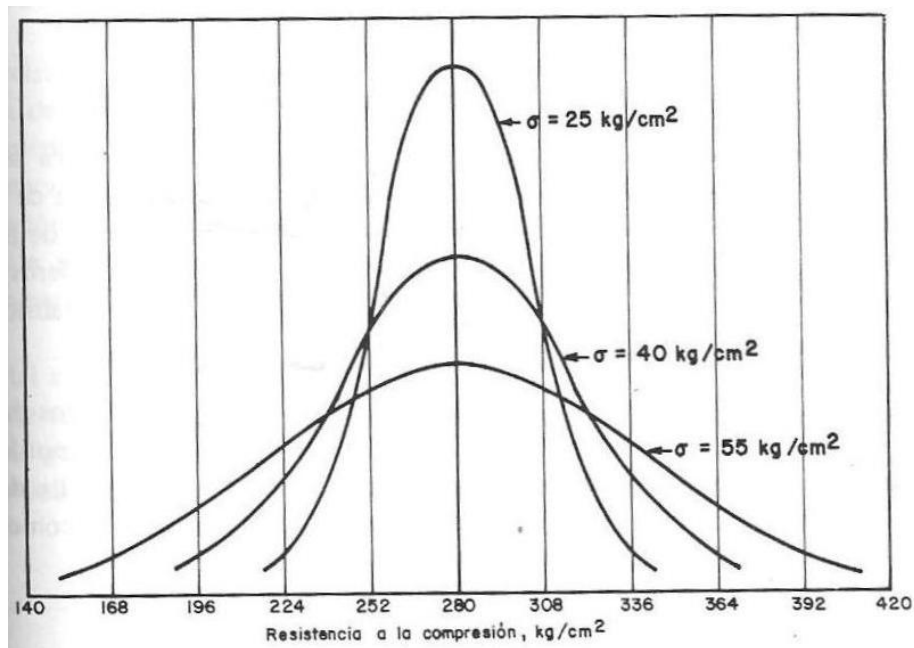
**11.1.2. Desviación Estándar σ**

Es la medida de dispersión más conocida y está definida como la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, respecto a la resistencia promedio, dividido entre el número de pruebas (N) menos uno. La razón de dividir por N – 1 es que el número de datos es limitado, (por lo general 30).

$$\sigma = \{ [ (X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2 ] N - 1 \}^{1/2}$$

$$\sigma = \frac{\sum [X_i - (\sum X_i)]^2}{N - 1}$$

En la práctica, donde existe un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca del promedio  $\bar{X}$  y la curva será alta y estrecha. Conforme aumentan las variaciones de resistencia, los valores se apartarán y la curva se vuelve baja y alargada, tal como se muestra en la figura 31.



**Figura 36. Curvas Normales de Frecuencia para Diferentes Desviaciones Estándar.**

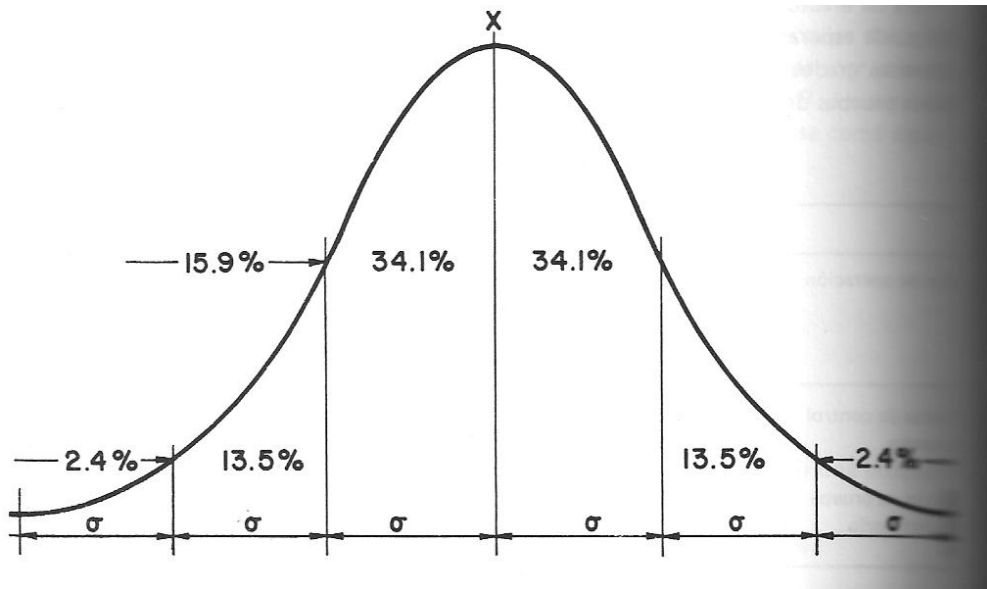
### 11.1.3. Variación en la Prueba

La variación en la resistencia del concreto dentro de una prueba única se obtiene calculando la variación de un grupo de cilindros elaborados de una muestra de concreto tomada de una mezcla determinada. Es razonable suponer que una mezcla de prueba de concreto es homogénea y que cualquier variación entre dos cilindros compañeros, elaborados de una muestra determinada es ocasionada por las variaciones en la fabricación, el curado y la prueba.

### 11.1.4. Requisitos del Nivel de Resistencia

Cuando se diseña y produce una mezcla de concreto, las muestras tomadas del material obtenido no siempre dan la misma resistencia dadas

las causas de variación que ya han sido expuestas; en unos casos, se obtienen valores superiores al de diseño y en otros, se obtienen valores inferiores. En la práctica y en condiciones normales de obra, resulta antieconómico indicar una resistencia mínima, igual a la resistencia de diseño, puesto que siempre se presentan algunos valores bajos.; esta situación se puede observar en la figura 32, en donde, el 15,87 % de los datos tienen un valor inferior a  $X - \sigma$ , o el 2.28 % de los datos tienen un valor inferior a  $X - 2\sigma$  y así sucesivamente.



**Figura 37. División del Área Bajo la Curva de Distribución Normal de Frecuencia Basada en Desviaciones de X en Múltiplos de  $\sigma$ )**

#### 11.1.5. Criterios de Evaluación para Diseño de Mezcla

La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, establece también que el concreto debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de resultados de pruebas de resistencia por debajo del valor de la resistencia a la compresión especificada del concreto  $f_c$ .

Como es imposible producir un concreto completamente homogéneo dadas las diferentes causas de variación en sus propiedades, para diseñar una mezcla de concreto se requiere de una resistencia promedio de diseño  $f_{cr}$  superior a la resistencia  $f_c$  especificada.

De tal manera, que entre más elevada sea la desviación estándar  $\sigma$  ó el coeficiente de variación  $V$ , el factor de sobrediseño será más alto y por lo tanto más costoso.

En término de la desviación estándar la fórmula se expresa así:

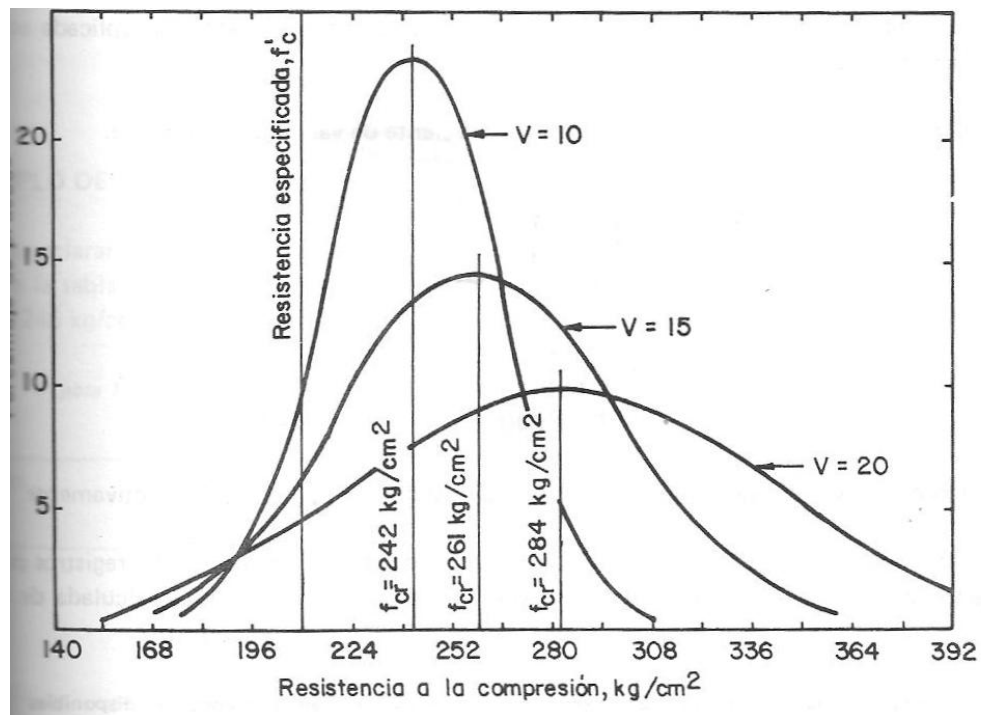
$$f'_{cr} = f'_c + t \sigma$$

$f'_{cr}$  = resistencia promedio requerida en  $\text{kg/cm}^2$

$f'_c$  = resistencia especificada de diseño en  $\text{kg/cm}^2$

$t$  = constante que depende de la proporción de pruebas que puede caer por debajo de  $f'_c$  figura 33.

La figura 33 se indica claramente que conforme aumenta la variabilidad, también debe aumentar  $f'_{cr}$ . Con ello se demuestra la importancia, desde el punto de vista económica de un buen control.



**Figura 38. Curvas Normales de Frecuencia para coeficientes de Variación de 10, 15 y 20%**

### 11.1.6. Mediana

En una serie de valores estadísticos el que ocupa la posición central es la mediana.

El símbolo utilizado es  $Me$ , y se puede definir como aquel valor de la variable que supera a no más de la mitad de las observaciones y al mismo tiempo es superado por no más de la mitad de las observaciones. La mediana es el valor central.

La mediana se calcula en datos no agrupados y datos agrupados.

