

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS						
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 19 de Febrero 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Neiva

Los suscritos:

Valentina Reyes Marlés, con C.C. No. 1075318304

David Santiago Sánchez Usuriaga, con C.C No 1007681834

Autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON VIRUTA DE ACERO TRATADA Y SIN TRATAR COMO ELEMENTO DE SUSTITUCIÓN DEL AGREAGO FINO” presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de INGENIERO CIVIL;

Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Valentina Reyes Marlés:

Firma: Valentina Reyes Marlés

David Santiago Sánchez Usuriaga:

Firma: David Santiago Sanchez Usuriaga

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					   	
	GESTIÓN DE BIBLIOTECAS						
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Reyes Marlés	Valentina
Sánchez Usuriaga	David Santiago

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Duarte Toro	Mauricio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO:

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2024

NÚMERO DE PÁGINAS: 87

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: No Aplica

MATERIAL ANEXO: Tesis de pregrado titulada “Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto con viruta de acero tratada y sin tratar como elemento de sustitución del agregado fino”; en formato PDF

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Concreto	Concrete
2. Viruta de acero	Steel shavings
3. Agregado fino	Fine aggregate
4. Diseño de mezcla	Mix design
5. Viruta de acero sin tratar (VST)	Untreated Steel Shavings (US)
6. Viruta de acero tratada (VT)	Treated Steel Shavings (TS)

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En la presente investigación se busca encontrar una aplicación a la viruta de acero, residuo contaminante proveniente del mecanizado de acero en tornos y fresadora, evaluando la resistencia a la compresión del concreto con viruta de acero. En donde se realizó un diseño de mezcla de concreto de 21MPa, y se procedió a reemplazar el agregado fino en porcentajes de 10, 20 y 30 conforme a su peso, por la viruta de acero en dos estados, viruta sin tratar (VST), que hace referencia al uso de ella con el fluido de corte debido al mecanizado y viruta tratada (VT), que se llevó a un proceso de limpieza con un jabón desengrasante. Para ello se analizaron los tamaños de la viruta de acero y se escogieron las partículas discontinuas que se llevaron a un proceso de trituración en la máquina de los ángeles, logrando obtener una gran parte de semejanza en tamaños con el agregado fino.

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión en los 6 tratamientos de viruta de acero (VST 10%, VST 20%, VST 30%, VT 10%, VT 20%, VT 30%) para todas las edades, demostraron que los porcentajes del 10 y 20 de viruta sin tratar, no tuvieron mayor diferencia

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

el uno del otro, acercándose a la resistencia a la compresión de diseño a la edad de 60 días con resultados para las muestras de concreto de 20,71MPa para VST10%, y 20,16MPa para VST20%. El estado de viruta tratada presentó un exceso de sulfatos en todos los porcentajes de sustitución por el agregado, aumentando el volumen del concreto y ocasionando una disminución de resistencia a la compresión con resultados de 11.85MPa para VT10%, 9.69MPa para VT20% y 9.43MPa para VT30%. La muestra que mejor comportamiento presentó fue el concreto con viruta sin tratar.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The present research aims to find an application for steel chips, a contaminating residue from steel machining in lathes and milling machines, by evaluating the compressive strength of concrete with steel chips. A concrete mix design of 21MPa was prepared, and the fine aggregate was replaced in percentages of 10, 20, and 30 by weight with steel chips in two states: untreated chips (UTC), referring to their use with cutting fluid during machining, and treated chips (TC), subjected to a cleaning process with a degreasing soap. The steel chip sizes were analyzed, and discontinuous particles were selected for crushing in a Los Angeles machine, achieving a size similarity with the fine aggregate.