#### **11.1.7. Moda**

Llamado también Moda o valor Modal se simboliza por  $Md$  y se define como aquel valor de la variable que presenta la mayor frecuencia.

Una ventaja del modo es que este indica el punto de mayor concentración y por esto lo hace la mejor medida de tendencia central.

#### **11.1.8. Media Geométrica**

Se simboliza  $Mo$ . La media Geométrica de dos números  $X_1$ ,  $X_2$ , es igual a la raíz cuadrada de su producto. Se utiliza cuando se quiere dar importancia a valores pequeños de la variable, y esta es sensible a cualquier cambio en los valores de la distribución. El valor de la Media Geométrica no es muy influenciado por los datos extremos, como sucede con los otros promedios.

Es indispensable cuando se desea sacar el promedio de una serie de valores que están en progresión geométrica o aproximadamente geométrica.

#### **11.1.9. Media Armónica**

Su símbolo es  $M-1$ . La Media Armónica se usa preferencialmente para calcular la velocidad media, y es de gran utilidad cuando la variable está dada en forma de tasa.

La media Armónica se calcula para datos agrupados y datos no agrupados.

#### **11.1.10. Media Cuadrática**

Se define como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de la variable, es aplicable tanto para datos agrupados como para datos no agrupados. Su utilización es poco frecuente. En algunos problemas de probabilidad, es teóricamente recomendable trabajar con el cuadrado de las cifras, donde es importante la aplicación de media cuadrática.



### 11.1.11. Media Cúbica

Se define como la raíz cubica de la media aritmética de los cubos de los valores de la variable. Se utiliza para datos sin agrupa y para datos agrupados.

### 11.2. Resultados Análisis Estadísticos de las Pruebas por Edades.

Después de realizados los ensayos con adiciones de viruta en porcentajes de 9% , 10% y 11%, reemplazando el agregado fino de una mezcla de concreto, se hace necesario estudiar estadísticamente todos los resultados obtenidos, para determinar qué porcentaje de adición es el óptimo.

Esto se puede desarrollar con todas las herramientas estadísticas estudiadas anteriormente, desviación estándar, media, moda etc.

En la Tabla 16, se muestran los resultados estadísticos de los promedios y el coeficiente de desviación estándar (% error) de las muestras del proyecto en particular.

**Tabla 16. Resultados promedios y Coeficiente de Desviación estándar.**

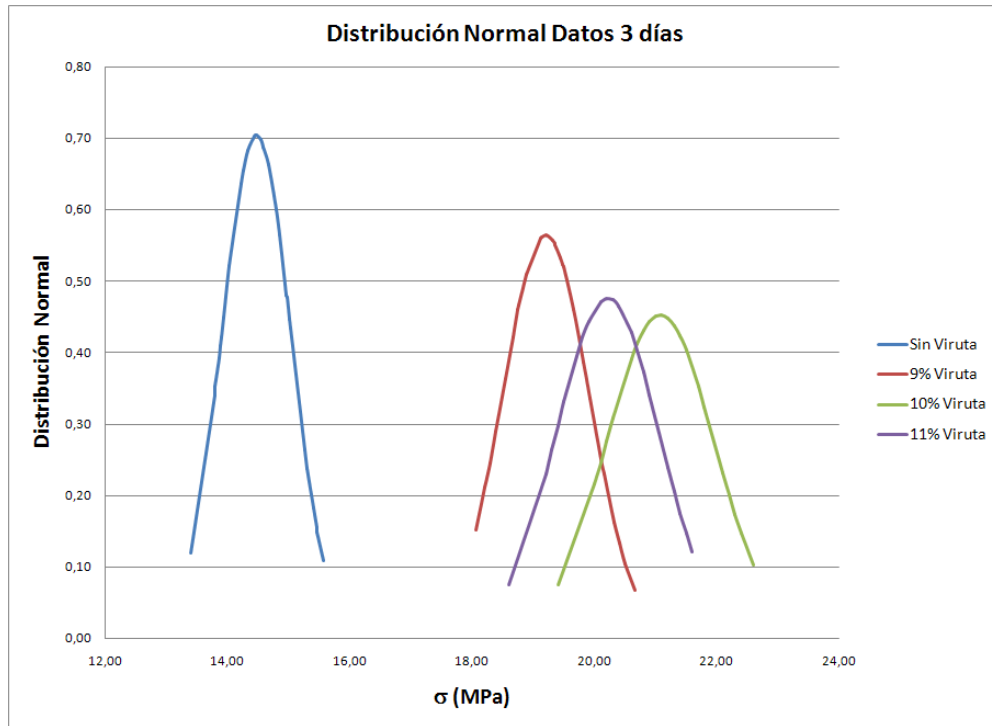
Esfuerzos promedio (Mpa)					Coeficiente de desviación estándar (desv/media %)			
Días	3	7	28	56	3	7	28	56
Estandar	14,55	16,73	21,82	22,91	3,90	4,17	4,17	4,19
9% viruta	19,30	22,08	29,02	30,18	3,67	3,90	3,90	4,19
10% viruta	21,09	25,09	31,63	32,27	4,19	4,17	4,18	4,19
11% viruta	20,23	23,74	27,71	28,87	4,15	4,15	4,16	4,20

#### 11.2.1. Análisis Estadísticos Cilindros Tres (3) días.

Para los 30 cilindros elaborados con una adición de viruta de acero de 9%, 10% y 11%, y probados a compresión después de 3 días de estar sumergidos en agua, y la misma cantidad de tiempo de estar fundidos, los resultados obtenidos de distribución normal son los mostrados en la figura 27.

En la Figura 39 se observa como los valores obtenidos de resistencia son muy cercanos al promedio, por ello las curvas son altas y estrechas. Igualmente el promedio de resistencia requerido es el obtenido y las pruebas inferiores a la resistencia no son muy representativas. Se observa también que los cilindros realizados sin adición de viruta de acero arrojan resultados de resistencia a la compresión más bajos y bastante

alejados a los obtenidos con los diferentes porcentajes viruta en la mezcla de concreto.

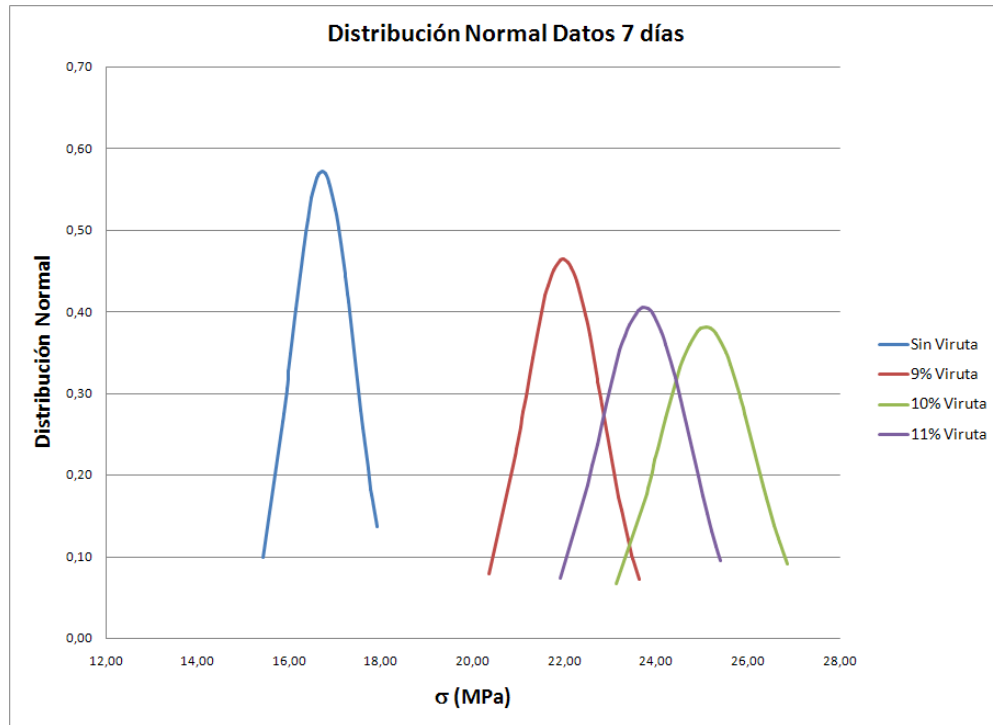


**Figura 39. Distribución Normal Datos Tres (3) días.**

### 11.2.2. Análisis Estadísticos Cilindros Siete (7) días.

La distribución normal obtenida para los 30 cilindros de mezcla de concreto probados en la máquina de compresión después de 7 días en porcentajes de 9%, 10% y de 11%, tienen una variación en cuanto a la fuerza a compresión soportada por los cilindros que no tienen adición de viruta y el resto de probetas con los porcentajes anteriormente nombrados. Esta variación de resistencia se puede observar en la siguiente figura que muestra una diferencia cada vez menor entre las probetas sin viruta y las que tienen adición de 9%.

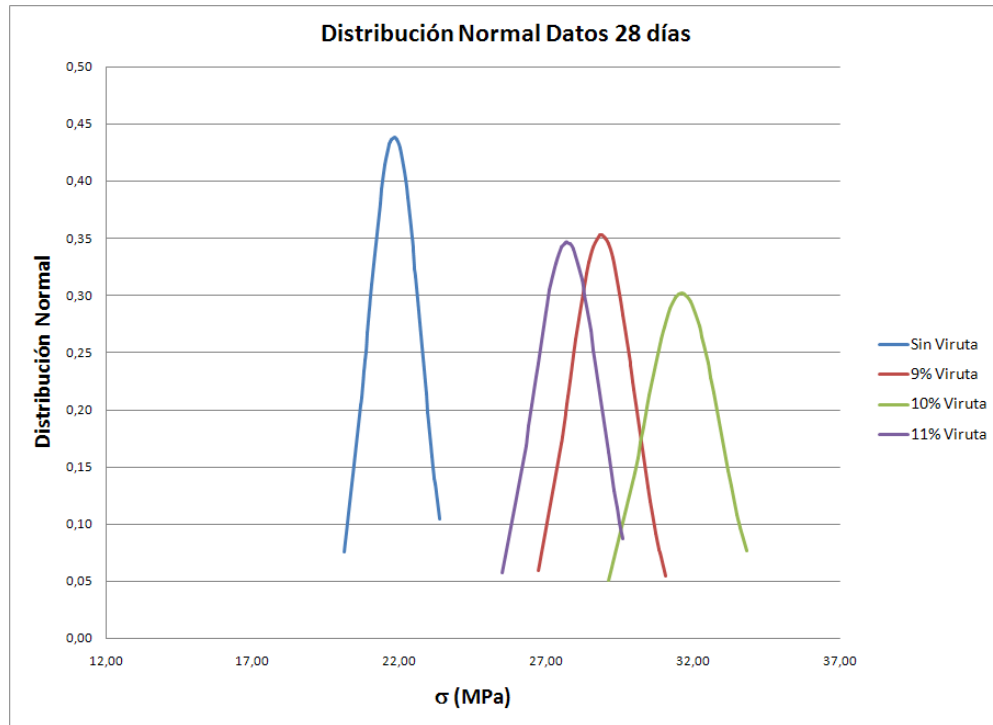
Con esta gráfica de distribución normal se puede apreciar que los datos que están por fuera de el promedio son muy pocos demostrando así que se efectuó un buen control sobre la realización de los cilindros.