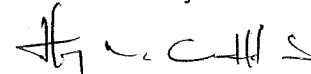
The results of compressive strength in the six steel chip treatments (UTC 10%, UTC 20%, UTC 30%, TC 10%, TC 20%, TC 30%) for all ages showed that the 10% and 20% untreated chip percentages did not differ significantly from each other, approaching the design compressive strength at 60 days, with results for concrete samples of 20.71MPa for UTC 10% and 20.16MPa for UTC 20%. The treated chip state exhibited an excess of sulfates in all substitution percentages for the aggregate, increasing the concrete volume and causing a decrease in compressive strength, with results of 11.85MPa for TC 10%, 9.69MPa for TC 20%, and 9.43MPa for TC 30%. The sample that presented the best behavior was the concrete with untreated chips.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Wilson Javier Erazo Espinosa

Firma: 

Nombre Jurado: Henry Mauricio Castillo Salgado

Firma: 

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO CON VIRUTA DE ACERO TRATADA Y SIN TRATAR
COMO ELEMENTO DE SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO**

David Santiago Sánchez Usuriaga

Valentina Reyes Marlés

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva - Huila, Colombia

2023

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON
VIRUTA DE ACERO TRATADA Y SIN TRATAR COMO ELEMENTO DE SUSTITUCIÓN
DEL AGREGADO FINO**

David Santiago Sánchez Usuriaga

Valentina Reyes Marlés

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero(a) Civil

Director (a):

Msc. Mauricio Duarte Toro

Línea de Investigación:

Materiales de Construcción

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva - Huila, Colombia

2023

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mis padres y a mis hermanos que gracias a su apoyo he logrado terminar mis metas, a mi pareja que a su vez es mi compañera de investigación, a mis docentes que han compartido su conocimiento y a mis amigos que han sido parte de este proceso.

David Santiago Sánchez Usuriaga.

A mis padres que con su apoyo incondicional he podido culminar esta etapa, quienes han sido aliento y guía constante para hacer este recorrido más llevadero; a mi familia cuya confianza depositada en mí ha sido motivación; a mi hijo que con su alegría ha sido fuente de inspiración, quien es mi motor y la razón de mi perseverancia; a mi pareja por su paciencia y comprensión; a mis amigos por ser parte de este proceso; y a mis docentes por el acompañamiento, enseñanza y formación.

Valentina Reyes Marlés.

Agradecimientos

Damos gracias a Dios, por permitirnos ejecutar y terminar este proceso de investigación. Del mismo modo, agradecemos a nuestras familias por el apoyo que nos han brindado para poder culminar este proceso.

Al Sena (Servicio nacional de aprendizaje – sede Neiva), que nos suministró el material clave para poder realizar esta investigación.

A nuestros docentes que nos brindaron su conocimiento y amigos que fueron parte de este ciclo del transcurso de la carrera.

También agradecemos a nuestro director de tesis, el ingeniero Mauricio Duarte Toro, quien con su conocimiento y apoyo se pudo llevar a cabo la presente investigación.

A Efrén Mosquera Villareal que, gracias a su disponibilidad y compromiso en el laboratorio, pudimos ejecutar los procesos para esta investigación.

Resumen

En la presente investigación se busca encontrar una aplicación a la viruta de acero, residuo contaminante proveniente del mecanizado de acero en tornos y fresadora, se evaluó la resistencia a la compresión del concreto con viruta de acero, llevando a cabo una serie de pasos: se realizó un diseño de mezcla de concreto de 21MPa, de este modo se procedió a reemplazar el agregado fino en porcentajes de 10, 20 y 30 conforme a su peso, por la viruta de acero, en dos estados, viruta sin tratar (VST), que hace referencia al uso de ella con el fluido de corte debido al mecanizado y viruta tratada (VT), que se llevó a un proceso de limpieza con un jabón desengrasante. Para ello se analizaron los tamaños de la viruta de acero y se escogieron las partículas discontinuas que se llevaron a un proceso de trituración en la máquina de los ángeles, logrando obtener una gran parte de semejanza en tamaños con el agregado fino.

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión en los 6 tratamientos de viruta de acero (VST 10%, VST 20%, VST 30%, VT 10%, VT 20%, VT 30%) para todas las edades, demostraron que los porcentajes del 10 y 20 de viruta sin tratar (VST), no tuvieron mayor diferencia el uno del otro, acercándose a la resistencia a la compresión de diseño a la edad de 60 días con resultados para las muestras de concreto con VST 10% de 20,71MPa, VST 20% de 20,16MPa. El estado de viruta tratada (VT) presentó un exceso de sulfatos en todos los porcentajes de sustitución por el agregado, aumentando el volumen del concreto y ocasionando una disminución de resistencia a la compresión con resultados para las muestras de concreto con VT 10% con 11.85MPa, VT 20% con 9.69MPa y VT 30% con 9.43MPa. La muestra que mejor comportamiento presentó fue el concreto con viruta sin tratar.

Palabras claves: Concreto, agregado fino, viruta de acero, diseño de mezcla, resistencia a la compresión, viruta de acero sin tratar (VST), viruta de acero tratada (VT).

Abstract

In this research, an application for steel shavings, a contaminating waste product from steel machining in lathes and milling machines, is sought. Consequently, the compressive strength of concrete with steel shavings was evaluated through a series of steps. A concrete mix design of 21MPa was carried out, and the fine aggregate was then replaced with steel shavings at percentages of 10, 20, and 30 by weight in two states: Untreated Shavings (US) referring to their use with cutting fluid from machining and Treated Shavings (TS), which underwent a cleaning process with a degreasing soap. The steel shavings' sizes were analyzed, and discontinuous particles were chosen for a crushing process in the Los Angeles machine, resulting in a significant similarity in size with the fine aggregate.

The results obtained for compressive strength in the 6 steel chip treatments (US 10%, US 20%, US 30%, TS 10%, TS 20%, TS 30%) at all ages demonstrated that the percentages of 10% and 20% of untreated shavings (US) did not show significant differences between them, approaching the compressive strength design at the age of 60 days with results for concrete samples with US 10% of 20.71MPa, US 20% of 20.16MPa. The treated steel chip state (TS) showed an excess of sulfates in all replacement percentages for the fine aggregate, increasing the volume of the concrete and causing a decrease in compressive strength with results for concrete samples with TS 10% of 11.85MPa, TS 20% of 9.69MPa, and TS 30% of 9.43MPa. The sample that presented the best behavior was the concrete with untreated chips.

Keywords: Concrete, fine aggregate, steel shavings, mix design, compressive strength, Untreated Steel Shavings (US), Treated Steel Shavings (TS).

Tabla de Contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Resumen.....	5
Abstract	6
CAPITULO I	15
1. Introducción	15
1.1. Antecedentes y justificación.....	16
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivo específico.....	20
1.4. Estructura del documento.....	20
CAPITULO II	21
2. Marco teórico	21
2.1. Concreto	21
2.1.1. Composición del concreto.....	22
2.1.2. Propiedades del concreto.....	24
2.1.3. Diseño de mezcla	25
2.2. Viruta de acero	26

2.2.1.	Tipos de viruta de acero	26
2.2.2.	Refrigerante o fluido de corte.....	27
2.2.3.	¿Por qué la viruta de acero se clasifica como contaminante?	28
CAPITULO III.....		28
3.	Metodología	28
3.1.	Tipo de investigación	29
3.2.	Fase 1. Recopilación del material	30
3.2.1.	Consulta de la viruta de acero	30
3.2.2.	Selección del material	31
3.2.2.1.	Agregado fino y grueso	31
3.2.2.2.	Cemento	31
3.2.2.3.	Viruta de acero	32
3.2.2.4.	Jabón industrial Green Power	33
3.3.	Fase 2. Caracterización del material	34
3.3.1.	Análisis granulométrico para agregados finos y gruesos	34
3.3.2.	Determinación de la masa unitaria	36
3.3.3.	Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción.....	36
3.3.4.	Viruta de acero	37
3.3.4.1.	Viruta de acero sin tratar	39
3.3.4.2.	Viruta de acero tratada	39