**Figura 40. Distribución Normal Datos Siete (7) días.**

### 11.2.3. Análisis Estadísticos Cilindros Veintiocho (28) días.

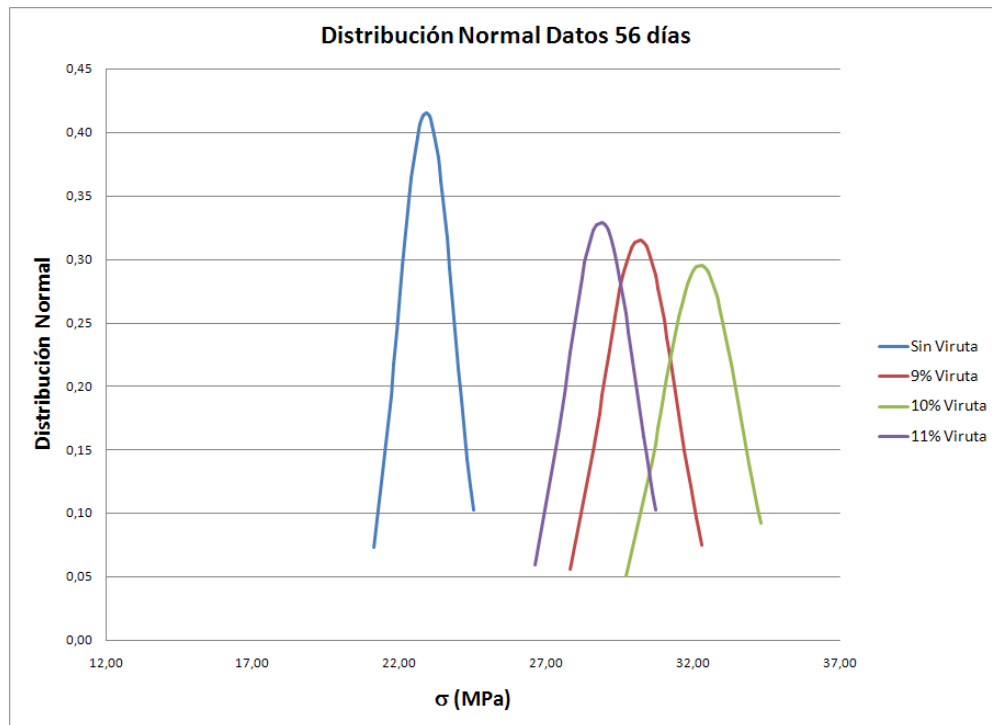
Después de 28 días de haber fundido 120 cilindros con diferentes porcentajes de adición de viruta, y con el mismo tiempo curados con agua fresca, los resultados de distribución normal obtenidos, señalan que los cilindros realizados con adición de viruta de 10% son los más representativos, pues los valores de resistencia a la compresión son los más altos y los rangos en los que se encuentran estos siempre son los más altos. Estos resultados se aprecian más claramente en la Figura 41.



**Figura 41. Distribución Normal Datos Veintiocho (28) días.**

#### **11.2.4. Análisis Estadísticos Cilindros Cincuenta y Seis (56) días.**

Al estudiar una cantidad igual a la anterior de cilindros con porcentajes de 9%, 10% y 11%, pero con 56 días de realizada la mezcla de concreto y el mismo tiempo de estar sumergidos en agua, los cambios presentados en cuanto al aumento de resistencia a la compresión son muy pocos, pues los resultados tienden a mantenerse estables, siempre conservando el máximo valor de resistencia a la compresión los obtenidos en los cilindros efectuados con adición de viruta de 10% en una mezcla de concreto.



**Figura 42. Distribución Normal Datos Cincuenta y Seis (56) días.**

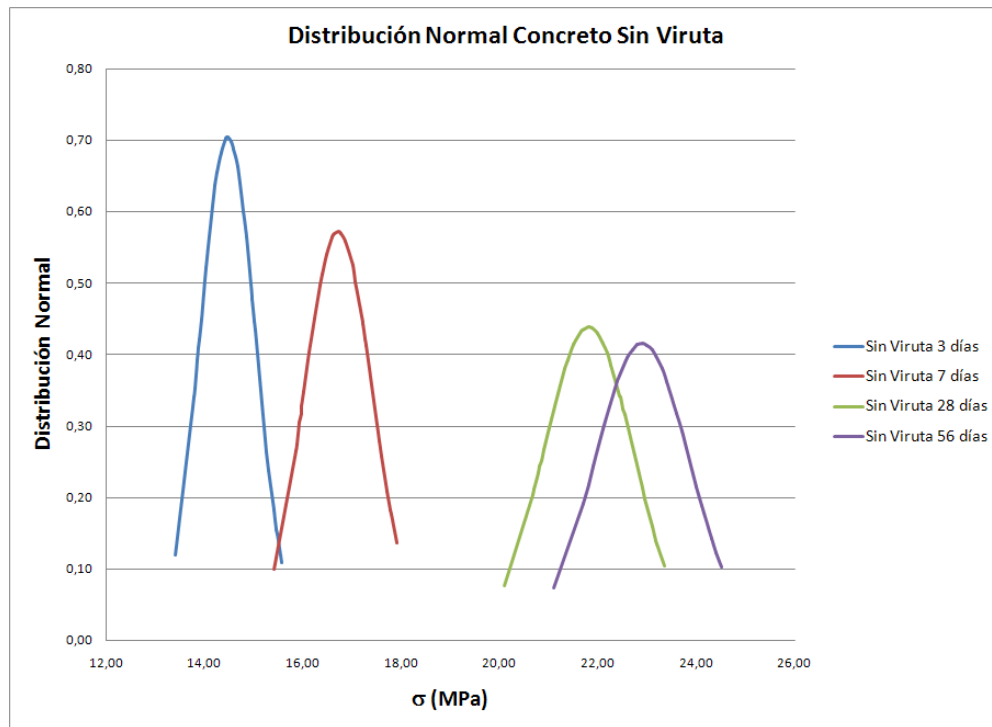
En la Figura 42 se aprecia con mayor claridad el comportamiento del concreto después de 56 días de fundido el concreto.

#### **11.2.5. Análisis Estadísticos por Muestras (Concreto Sin Viruta, 9%, 10% y 11% de Adición de Viruta).**

Para ver más claramente el comportamiento del concreto con el paso del tiempo, se hace más sencillo, estudiar los resultados uno a uno, según las adiciones de concreto aplicadas a los cilindros.

Es de suma importancia tener en cuenta lo que ocurre con el concreto que no se le ha adicionado viruta, comparando lo que ocurre después de 3 días de fundida la muestra, 7 días, 28 días y 56 días.

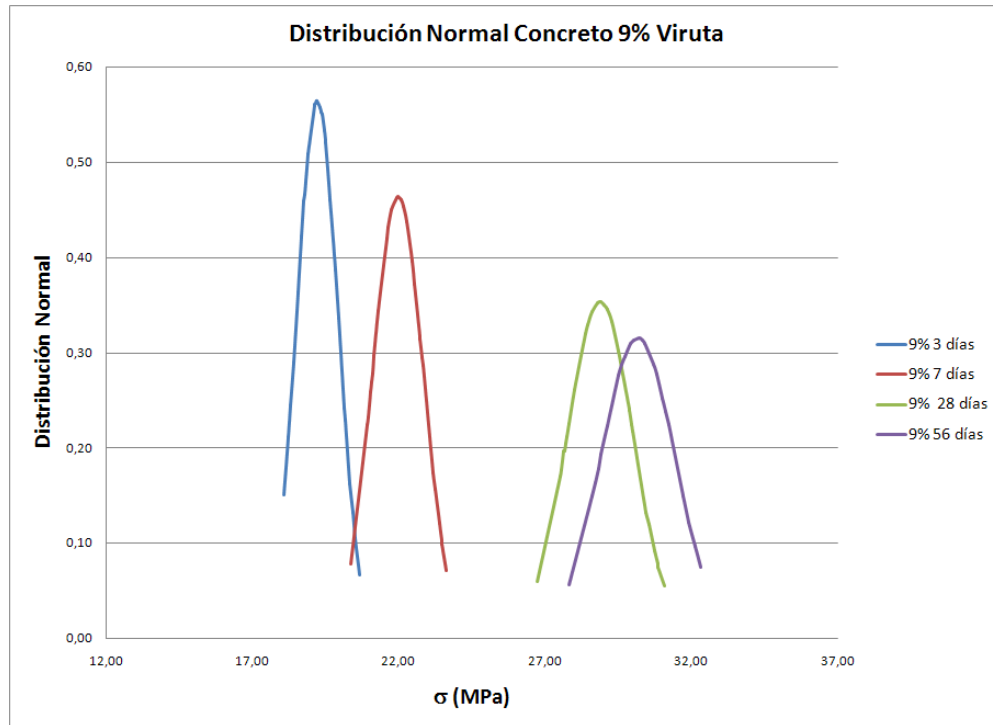
En la Figura 43 se aprecia como disminuye la distribución normal después de pasados los 28 días, aumentando la capacidad de soportar esfuerzo a compresión, es decir aumentando la resistencia.