3.4.	Fase 3. Diseño y preparación de la mezcla	41
3.4.1.	Diseño de mezcla	41
3.4.2.	Elaboración de probetas de concreto.....	43
3.5.	Fase 4. Obtención de datos.....	46
3.5.1.	Resistencia a la compresión	46
CAPITULO IV.....		47
4.	Resultados y análisis	47
4.1.	Resistencia a la compresión	47
4.1.1.	Resistencia a la compresión a los 7 días	47
4.1.2.	Resistencia a la compresión 14 días.....	49
4.1.3.	Resistencia a la compresión a los 28 días	50
4.1.4.	Resistencia a la compresión a los 60 días	52
4.2.	Diseño experimental.....	53
4.2.1.	A los 7 días.....	54
4.2.2.	A los 14 días.....	56
4.2.3.	A los 28 días.....	59
4.2.4.	A los 60 días.....	62
4.3.	Peso de cilindros.....	65
4.4.	Análisis fotográfico	67
Discusión.....		69

Capítulo V	71
5. Conclusiones y recomendaciones	71
5.1. Conclusiones	71
5.2. Recomendaciones.....	72
Bibliografía	73
Anexos	77
Anexo A. Caracterización de los agregados	77
Anexo A.1. Ensayo de granulometría	77
Anexo A.2. Peso unitario de los agregados	79
Anexo A.3. Densidad y absorción del agregado fino y grueso.....	80
Anexo B. Diseño de mezcla del concreto	81
Anexo C. Supuestos residuales	85
Anexo C.1. Residuales para los 7 días	85
Anexo C.2. Residuales para los 14 días	85
Anexo C.3. Residuales para los 28 días	86
Anexo C.4. Residuales de los 60 días	87

Lista de tablas

Tabla 1. Normas utilizadas para el diseño de mezcla.	26
Tabla 2. Proceso metodológico.....	29

Tabla 3. Ficha técnica del cemento hidráulico de uso general	32
Tabla 4. Composición química del jabón industrial.	34
Tabla 5. Resumen de datos resumen de las propiedades físicas de los agregados.	37
Tabla 6. Asentamientos recomendados para distintos tipos de construcción.	41
Tabla 7. Datos iniciales del diseño de mezcla.	42
Tabla 8. Resumen de los resultados del método ACI.	42
Tabla 9. Proporciones y cantidades del diseño de mezcla para 21 MPa.....	42
Tabla 10. Diseño experimental.	43
Tabla 11. Resumen de los tipos de concretos elaborados.	44
Tabla 12. Cantidades para elaborar 1m ³ de concreto.....	44
Tabla 13. Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días	48
Tabla 14. Resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días.	49
Tabla 15. Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días.	51
Tabla 16. Resultados de la resistencia a la compresión a los 60 días.	52
Tabla 17. Anova multifactorial a los 7 días.	55
Tabla 18. Prueba HSD de Tukey a los 7 días.	55
Tabla 19. Anova multifactorial a los 14 días.	58
Tabla 20. Prueba HSD de Tukey a los 14 días.	58
Tabla 21. Anova multifactorial a los 28 días.	61
Tabla 22. Prueba HSD de Tukey a los 28 días.	61
Tabla 23. Anova multifactorial a los 60 días.	64
Tabla 24. Prueba HSD de Tukey a los 60 días.	64
Tabla 25. Peso (gr).....	66

Tabla 26. Análisis granulométrico del agregado fino.....	77
Tabla 27. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	77
Tabla 28. Análisis granulométrico de la viruta de acero.	78
Tabla 29. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	79
Tabla 30. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.	79
Tabla 31. Densidad y absorción del agregado fino.....	80
Tabla 32. Densidad y absorción del agregado grueso.....	80
Tabla 33. Resistencia promedio requerida.....	81
Tabla 34. Contenido de aire de acuerdo al TMN del agregado grueso.....	81
Tabla 35. Contenido de agua.	81
Tabla 36. Relación a/c.....	82
Tabla 37. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.	83
Tabla 38. Volumen de los demás componentes del concreto.	83
Tabla 39. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.....	85
Tabla 40. Test de Breusch-Pagan.....	85
Tabla 41. Test Durbin Watson.....	85
Tabla 42. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.....	85
Tabla 43. Test de Breusch-Pagan.....	86
Tabla 44. Test Durbin Watson.....	86
Tabla 45. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.....	86
Tabla 46. Test de Breusch-Pagan.....	86
Tabla 47. Test Durbin Watson.....	87
Tabla 48. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.....	87