**Figura 43. Distribución Normal Concreto sin Viruta.**

En la Figura 44 se observa como después de 3 días y después de los 7 días los valores se encuentran más agrupados, que los obtenidos después de 28 días y 56 días, debido a las variaciones de resistencias encontradas, pero siempre superiores y en aumento.

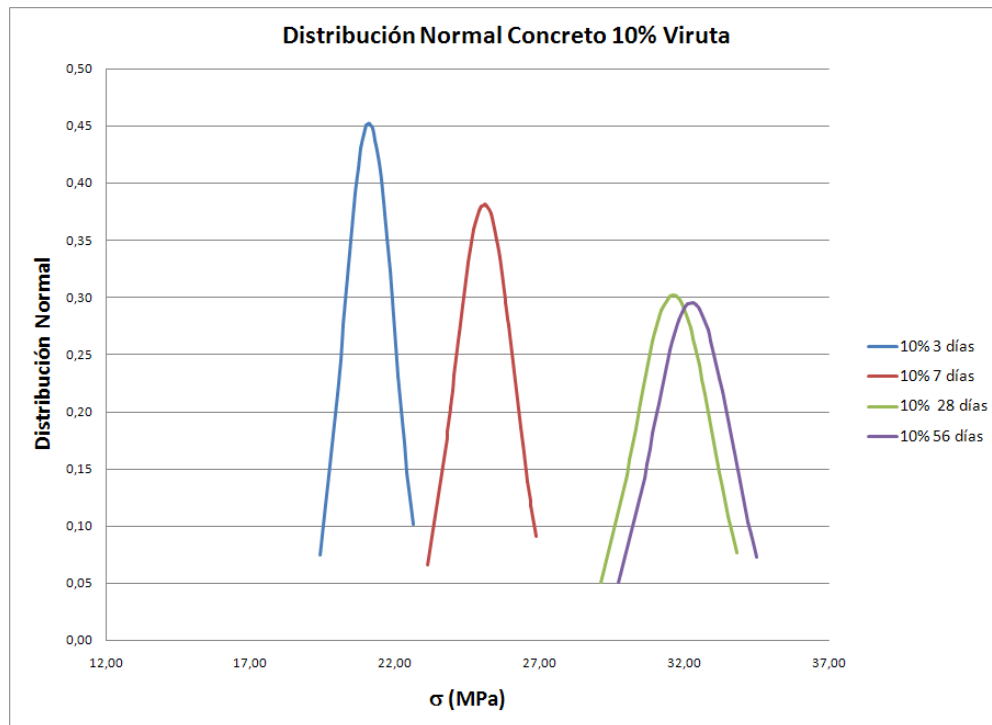
En la Figura 44 se observa como a los 7 días de haber fundido los cilindros, la curva de distribución normal se hace alta y estrecha mostrando así que todos los datos están agrupados, corroborando la excelente ejecución de la toma de muestras.



**Figura 44. Distribución Normal Concreto 9% Viruta.**

Con adición de viruta de 10% los resultados alcanzados son los más representativos, pues la resistencia alcanzada a compresión es la máxima comparada con los demás resultados.

En la Figura 45 se observa como los ensayos realizados a los 28 días, son muy parecidos a los realizados a los 56 días, aumentando la resistencia a compresión del concreto, pero manteniéndose la curva en semejanza de condiciones.

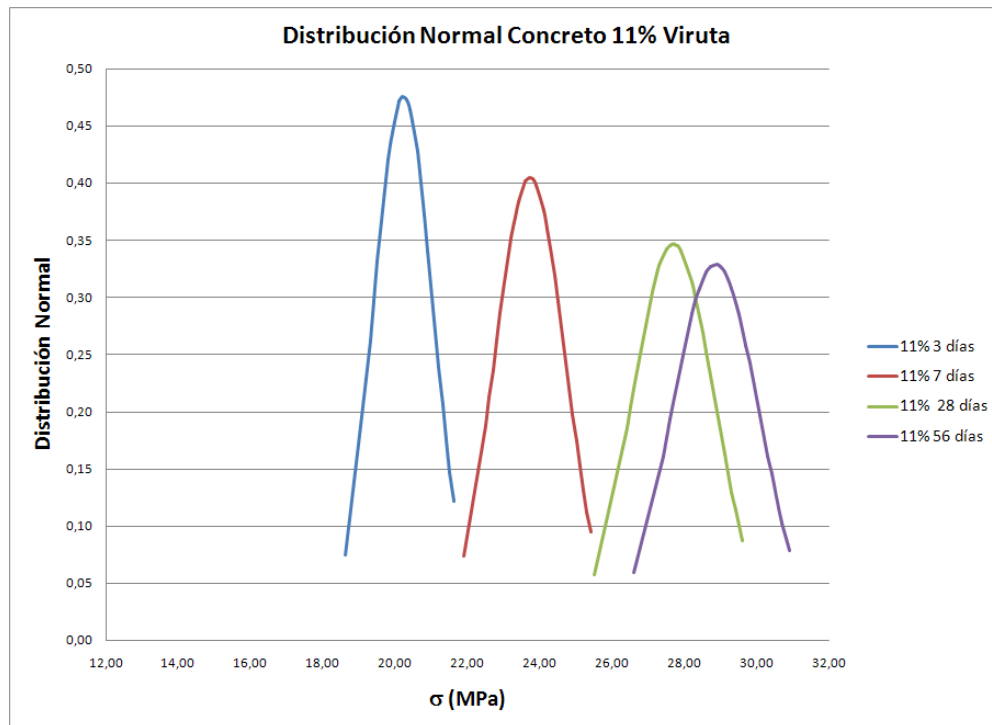


**Figura 45. Distribución Normal Concreto 10% Viruta.**

Los cilindros realizados con una adición de viruta del 11%, arrojan datos muy parejos con el paso del tiempo, es decir, que la resistencia obtenida a compresión va aumentando de maneras similares en cada espacio de tiempo estudiado.

Así mismo se observa como al final de los días se aumentan las variaciones de resistencia en un mismo grupo de cilindros estudiados a un tiempo determinado, como ocurre con los 28 días y los 56 días, sin modificar los máximos obtenidos.





**Figura 46. Distribución Normal Concreto 11% Viruta.**

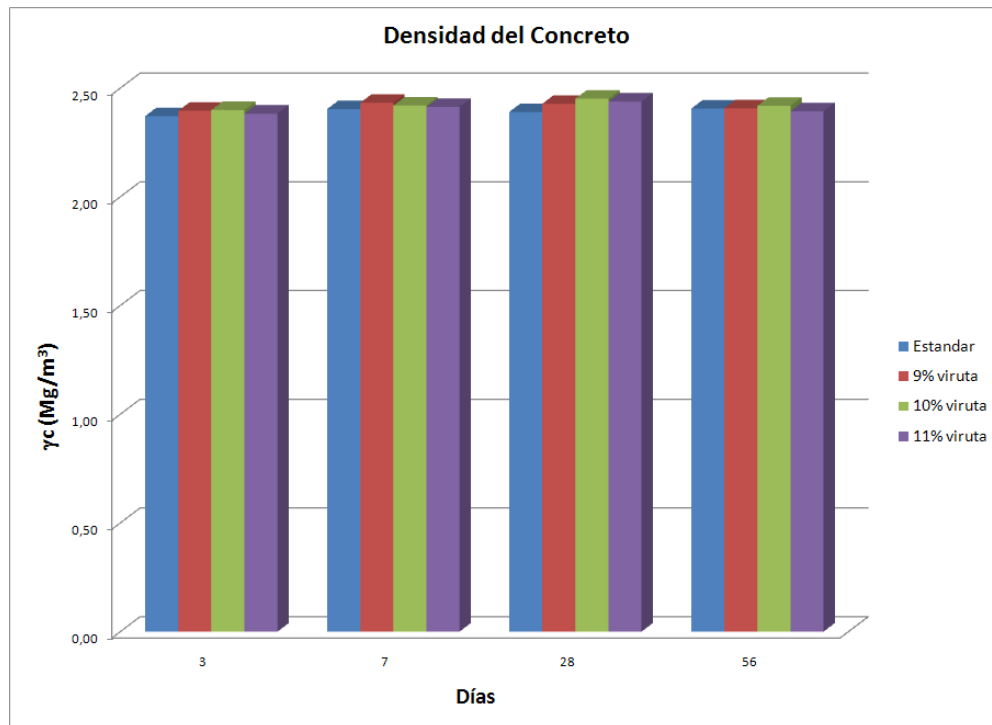
### 11.3. Análisis de la Densidad del Concreto:

Se hizo el análisis de la densidad o peso por metro cuadrado del concreto, y se obtuvieron resultados similares, si no iguales entre la muestra estándar y la muestra con adición de viruta. En la Tabla 17 se muestran los resultados promedios de este valor y en el Anexo 1, los resultados puntuales de todas las muestras.

**Tabla 17. Resultados Promedios de Densidad.**

Días	3	7	28	56
Estandar	2,37	2,41	2,40	2,41
9% viruta	2,40	2,44	2,43	2,41
10% viruta	2,41	2,42	2,45	2,42
11% viruta	2,39	2,42	2,44	2,40

Se pudo observar cómo se muestra en la Figura 47 el promedio de densidades dependiendo de cual muestra es, realmente el valor varía muy poco respecto al de la muestra estándar, por lo cual, no se observó cual es el porcentaje de error respecto a esta muestra. La densidad promedio que se obtiene de este análisis es  $2.41 \text{ Mg/m}^3$ .



**Figura 47. Promedio de Densidades.**

#### 11.4. Comparación de Resultados con Trabajos de Grado anteriores.

En este punto se pueden comparar los resultados con trabajos de grado anteriores, respecto a la adición de 10% de viruta, para encontrar que tan similares son estos resultados.