Tabla 49. Test de Breusch-Pagan.....	87
Tabla 50. Test Durbin Watson.	87

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Tipos de viruta.	27
Ilustración 2. Arena y grava utilizada.	31
Ilustración 3. Cemento utilizado	32
Ilustración 4. Viruta utilizada	33
Ilustración 5. Jabón industrial.	33
Ilustración 6. Proceso de granulométrico.....	34
Ilustración 7. Peso suelto y compactado de los agregados	36
Ilustración 8. Tamizaje de la viruta de acero.	38
Ilustración 9. Proceso granulométrico de la viruta de acero.	38
Ilustración 10. Instrucciones de uso Green Power (INDUSTRIAL)	40
Ilustración 11. Proceso de limpieza de la viruta de acero.	40
Ilustración 12. Medición del asentamiento.	45
Ilustración 13. Elaboración de muestras.	46
Ilustración 14. Curado por inmersión de los especímenes.....	46
Ilustración 15. Maquina usada para la resistencia a la compresión.	47
Ilustración 16. a. Cilindros testigo – b. Cilindros con viruta de acero sin tratar.....	67
Ilustración 17. Cilindros con viruta tratada.....	68

Lista de gráficas

Gráfica 1. Curva granulométrica del agregado fino.....	35
--	----

Gráfica 2. Curva granulométrica del agregado grueso	35
Gráfica 3. Curva granulométrica de la viruta de acero.	39
Gráfica 4. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 7 días.	48
Gráfica 5. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 14 días.	50
Gráfica 6. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 28 días.	51
Gráfica 7. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 60 días.	53
Gráfica 8. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 7 días.....	54
Gráfica 9. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 7 días.	54
Gráfica 10. Interacción entre los factores porcentaje de Viruta – Estado.....	56
Gráfica 11. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 14 días.....	57
Gráfica 12. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 14 días.	57
Gráfica 13. Interacción entre los factores porcentaje de viruta – estado a lo 14 días.	59
Gráfica 14. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 28 días.....	60
Gráfica 15. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 28 días.	60
Gráfica 16. Interacción entre los factores porcentaje de viruta – estado a lo 28 días.	62
Gráfica 17. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 60 días.....	63
Gráfica 18. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 60 días.	63
Gráfica 19. Interacción entre porcentaje– estado de viruta a los 60 días.....	65
Gráfica 20. Diagrama de barras peso de cilindros	66
Gráfica 21.Comparación de los resultados de la resistencia a la compresión.	70

CAPITULO I

1. Introducción

El concreto es el material más utilizado en la industria de la construcción a nivel mundial, que al paso de los años su uso ha experimentado un crecimiento constante y continuo, provocando una mayor producción y extracción especialmente de la arena como árido fino, trayendo consigo desventajas ambientales, explotando los lechos de los ríos y arrasando montañas.

Por tal razón la búsqueda de materiales alternativos que permitan reemplazar o reducir el uso de la arena y poder, no solo conservar los recursos naturales, sino también mejorar las propiedades del concreto, se ha vuelto un campo de investigación activo y esencial.

Entre ellos, se han explorado como sustitutos la escoria de alto horno, cenizas volantes, polvo de vidrio reciclado, polímeros, entre otros, cada uno respaldado por pruebas de laboratorio para asegurar que cumplan con estándares de resistencia, durabilidad y otras propiedades requeridas en la aplicación de la construcción.

La viruta de acero es uno de estos materiales alternativos, generado durante el proceso de mecanizado de piezas de metal mediante técnicas como el torneado, el fresado, el taladrado o el rectificado, y actualmente se han realizado distintas investigaciones de ella como elemento de sustitución del agregado fino para poder observar su mejoramiento en la resistencia a flexión, compresión y otras propiedades mecánicas.

Por ello, en la presente investigación se pretende seguir buscando un aprovechamiento de los residuos del mecanizado proveniente del taller del Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) en Neiva – Huila, con el objetivo de determinar la influencia de estos residuos en la resistencia del concreto a la compresión.