A continuación en la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos en los trabajos de grado titulados: “OPTIMIZACIÓN DE UN CONCRETO DE 3000 PSI MEJORANDO LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADICIONANDO VIRUTA DE ACERO” realizado por Ever Johan Barrera Martínez y Nestor Eduardo Navas Villamizar, “MEJORAMIENTO DE UN CONCRETO DE 3000 PSI CON ADICIÓN DE VIRUTA DE ACERO CON PORCENTAJES DE 6%, 8% Y 10% RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA” realizado por los estudiantes Jhon Edinson Sarmiento Gutierrez y Heyner Andrés García Córdoba y “MEJORAMIENTO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE VIRUTA DE ACERO A PORCENTAJES DE 12 Y 14% RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA.” realizado por Alfonso García Badillo.

En estos resultados se puede observar que son muy similares a los que se obtuvieron con los resultados estadísticos, por cuanto se trabajó con la misma metodología que se siguió con los trabajos de grado anteriores.

En la Tabla 19 se observa el aumento de la resistencia respecto a la estándar, observándose que con el análisis estadístico obtenido, se logró una optimización de este resultado, en el trabajo de grado propio se obtuvo un promedio de aumento de 45.37%, mientras que en los trabajos de grado anteriores se logra un aumento promedio para la muestra de 10% de adición de viruta de 78.19%, lo que demuestra, que era necesario realizar este estudio, para poder establecer cual era realmente el aumento que presentaban las muestras.

**Tabla 18. Resultados Resumen Generales Promedio.**

Cilindros	Esfuerzos promedio (Mpa)		
	3 días	7 días	28 días
Estandar	15,20	17,39	22,51
6% viruta	19,23	22,26	26,82
8% viruta	24,09	26,00	31,79
10% viruta	28,28	32,34	36,60
12% viruta	19,66	19,56	26,48
14% viruta	15,68	15,35	18,93
15% viruta	16,93	14,88	19,50
20% viruta	10,52	12,03	14,28

**Tabla 19. Porcentajes de Aumento Respecto a la Estándar.**

Cilindros	Porcentajes de aumento de resistencia (MPa)		
	3 días	7 días	28 días
6% viruta	26,52	28,00	19,14
8% viruta	58,45	49,54	41,19
10% viruta	86,04	85,95	62,57
12% viruta	29,31	12,46	17,60
14% viruta	3,14	-11,73	-15,92
15% viruta	11,34	-14,43	-13,38
20% viruta	-30,78	-30,85	-36,58

Los resultados obtenidos de los trabajos de grado anteriores, no son datos estadísticos, por esto no se puede establecer un análisis estadístico y ese era el objetivo de realizar este trabajo de grado, determinar cuál era el aumento real de resistencia respecto a la estándar de un concreto adicionado con viruta de acero en un 10% de reemplazo al agregado fino de la mezcla.

## 12. CONCLUSIONES

- El mejor comportamiento de mezcla se obtuvo con la adición de viruta del 10% respecto al agregado fino de la mezcla, aunque los datos de aumento de la resistencia vario respecto a los obtenidos en los trabajos de grado anteriores, disminuyo el aumento de resistencia respecto a la muestra estándar.
- La adición de viruta no representa un cambio en la propiedades físicas del concreto, las muestras presentaron una estabilidad en su densidad (tabla 17) dando como dato promedio un  $\rho = 2.4 \text{ Mg/m}^3$ , lo que indica que este tipo de concreto no presenta variabilidad en su peso.
- Se pudo observar con la adición de 9% y 11% de viruta respecto al agregado fino de la mezcla, que se mejora la resistencia respecto a la mezcla estándar.
- A los tres (3) y siete (7) días, se pudo observar que en las mezclas con adición de viruta de los tres porcentajes presentaron un aumento significativo respecto a la muestra estándar.
- En el análisis de las figuras se observa que las resistencias obtenidas cumplieron con lo esperado y las registradas por debajo del promedio no fueron significativas; es decir se obtuvieron los resultados esperados en cuanto a las resistencias de las muestras.
- Se pudo observar en la mayoría de adiciones que a los tres (3) y siete (7) días es en donde se presenta mayor aumento de resistencia respecto a la estándar, a los veintiocho (28) y cincuenta y seis (56) días, se puede observar que se presenta estable este aumento de resistencia, por lo cual se considera que esto se presenta por la utilización de un cemento tipo III en la mezcla de concreto, el cual logra mayores resistencias a tiempos iniciales.

### 13. RECOMENDACIONES

- Al observar los resultados en las resistencias de la mezcla de concreto con adición de viruta se puede sugerir un análisis al comportamiento de la viruta ya que este material es acero y es posible que factores como la corrosión cambien las propiedades físico-mecánicas en función del tiempo para edades mayores y así concluir que posibles afectaciones podría tener en las estructuras donde se utilizara este concreto.
- Debido a las altas resistencias obtenidas y con los conocimientos ya referenciados se puede recomendar este tipo de concretos a estructuras como cimientos o zapatas y columnas, donde se soportan altas cargas de compresión.
- Sería importante hacer un análisis de cómo varía el módulo de elasticidad del concreto ya que es muy notable las variaciones esfuerzos y a su vez analizar sus deformaciones.
- Los porcentajes de viruta estudiados se pueden usar dependiendo de la aplicación, por cuanto se pudo observar que aunque se adicione solamente un 9% de viruta, se logro un aumento representativo en la resistencia a la compresión.
- Se pudo observar que la variación de resultados entre los veintiocho (28) y cincuenta y seis (56) días no es significativo, por lo cual se considera que no se debe evaluar en un tiempo más largo la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

John A. Schey. Procesos de Manufactura. Editorial Mc Graw Hill. 2000. Tercera Edición.

Sánchez de Guzmán Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

Martínez Bencardino, Ciro. Estadística Básica Aplicada. ECOE. Segunda Edición. 2002.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1.998. NSR – 98.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC – 174 Especificaciones de los Agregados para Concreto.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC – 673 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Cilindros Normales de Concreto.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC – 396 Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC – 504 Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

Notas de Clase. Curso Materiales de Construcción. Docente. Claudia Patricia Retamoso Llamas.

## ANEXO 1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN

### Tablas de Resultados Tres (3) días.

- Concreto sin Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	243,10	13,40	0,12	13,27	2,44
22	15,20	18146	250,10	13,78	0,34	12,20	2,24
28	15,30	18385	253,70	13,80	0,35	12,37	2,24
24	15,30	18385	254,70	13,85	0,39	12,30	2,23
13	15,10	17908	248,10	13,85	0,39	13,85	2,58
5	15,00	17671	245,20	13,88	0,41	12,68	2,39
19	15,20	18146	252,10	13,89	0,42	12,77	2,35
27	15,30	18385	256,10	13,93	0,45	13,54	2,45
23	15,30	18385	257,90	14,03	0,52	13,18	2,39
25	15,30	18385	261,30	14,21	0,64	12,34	2,24
18	15,20	18146	258,60	14,25	0,66	12,37	2,27
11	15,00	17671	253,20	14,33	0,68	12,36	2,33
15	15,20	18146	261,90	14,43	0,70	12,55	2,31
21	15,20	18146	262,30	14,46	0,70	13,05	2,40
29	15,30	18385	266,10	14,47	0,70	12,49	2,26
16	15,20	18146	263,80	14,54	0,70	12,29	2,26
4	15,00	17671	257,80	14,59	0,69	13,51	2,55
8	15,00	17671	259,10	14,66	0,66	13,54	2,55
1	15,00	17671	261,30	14,79	0,60	13,21	2,49
9	15,00	17671	262,30	14,84	0,56	13,29	2,51
30	15,30	18385	275,10	14,96	0,48	13,47	2,44
2	15,00	17671	264,50	14,97	0,48	13,26	2,50
7	15,00	17671	265,20	15,01	0,45	12,85	2,42
12	15,00	17671	265,50	15,02	0,43	12,33	2,33
10	15,00	17671	269,70	15,26	0,26	12,30	2,32
6	15,00	17671	270,40	15,30	0,24	12,3	2,32
26	15,30	18385	283,10	15,40	0,18	12,27	2,22
17	15,20	18146	280,40	15,45	0,15	13,18	2,42
3	15,00	17671	273,30	15,47	0,15	12,66	2,39
14	15,10	17908	278,70	15,56	0,11	12,58	2,34

- Concreto 9% Adición de Viruta

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
29	15,30	18385	331,9	18,05	0,15	13,04	2,36
24	15,30	18385	334,80	18,21	0,21	13,65	2,47
28	15,30	18385	336,20	18,29	0,24	12,54	2,27
18	15,20	18146	333,60	18,38	0,29	13,68	2,51
22	15,20	18146	336,40	18,54	0,36	13,37	2,46
13	15,10	17908	334,20	18,66	0,42	13,5	2,51
30	15,30	18385	344,7	18,75	0,46	12,475	2,26
27	15,30	18385	345,00	18,76	0,47	13,775	2,50
14	15,10	17908	338,10	18,88	0,51	13,85	2,58
17	15,20	18146	342,60	18,88	0,51	12,55	2,31
2	15,00	17671	337,80	19,12	0,56	12,475	2,35
21	15,20	18146	347,00	19,12	0,56	12,555	2,31
26	15,30	18385	351,70	19,13	0,56	12,48	2,26
16	15,20	18146	347,20	19,13	0,56	13,685	2,51
5	15,00	17671	339,40	19,21	0,56	13,05	2,46
10	15,00	17671	341,20	19,31	0,56	13,51	2,55
15	15,20	18146	351,10	19,35	0,55	12,495	2,30
4	15,00	17671	342,10	19,36	0,55	13,38	2,52
25	15,30	18385	357,40	19,44	0,53	12,495	2,27
23	15,30	18385	358,10	19,48	0,52	12,49	2,26
20	15,20	18146	353,60	19,49	0,52	12,96	2,38
11	15,00	17671	347,30	19,65	0,46	12,875	2,43
1	15,00	17671	350,20	19,82	0,39	12,77	2,41
19	15,20	18146	361,50	19,92	0,34	12,535	2,30
8	15,00	17671	355,60	20,12	0,24	12,445	2,35
12	15,00	17671	356,10	20,15	0,23	12,445	2,35
9	15,00	17671	359,10	20,32	0,16	13,41	2,53
6	15,00	17671	360,60	20,41	0,13	12,475	2,35
7	15,00	17671	362,30	20,50	0,10	13,12	2,47
3	15,00	17671	365,20	20,67	0,07	12,65	2,39



- Concreto 10% Adición de Viruta

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	352,50	19,40	0,07	13,05	2,40
22	15,20	18146	362,65	20,00	0,22	13,51	2,48
28	15,30	18385	367,87	20,00	0,22	12,495	2,27
5	15,00	17671	355,54	20,10	0,25	13,04	2,46
13	15,10	17908	359,75	20,10	0,25	13,65	2,54
19	15,20	18146	365,55	20,10	0,25	12,54	2,30
24	15,30	18385	369,32	20,10	0,25	13,47	2,44
27	15,30	18385	371,35	20,20	0,28	13,26	2,40
23	15,30	18385	373,96	20,30	0,31	12,85	2,33
25	15,30	18385	378,89	20,60	0,39	12,33	2,24
18	15,20	18146	374,97	20,70	0,41	13,12	2,41
11	15,00	17671	367,14	20,80	0,43	12,65	2,39
15	15,20	18146	379,76	20,90	0,44	12,475	2,29
21	15,20	18146	380,34	21,00	0,45	12,555	2,31
29	15,30	18385	385,845	21,00	0,45	12,48	2,26
16	15,20	18146	382,51	21,10	0,45	13,685	2,51
4	15,00	17671	373,81	21,20	0,45	13,05	2,46
8	15,00	17671	375,70	21,30	0,44	13,51	2,55
1	15,00	17671	378,89	21,40	0,42	12,445	2,35
9	15,00	17671	380,34	21,50	0,40	13,41	2,53
2	15,00	17671	383,53	21,70	0,35	12,475	2,35
30	15,30	18385	398,895	21,70	0,35	12,29	2,23
7	15,00	17671	384,54	21,80	0,32	13,51	2,55
12	15,00	17671	384,98	21,80	0,32	13,54	2,55
10	15,00	17671	391,07	22,10	0,23	13,21	2,49
6	15,00	17671	392,08	22,20	0,20	12,33	2,33
26	15,30	18385	410,50	22,30	0,17	12,30	2,23
3	15,00	17671	396,29	22,40	0,15	13,775	2,60
17	15,20	18146	406,58	22,40	0,15	13,85	2,54
14	15,10	17908	404,12	22,60	0,10	12,96	2,41

- Concreto 11% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	337,91	18,60	0,07	12,49	2,29
22	15,20	18146	347,64	19,20	0,23	12,29	2,26
28	15,30	18385	352,64	19,20	0,23	13,51	2,45
5	15,00	17671	340,83	19,30	0,26	12,475	2,35
13	15,10	17908	344,86	19,30	0,26	13,775	2,56
19	15,20	18146	350,42	19,30	0,26	13,85	2,54
24	15,30	18385	354,03	19,30	0,26	12,55	2,28
27	15,30	18385	355,98	19,40	0,30	12,37	2,24
23	15,30	18385	358,48	19,50	0,33	12,30	2,23
18	15,20	18146	359,45	19,80	0,42	12,96	2,38
25	15,30	18385	363,21	19,80	0,42	12,875	2,33
11	15,00	17671	351,95	19,90	0,44	12,77	2,41
15	15,20	18146	364,04	20,10	0,47	12,445	2,29
21	15,20	18146	364,60	20,10	0,47	13,41	2,46
29	15,30	18385	369,879	20,10	0,47	12,475	2,26
16	15,20	18146	366,68	20,20	0,48	13,47	2,47
4	15,00	17671	358,34	20,30	0,47	13,26	2,50
8	15,00	17671	360,15	20,40	0,46	12,85	2,42
1	15,00	17671	363,21	20,60	0,43	12,33	2,33
9	15,00	17671	364,60	20,60	0,43	13,47	2,54
2	15,00	17671	367,66	20,80	0,37	13,26	2,50
30	15,30	18385	382,389	20,80	0,37	12,85	2,33
7	15,00	17671	368,63	20,90	0,34	12,55	2,37
12	15,00	17671	369,05	20,90	0,34	13,05	2,46
10	15,00	17671	374,88	21,20	0,24	12,49	2,36
6	15,00	17671	375,86	21,30	0,21	13,38	2,52
26	15,30	18385	393,51	21,40	0,17	12,495	2,27
3	15,00	17671	379,89	21,50	0,15	12,49	2,36
17	15,20	18146	389,76	21,50	0,15	12,96	2,38
14	15,10	17908	387,39	21,60	0,12	13,21	2,46

**Tablas de Resultados Siete (7) días.**

- Concreto Sin Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	279,57	15,41	0,10	12,92	2,37
22	15,20	18146	287,62	15,85	0,27	13,45	2,47
28	15,30	18385	291,76	15,87	0,27	12,39	2,25
24	15,30	18385	292,91	15,93	0,30	13,48	2,44
13	15,10	17908	285,32	15,93	0,31	13,65	2,54
5	15,00	17671	281,98	15,96	0,32	12,39	2,34
19	15,20	18146	289,92	15,98	0,33	12,52	2,30
27	15,30	18385	294,52	16,02	0,35	13,74	2,49
23	15,30	18385	296,59	16,13	0,40	13,65	2,47
25	15,30	18385	300,50	16,34	0,50	12,54	2,27
18	15,20	18146	297,39	16,39	0,51	13,35	2,45
11	15,00	17671	291,18	16,48	0,54	13,3	2,51
15	15,20	18146	301,19	16,60	0,56	12,97	2,38
21	15,20	18146	301,65	16,62	0,57	12,44	2,29
29	15,30	18385	306,02	16,64	0,57	13,82	2,51
16	15,20	18146	303,37	16,72	0,57	12,50	2,30
4	15,00	17671	296,47	16,78	0,57	13,68	2,58
8	15,00	17671	297,97	16,86	0,56	12,58	2,37
1	15,00	17671	300,50	17,00	0,52	12,56	2,37
9	15,00	17671	301,65	17,07	0,50	12,52	2,36
30	15,30	18385	316,37	17,21	0,45	12,51	2,27
2	15,00	17671	304,18	17,21	0,44	12,55	2,37
7	15,00	17671	304,98	17,26	0,42	12,54	2,37
12	15,00	17671	305,33	17,28	0,41	13,69	2,58
10	15,00	17671	310,16	17,55	0,28	13,50	2,55
6	15,00	17671	310,96	17,60	0,26	12,78	2,41
26	15,30	18385	325,57	17,71	0,21	13,48	2,44
17	15,20	18146	322,46	17,77	0,18	12,56	2,31
3	15,00	17671	314,30	17,79	0,18	12,55	2,37
14	15,10	17908	320,51	17,90	0,14	13,26	2,47

- Concreto con 9% Adición deViruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	369,03	20,34	0,08	12,645	2,32
22	15,20	18146	379,65	20,92	0,22	13,850	2,54
28	15,30	18385	385,12	20,95	0,23	13,915	2,52
24	15,30	18385	386,63	21,03	0,26	13,640	2,47
13	15,10	17908	376,62	21,03	0,26	12,620	2,35
5	15,00	17671	372,21	21,06	0,27	12,58	2,37
19	15,20	18146	382,69	21,09	0,28	12,50	2,30
27	15,30	18385	388,76	21,15	0,30	13,68	2,48
23	15,30	18385	391,49	21,29	0,34	13,45	2,44
25	15,30	18385	396,65	21,57	0,42	12,39	2,25
18	15,20	18146	392,55	21,63	0,43	13,48	2,48
11	15,00	17671	384,36	21,75	0,45	13,850	2,61
15	15,20	18146	397,56	21,91	0,46	13,915	2,56
21	15,20	18146	398,17	21,94	0,46	13,640	2,51
29	15,30	18385	403,9398	21,97	0,46	13,48	2,44
16	15,20	18146	400,45	22,07	0,46	13,65	2,51
4	15,00	17671	391,34	22,15	0,45	12,620	2,38
8	15,00	17671	393,31	22,26	0,44	13,620	2,57
1	15,00	17671	396,65	22,45	0,40	12,52	2,36
9	15,00	17671	398,17	22,53	0,37	12,51	2,36
30	15,30	18385	417,6018	22,71	0,32	12,55	2,28
2	15,00	17671	401,51	22,72	0,31	13,830	2,61
7	15,00	17671	402,57	22,78	0,29	12,590	2,37
12	15,00	17671	403,03	22,81	0,29	12,620	2,38
10	15,00	17671	409,40	23,17	0,17	12,54	2,37
6	15,00	17671	410,47	23,23	0,16	13,69	2,58
26	15,30	18385	429,75	23,37	0,12	13,50	2,45
17	15,20	18146	425,65	23,46	0,10	12,620	2,32
3	15,00	17671	414,87	23,48	0,10	13,620	2,57
14	15,10	17908	423,07	23,62	0,07	13,150	2,45

- Concreto 10% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	419,35	23,11	0,07	12,735	2,34
22	15,20	18146	431,42	23,78	0,18	12,620	2,32
28	15,30	18385	437,63	23,80	0,18	13,620	2,47
24	15,30	18385	439,36	23,90	0,20	13,150	2,38
13	15,10	17908	427,97	23,90	0,20	13,790	2,57
5	15,00	17671	422,97	23,94	0,21	13,545	2,55
19	15,20	18146	434,87	23,97	0,22	12,560	2,31
27	15,30	18385	441,77	24,03	0,23	12,680	2,30
23	15,30	18385	444,88	24,20	0,27	12,645	2,29
25	15,30	18385	450,74	24,52	0,33	13,850	2,51
18	15,20	18146	446,09	24,58	0,34	13,915	2,56
11	15,00	17671	436,77	24,72	0,36	13,640	2,57
15	15,20	18146	451,78	24,90	0,38	13,830	2,54
21	15,20	18146	452,47	24,94	0,38	12,590	2,31
29	15,30	18385	459,0225	24,97	0,38	12,620	2,29
16	15,20	18146	455,06	25,08	0,38	12,640	2,32
4	15,00	17671	444,71	25,17	0,38	13,330	2,51
8	15,00	17671	446,95	25,29	0,37	12,735	2,40
1	15,00	17671	450,74	25,51	0,35	13,320	2,51
9	15,00	17671	452,47	25,60	0,33	13,240	2,50
30	15,30	18385	474,5475	25,81	0,30	12,570	2,28
2	15,00	17671	456,26	25,82	0,30	13,485	2,54
7	15,00	17671	457,47	25,89	0,28	12,770	2,41
12	15,00	17671	457,99	25,92	0,28	12,915	2,44
10	15,00	17671	465,23	26,33	0,19	13,830	2,61
6	15,00	17671	466,44	26,40	0,17	12,590	2,37
26	15,30	18385	488,35	26,56	0,14	12,620	2,29
17	15,20	18146	483,69	26,66	0,12	12,58	2,31
3	15,00	17671	471,44	26,68	0,12	12,56	2,37
14	15,10	17908	480,76	26,85	0,09	12,620	2,35