1.1. Antecedentes y justificación

A lo largo de los años se han llevado a cabo investigaciones y estudios sobre el uso de la viruta de acero como elemento de sustitución del agregado fino en el concreto. Estas investigaciones se enmarcan en la búsqueda de alternativas sostenibles y económicas para la producción de concreto. Para avanzar hacia el propósito de la investigación, se cuentan con los siguientes antecedentes:

En el 2008, en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga se realizó el estudio de cómo la incorporación de viruta de acero en diferentes porcentajes (6%, 8%, 10%, 12% y 14%) afecta la resistencia a la flexión del concreto. Los resultados revelaron un incremento de la resistencia a la flexión de 9.87%, 21.04%, 34.56% respecto de la muestra patrón para los concretos con 6%, 8%, 10% de viruta de acero respectivamente y una disminución de 16.03% y 23.71% respecto a la muestra patrón para 12% y 14% de viruta de acero respectivamente. Por lo que concluyen su punto óptimo al 10% de adición de viruta de acero con respecto al agregado fino. (Delgado Rugeles & Delgado Rugeles, 2008).

En el 2010, la tesis realizada en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, se enfocó en el estudio de la inclusión de limalla fina en diferentes porcentajes (3%, 4% y 5%) en la mezcla de concreto y como ésta afectó su resistencia a la compresión. Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades mecánicas del concreto y los resultados indicaron que la resistencia a la compresión promedio a los 28 días fue de 19,94MPa para el concreto patrón, 24,89MPa para el concreto con 3% de limalla fina, 28,12MPa para un concreto con 4% de limalla fina y 26,72MPa para el concreto con 5% de limalla fina; concluyendo que la máxima resistencia se logró adicionando 4% de limalla fina con respecto al peso de la mezcla. (Reyes Bautista & Rodríguez Pineda, 2010).

En el 2017, en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, evaluaron las propiedades mecánicas del concreto cuando se le agrega viruta de acero en porcentajes específicos del 10% y el 12% en relación con el agregado fino. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en cilindros y a la flexión en vigas, y se identificó que al agregar el 10% de viruta de acero mostró un mejor comportamiento tanto en la resistencia a la compresión como en la flexión, en comparación con el 12%, que puede verse afectado por la textura de la viruta de acero, ya que sus partículas disminuyen la cohesión, haciendo que aumente las fisuras en las muestras de ensayos. (Angarita Pinzón & Rincón Gaona, 2017).

En el 2018, en la Universidad Católica Andrés Bello de Venezuela, se realizó un diseño de mezcla para obtener una muestra de concreto con sustitución de viruta de acero al 0%, 5% y 10% con respecto al peso de la arena. Se estudió la resistencia a compresión simple por medio de probetas cilíndricas, la resistencia a flexo-tracción utilizando probetas rectangulares, y la durabilidad del concreto por medios de ensayos de calor-humedad. Finalmente, se determinó que el concreto con mejores resultados, comparado con el concreto patrón, fue el concreto diseñado con sustitución de viruta de acero al 5%, tanto para compresión como para flexión, alcanzando la resistencia de diseño a diferencia de la del 10%. (Gonzalez Ramos, 2018).

En el 2019, en la Universidad Cesar Vallejo en Trujillo-Perú, se realizó una investigación para analizar el efecto de la viruta de acero para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 , comparándolos con el concreto convencional y los concretos añadidos con 0.2%, 0.4% y 0.6% de viruta de acero respecto al peso total de la mezcla. Los resultados muestran que genera un efecto de aumento de la resistencia de diseño de manera proporcional para concretos con 0.2% y 0.4% de viruta de acero y una disminución de esta resistencia al añadirle 0.6% de viruta de acero. (Guzman Hidalgo & Garate Labajos, 2019).

Por lo tanto, los motivos que justifican el diseño de esta propuesta es poder conocer cuál es el porcentaje de viruta de acero (tratada o sin tratar) como elemento de sustitución del agregado fino, que mejor resistencia a la compresión daría para un concreto.

1.2. Formulación del problema

La industria del concreto ha experimentado un crecimiento continuo en los últimos años debido a una combinación de factores que incluyen la demanda de proyectos de construcción, avances tecnológicos y sostenibilidad. Esto ha llevado a una expansión significativa en su uso en todo el mundo.