- Concreto 11% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	396,98	21,90	0,07	13,830	2,54
22	15,20	18146	408,41	22,50	0,19	12,590	2,31
28	15,30	18385	414,29	22,50	0,19	12,620	2,29
13	15,10	17908	405,15	22,60	0,21	12,39	2,31
24	15,30	18385	415,93	22,60	0,21	13,48	2,44
5	15,00	17671	400,41	22,70	0,24	12,645	2,39
19	15,20	18146	411,68	22,70	0,24	13,850	2,54
27	15,30	18385	418,21	22,70	0,24	13,485	2,44
23	15,30	18385	421,15	22,90	0,29	12,92	2,34
25	15,30	18385	426,70	23,20	0,35	13,45	2,44
18	15,20	18146	422,29	23,30	0,37	12,39	2,28
11	15,00	17671	413,48	23,40	0,38	13,48	2,54
15	15,20	18146	427,68	23,60	0,40	13,830	2,54
21	15,20	18146	428,34	23,60	0,40	12,590	2,31
29	15,30	18385	434,5413	23,60	0,40	13,850	2,51
16	15,20	18146	430,79	23,70	0,40	13,915	2,56
4	15,00	17671	420,99	23,80	0,40	12,39	2,34
8	15,00	17671	423,11	23,90	0,40	12,620	2,38
1	15,00	17671	426,70	24,10	0,38	12,58	2,37
9	15,00	17671	428,34	24,20	0,36	12,50	2,36
2	15,00	17671	431,93	24,40	0,32	12,54	2,37
30	15,30	18385	449,2383	24,40	0,32	13,35	2,42
7	15,00	17671	433,07	24,50	0,30	13,3	2,51
12	15,00	17671	433,56	24,50	0,30	12,97	2,45
10	15,00	17671	440,42	24,90	0,20	12,44	2,35
6	15,00	17671	441,56	25,00	0,17	13,48	2,54
26	15,30	18385	462,30	25,10	0,15	13,65	2,47
17	15,20	18146	457,89	25,20	0,13	12,39	2,28
3	15,00	17671	446,30	25,30	0,11	12,52	2,36
14	15,10	17908	455,12	25,40	0,09	13,69	2,55

**Tablas de Resultados Veintiocho (28) días.**

- Concreto Sin Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	364,65	20,10	0,08	12,44	2,29
22	15,20	18146	375,15	20,67	0,20	13,82	2,54
28	15,30	18385	380,55	20,70	0,21	12,50	2,27
24	15,30	18385	382,05	20,78	0,23	13,68	2,48
13	15,10	17908	372,15	20,78	0,23	12,54	2,33
5	15,00	17671	367,80	20,81	0,24	13,69	2,58
19	15,20	18146	378,15	20,84	0,25	13,50	2,48
27	15,30	18385	384,15	20,89	0,27	12,78	2,32
23	15,30	18385	386,85	21,04	0,31	12,56	2,28
25	15,30	18385	391,95	21,32	0,38	12,55	2,28
18	15,20	18146	387,90	21,38	0,39	13,26	2,44
11	15,00	17671	379,80	21,49	0,41	12,39	2,34
15	15,20	18146	392,85	21,65	0,43	13,48	2,48
21	15,20	18146	393,45	21,68	0,43	13,65	2,51
29	15,30	18385	399,15	21,71	0,44	12,39	2,25
16	15,20	18146	395,70	21,81	0,44	13,65	2,51
4	15,00	17671	386,70	21,88	0,44	12,39	2,34
8	15,00	17671	388,65	21,99	0,43	12,52	2,36
1	15,00	17671	391,95	22,18	0,40	13,74	2,59
9	15,00	17671	393,45	22,26	0,38	13,65	2,57
30	15,30	18385	412,65	22,44	0,34	12,56	2,28
2	15,00	17671	396,75	22,45	0,34	12,55	2,37
7	15,00	17671	397,80	22,51	0,32	13,26	2,50
12	15,00	17671	398,25	22,54	0,32	12,58	2,37
10	15,00	17671	404,55	22,89	0,21	12,56	2,37
6	15,00	17671	405,60	22,95	0,20	12,52	2,36
26	15,30	18385	424,65	23,10	0,16	12,51	2,27
17	15,20	18146	420,60	23,18	0,14	12,30	2,26
3	15,00	17671	409,95	23,20	0,13	13,85	2,61
14	15,10	17908	418,05	23,34	0,10	12,68	2,36

- Concreto con 9% de Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	484,98	26,73	0,06	13,16	2,42
22	15,20	18146	498,95	27,50	0,17	13,98	2,57
28	15,30	18385	506,13	27,53	0,18	12,77	2,32
24	15,30	18385	508,13	27,64	0,20	13,55	2,46
13	15,10	17908	494,96	27,64	0,20	12,71	2,37
5	15,00	17671	489,17	27,68	0,20	12,825	2,42
19	15,20	18146	502,94	27,72	0,21	14,06	2,58
27	15,30	18385	510,92	27,79	0,23	12,77	2,32
23	15,30	18385	514,51	27,98	0,26	12,8	2,32
25	15,30	18385	521,29	28,35	0,32	13,89	2,52
18	15,20	18146	515,91	28,43	0,33	13,675	2,51
11	15,00	17671	505,13	28,58	0,34	12,68	2,39
15	15,20	18146	522,49	28,79	0,35	12,635	2,32
21	15,20	18146	523,29	28,84	0,35	12,78	2,35
29	15,30	18385	530,87	28,87	0,35	13,22	2,40
16	15,20	18146	526,28	29,00	0,35	13,02	2,39
4	15,00	17671	514,31	29,10	0,34	13,695	2,58
8	15,00	17671	516,90	29,25	0,33	12,84	2,42
1	15,00	17671	521,29	29,50	0,30	13,89	2,62
9	15,00	17671	523,29	29,61	0,28	12,65	2,39
30	15,30	18385	548,82	29,85	0,24	12,695	2,30
2	15,00	17671	527,68	29,86	0,24	13,39	2,53
7	15,00	17671	529,07	29,94	0,22	13,615	2,57
12	15,00	17671	529,67	29,97	0,22	12,65	2,39
10	15,00	17671	538,05	30,45	0,13	13,54	2,55
6	15,00	17671	539,45	30,53	0,12	12,89	2,43
26	15,30	18385	564,78	30,72	0,09	12,85	2,33
17	15,20	18146	559,40	30,83	0,08	12,45	2,29
3	15,00	17671	545,23	30,85	0,07	13,56	2,56
14	15,10	17908	556,01	31,05	0,05	13,00	2,42



- Concreto 10% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	528,74	29,10	0,05	13,655	2,51
22	15,20	18146	543,97	30,00	0,14	12,64	2,32
28	15,30	18385	551,80	30,00	0,14	13,875	2,52
13	15,10	17908	539,62	30,10	0,16	13,585	2,53
24	15,30	18385	553,97	30,10	0,16	12,655	2,29
5	15,00	17671	533,31	30,20	0,17	13,65	2,57
19	15,20	18146	548,32	30,20	0,17	12,835	2,36
27	15,30	18385	557,02	30,30	0,19	12,845	2,33
23	15,30	18385	560,93	30,50	0,21	13,205	2,39
25	15,30	18385	568,33	30,90	0,26	13,38	2,43
18	15,20	18146	562,46	31,00	0,27	13,74	2,52
11	15,00	17671	550,71	31,20	0,29	12,825	2,42
15	15,20	18146	569,63	31,40	0,30	12,732	2,34
21	15,20	18146	570,50	31,40	0,30	12,83	2,36
29	15,30	18385	578,77	31,50	0,30	13,71	2,48
16	15,20	18146	573,77	31,60	0,30	13,13	2,41
4	15,00	17671	560,72	31,70	0,30	14,01	2,64
8	15,00	17671	563,54	31,90	0,29	12,73	2,40
1	15,00	17671	568,33	32,20	0,27	13,32	2,51
9	15,00	17671	570,50	32,30	0,26	12,68	2,39
30	15,30	18385	598,34	32,50	0,24	12,73	2,31
2	15,00	17671	575,29	32,60	0,23	12,66	2,39
7	15,00	17671	576,81	32,60	0,23	14,00	2,64
12	15,00	17671	577,46	32,70	0,21	12,90	2,43
10	15,00	17671	586,60	33,20	0,15	13,94	2,63
6	15,00	17671	588,12	33,30	0,13	14,05	2,65
26	15,30	18385	615,74	33,50	0,11	13,72	2,49
3	15,00	17671	594,43	33,60	0,10	12,87	2,43
17	15,20	18146	609,87	33,60	0,10	12,89	2,37
14	15,10	17908	606,17	33,80	0,08	12,60	2,35