Según un informe de Global Cement and Concrete Association (GCCA, 2021) en el 2020 se produjeron 14 mil millones de metros cúbicos de hormigón a nivel mundial. Por otro lado, La Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP, 2021) informó que en el segundo trimestre del 2021 se alcanzó los 6,75 millones de metros cúbicos; 1,3 millones más que el mismo periodo del año anterior; y a nivel nacional, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022), en julio del 2022, la producción de concreto premezclado fue de 575,3 miles de metros cúbicos, lo que significó un aumento del 5,7% frente al mismo mes de 2021, en el que se produjeron 544,2 miles de metros cúbicos.

Debido a esta creciente demanda de concreto, ha provocado el aumento de arena de río/polvo de piedra, como árido fino, por lo que se están explotando los lechos de los mismos y se están arrasando montañas para obtener más rocas, lo que plantea un problema muy grave, que incluye el aumento del cauce y la destrucción del terraplén y de las montañas. (Garg & Satyaprakash, 2022).

Por lo anterior, se han realizado distintas investigaciones en la dosificación de la mezcla del concreto para aumentar su resistencia a la compresión, trabajabilidad y durabilidad con

diversos materiales aditivos que sustituyan parcial o totalmente el agregado fino, que proceden, en su mayoría, de subproductos de procesos industriales, como desechos de mármol, ceniza de mazorca de maíz, desechos de granitos, caucho triturado, etc. (Garg & Satyaprakash, 2022).

Uno de estos subproductos es la viruta de acero, proveniente del mecanizado, en donde una pieza de materia prima (acero) pasa por un conjunto de procesos industriales para darle forma y tamaño final deseado. (Ferros Planes, 2019). Esta viruta se presenta en trozos de espirales continuos o discontinuos, dependiendo de la velocidad del corte de torno.

Los desechos que provocan estos procesos industriales se llevan a distintos talleres como chatarra para volver a ser usados como materia prima (Hidalgo & Labajos, 2019), pero no se ha dado la suficiente importancia a la recolección, reciclaje y reutilización, ya que se clasifican como residuos peligrosos por ser mezclados con diferentes fluidos, como taladrinas y aceites para la refrigeración de la herramienta de corte y preservación de su vida útil. (Rodriguez Carmona, 2015).

La incorrecta recolección con otros desechos sin tener en cuenta canecas de depósito que indiquen la clase de residuo que se recoge, se llevan como residuos ordinarios a los botaderos o rellenos sanitarios de la ciudad, ocasionando contaminación en el agua y en el aire por la emanación de gases que se desprenden de estos mismos, con lo cual se aumenta el riesgo ambiental, por lo que es factible evaluar otros modos de reutilización. (Rodriguez Carmona, 2015).

Por lo tanto, lo que se busca por medio de este proyecto es reducir el impacto ambiental derivado de la extracción de arena de los ríos, que se utiliza en la fabricación de concreto. Para lograr esto, se propone sustituir parcialmente la arena por viruta de acero, tanto tratada (limpia) como sin tratar (sucia), en diferentes proporciones (0%, 10%, 20% y 30%) para así evaluar la resistencia a la compresión, y además elaborar un diseño experimental donde se tendrá dos

factores: porcentaje de sustitución y el tipo de viruta, con el propósito de analizar la influencia de estos en la resistencia a la compresión del concreto.

De esta manera nace la pregunta de investigación ¿es la viruta de acero una alternativa viable como material que permita sustituir parcialmente el agregado fino en el concreto para ser usados como materiales de construcción sostenible?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la resistencia a la compresión del concreto con viruta de acero como elemento de sustitución del agregado fino.

1.3.2. Objetivo específico

Realizar el diseño de mezcla según el método propuesto por el instituto americano de concreto (ACI) descrito en el ACI 211.1, teniendo en cuenta las propiedades de los agregados y la viruta de acero.

Elaborar un diseño experimental donde se pueda determinar la influencia de la viruta de acero en la resistencia del concreto a la compresión.