- Concreto 11% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	463,11	25,50	0,06	13,905	2,55
22	15,20	18146	476,44	26,30	0,17	13,635	2,50
28	15,30	18385	483,30	26,30	0,17	13,015	2,36
5	15,00	17671	467,11	26,40	0,19	12,695	2,39
13	15,10	17908	472,63	26,40	0,19	12,745	2,37
24	15,30	18385	485,20	26,40	0,19	12,760	2,31
19	15,20	18146	480,25	26,50	0,20	12,590	2,31
27	15,30	18385	487,87	26,50	0,20	13,275	2,41
23	15,30	18385	491,30	26,70	0,24	13,885	2,52
18	15,20	18146	492,63	27,10	0,30	13,940	2,56
25	15,30	18385	497,78	27,10	0,30	12,640	2,29
11	15,00	17671	482,35	27,30	0,33	13,665	2,58
15	15,20	18146	498,92	27,50	0,34	12,745	2,34
21	15,20	18146	499,68	27,50	0,34	13,665	2,51
29	15,30	18385	506,9205	27,60	0,35	12,660	2,30
16	15,20	18146	502,54	27,70	0,35	13,965	2,57
4	15,00	17671	491,11	27,80	0,34	13,50	2,55
8	15,00	17671	493,59	27,90	0,34	13,225	2,49
1	15,00	17671	497,78	28,20	0,31	13,545	2,55
9	15,00	17671	499,68	28,30	0,30	13,20	2,49
2	15,00	17671	503,87	28,50	0,27	13,875	2,62
30	15,30	18385	524,07	28,50	0,27	13,130	2,38
7	15,00	17671	505,21	28,60	0,25	12,630	2,38
12	15,00	17671	505,78	28,60	0,25	12,836	2,42
6	15,00	17671	515,11	29,10	0,16	12,370	2,33
10	15,00	17671	513,78	29,10	0,16	13,685	2,58
26	15,30	18385	539,31	29,30	0,13	12,730	2,31
17	15,20	18146	534,16	29,40	0,11	12,750	2,34
3	15,00	17671	520,64	29,50	0,10	12,650	2,39
14	15,10	17908	530,92	29,60	0,09	13,542	2,52

**Tablas de Resultados Cincuenta y Seis (56) días.**

- Concreto Sin Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	382,88	21,10	0,07	13,415	2,46
22	15,20	18146	393,91	21,70	0,19	13,57	2,49
28	15,30	18385	399,58	21,70	0,19	13,735	2,49
13	15,10	17908	390,76	21,80	0,22	12,605	2,35
24	15,30	18385	401,15	21,80	0,22	12,65	2,29
5	15,00	17671	386,19	21,90	0,24	13,52	2,55
19	15,20	18146	397,06	21,90	0,24	13,52	2,48
27	15,30	18385	403,36	21,90	0,24	12,62	2,29
23	15,30	18385	406,19	22,10	0,30	13,03	2,36
18	15,20	18146	407,30	22,40	0,36	13,33	2,45
25	15,30	18385	411,55	22,40	0,36	13,685	2,48
11	15,00	17671	398,79	22,60	0,40	12,49	2,36
15	15,20	18146	412,49	22,70	0,41	12,535	2,30
21	15,20	18146	413,12	22,80	0,41	12,795	2,35
29	15,30	18385	419,11	22,80	0,41	12,795	2,32
16	15,20	18146	415,49	22,90	0,42	12,505	2,30
4	15,00	17671	406,04	23,00	0,41	12,88	2,43
8	15,00	17671	408,08	23,10	0,41	12,685	2,39
1	15,00	17671	411,55	23,30	0,38	13,815	2,61
9	15,00	17671	413,12	23,40	0,36	12,75	2,41
2	15,00	17671	416,59	23,60	0,32	12,475	2,35
7	15,00	17671	417,69	23,60	0,32	13,8	2,60
30	15,30	18385	433,28	23,60	0,32	12,54	2,27
12	15,00	17671	418,16	23,70	0,29	12,41	2,34
10	15,00	17671	424,78	24,00	0,21	12,465	2,35
6	15,00	17671	425,88	24,10	0,19	12,65	2,39
17	15,20	18146	441,63	24,30	0,14	13,52	2,48
26	15,30	18385	445,88	24,30	0,14	13,52	2,45
3	15,00	17671	430,45	24,40	0,12	12,62	2,38
14	15,10	17908	438,95	24,50	0,10	13,815	2,57

- Concreto 9% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	504,38	27,80	0,06	13,895	2,55
22	15,20	18146	518,91	28,60	0,15	12,495	2,30
28	15,30	18385	526,38	28,60	0,15	13,775	2,50
13	15,10	17908	514,76	28,70	0,16	12,475	2,32
24	15,30	18385	528,45	28,70	0,16	13,8	2,50
5	15,00	17671	508,74	28,80	0,18	12,54	2,37
19	15,20	18146	523,06	28,80	0,18	13,45	2,47
27	15,30	18385	531,36	28,90	0,19	13,505	2,45
23	15,30	18385	535,09	29,10	0,22	12,63	2,29
25	15,30	18385	542,15	29,50	0,28	12,65	2,29
18	15,20	18146	536,54	29,60	0,29	13,52	2,48
11	15,00	17671	525,34	29,70	0,30	12,62	2,38
15	15,20	18146	543,39	29,90	0,31	13,03	2,39
21	15,20	18146	544,22	30,00	0,31	13,33	2,45
29	15,30	18385	552,10	30,00	0,31	12,795	2,32
16	15,20	18146	547,33	30,20	0,32	12,505	2,30
4	15,00	17671	534,88	30,30	0,31	12,88	2,43
8	15,00	17671	537,58	30,40	0,31	12,54	2,37
1	15,00	17671	542,15	30,70	0,29	12,555	2,37
9	15,00	17671	544,22	30,80	0,28	13,4	2,53
30	15,30	18385	570,78	31,00	0,25	12,49	2,26
2	15,00	17671	548,78	31,10	0,24	13,415	2,53
7	15,00	17671	550,24	31,10	0,24	13,57	2,56
12	15,00	17671	550,86	31,20	0,22	13,735	2,59
6	15,00	17671	561,03	31,70	0,15	12,605	2,38
10	15,00	17671	559,57	31,70	0,15	12,595	2,38
26	15,30	18385	587,38	31,90	0,12	12,95	2,35
3	15,00	17671	567,04	32,10	0,10	12,52	2,36
17	15,20	18146	581,77	32,10	0,10	13,17	2,42
14	15,10	17908	578,25	32,30	0,07	12,40	2,31

- Concreto 10% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	539,32	29,70	0,05	12,895	2,37
22	15,20	18146	554,85	30,60	0,14	14,005	2,57
28	15,30	18385	562,83	30,60	0,14	13,78	2,50
13	15,10	17908	550,41	30,70	0,15	13,715	2,55
24	15,30	18385	565,05	30,70	0,15	13,995	2,54
5	15,00	17671	543,98	30,80	0,17	12,685	2,39
19	15,20	18146	559,28	30,80	0,17	13,815	2,54
27	15,30	18385	568,16	30,90	0,18	12,75	2,31
23	15,30	18385	572,15	31,10	0,21	13,52	2,45
25	15,30	18385	579,69	31,50	0,25	12,62	2,29
18	15,20	18146	573,70	31,60	0,26	13,03	2,39
11	15,00	17671	561,72	31,80	0,28	13,33	2,51
15	15,20	18146	581,03	32,00	0,29	12,45	2,29
21	15,20	18146	581,91	32,10	0,29	13,705	2,52
29	15,30	18385	590,34	32,10	0,29	12,92	2,34
16	15,20	18146	585,24	32,30	0,30	12,795	2,35
4	15,00	17671	571,93	32,40	0,29	12,505	2,36
8	15,00	17671	574,81	32,50	0,29	12,88	2,43
1	15,00	17671	579,69	32,80	0,27	12,41	2,34
9	15,00	17671	581,91	32,90	0,26	12,465	2,35
2	15,00	17671	586,79	33,20	0,23	12,65	2,39
30	15,30	18385	610,31	33,20	0,23	13,52	2,45
7	15,00	17671	588,35	33,30	0,22	12,62	2,38
12	15,00	17671	589,01	33,30	0,22	12,430	2,34
6	15,00	17671	599,88	33,90	0,14	13,685	2,58
10	15,00	17671	598,33	33,90	0,14	12,61	2,38
26	15,30	18385	628,06	34,20	0,10	12,455	2,26
3	15,00	17671	606,32	34,30	0,09	13,815	2,61
17	15,20	18146	622,07	34,30	0,09	13,03	2,39
14	15,10	17908	618,30	34,50	0,07	13,33	2,48

- Concreto 11% Adición de Viruta.

Nº	D (cm)	AREA (mm2)	CARGA (KN)	$\sigma$ (Mpa)	Dist Normal	PESO (Kg)	$\gamma_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )
20	15,20	18146	482,43	26,60	0,06	12,435	2,28
22	15,20	18146	496,32	27,40	0,16	12,41	2,28
28	15,30	18385	503,47	27,40	0,16	12,465	2,26
5	15,00	17671	486,60	27,50	0,18	13,39	2,53
13	15,10	17908	492,35	27,50	0,18	12,41	2,31
24	15,30	18385	505,45	27,50	0,18	12,535	2,27
19	15,20	18146	500,29	27,60	0,19	12,430	2,28
27	15,30	18385	508,23	27,60	0,19	13,685	2,48
23	15,30	18385	511,80	27,80	0,23	12,49	2,26
25	15,30	18385	518,55	28,20	0,29	12,535	2,27
18	15,20	18146	513,19	28,30	0,30	12,795	2,35
11	15,00	17671	502,48	28,40	0,31	13,225	2,49
15	15,20	18146	519,74	28,60	0,32	13,43	2,47
21	15,20	18146	520,53	28,70	0,33	12,45	2,29
29	15,30	18385	528,07545	28,70	0,33	13,705	2,48
16	15,20	18146	523,51	28,90	0,33	12,92	2,37
4	15,00	17671	511,60	29,00	0,33	13,67	2,58
8	15,00	17671	514,18	29,10	0,32	12,575	2,37
1	15,00	17671	518,55	29,30	0,31	13,05	2,46
9	15,00	17671	520,53	29,50	0,29	12,61	2,38
2	15,00	17671	524,90	29,70	0,26	12,455	2,35
30	15,30	18385	545,94	29,70	0,26	13,815	2,50
7	15,00	17671	526,29	29,80	0,24	12,75	2,41
12	15,00	17671	526,88	29,80	0,24	13,8	2,60
10	15,00	17671	535,22	30,30	0,16	12,54	2,37
6	15,00	17671	536,61	30,40	0,15	13,45	2,54
26	15,30	18385	561,81	30,60	0,12	13,505	2,45
3	15,00	17671	542,36	30,70	0,10	12,63	2,38
17	15,20	18146	556,45	30,70	0,10	12,795	2,35
14	15,10	17908	553,08	30,90	0,08	13,225	2,46