Evaluar la resistencia mecánica a la compresión del concreto con la implementación de diferentes porcentajes (0%, 10%, 20% y 30%) de viruta de acero por agregado fino, tratada y sin tratar a los 7, 14, 28 y 60 días.

1.4. Estructura del documento

La presente investigación se conforma de cinco capítulos, los cuales serán establecidos a continuación.

- Capítulo I, se realizó una introducción de la investigación, y se expusieron las razones por la cual surge este proyecto; sus antecedentes y formulación del problema, con ello se establecieron los objetivos.
- Capítulo II, se presentan las bases teóricas sobre el concreto, sus propiedades, materiales e información de la viruta de acero, con el fin de profundizar temas relacionados con este proyecto.
- Capítulo III, se explica toda la metodología realizada para llevar a cabo la investigación, donde se caracterizan los materiales, se realiza el diseño de mezcla para concreto testigo, y posteriormente dosificar la sustitución parcial de agregado fino por viruta de acero sin tratar (VST) y viruta de acero tratada (VT), y por último la realización de especímenes de concreto.
- Capítulo IV, se analizan los resultados obtenidos en la investigación empleando gráficas, tablas y fotografías, observando y comparando los resultados esperados de acuerdo al diseño con los resultados obtenidos de viruta de acero sin tratar (VST) y tratada (VT).
- Capítulo V, se realizan las recomendaciones para los interesados en seguir con el tema de investigación y por último las conclusiones de la investigación.

CAPITULO II

2. Marco teórico

2.1. Concreto

El concreto es un material compuesto, cuya matriz es el aglomerante, cemento, y las partículas agregadas son, por lo general, arena, grava y agua. Es un material de gran durabilidad y con alta resistencia a la compresión y baja resistencia a la tracción; por tal motivo, las construcciones se diseñan con estructuras de acero en su interior para soportar los esfuerzos de

tensión. Las propiedades mecánicas y la resistencia final de concreto están relacionadas con los componentes que se agreguen a la mezcla, sus cantidades y con el control que se tenga del proceso de fraguado. (Cordero Estevez, Cárdenas Gutiérrez, & Rojas Suarez, 2018).

Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene alta resistencia a la compresión y muy baja resistencia a la tensión. (McCormac & Brown, 2017).

2.1.1. Composición del concreto

Cemento

Es el producto de la calcinación y fusión de materiales calcáreos y arcillosos. El cemento hidráulico presenta propiedades de fraguado y endurecimiento en presencia de agua, que a su vez posee excelentes propiedades de cohesión y adhesión con los materiales agregados para conformar un buen concreto. (Cordero Estevez, Cárdenas Gutiérrez, & Rojas Suarez, 2018).

Agregados

Los agregados en el concreto desempeñan un papel fundamental ya que ocupan del 70-80% del volumen (Gutiérrez de López, 2003), estos presentan varias funciones esenciales en la mezcla de concreto. Las más importantes son:

- Los agregados, son los componentes que aportan resistencia mecánica al concreto. Son los responsables de la capacidad del concreto para soportar cargas de compresión y flexión. (Corona Zazueta, 1997)
- Los agregados actúan como un componente económico y efectivo que complementa al cemento en la mezcla de concreto, permitiendo la obtención de un material con las propiedades adecuadas para la construcción, al tiempo que se controlan los costos de producción. (Chan Yam, Solís Carcaño, & Moreno, 2003)

- Los agregados mejoran la trabajabilidad del concreto, esto facilita la mezcla, colocación y compactación del concreto durante la construcción. (Chan Yam, Solís Carcaño, & Moreno, 2003)

Agregado fino

Se compone por arena natural, arena triturada o una combinación de éstas. (NTC 174, 2018). El agregado fino o arena se usa como llenante, que además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto. (Gutiérrez de López, 2003), el tamaño de sus partículas oscila entre 0,075 y 4,75 mm (Galeano, 2020)

Agregado grueso

El agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico o una combinación de ellos. (NTC 174, 2018). En cuanto más alta es la resistencia del concreto, menor debe ser el tamaño máximo y así poder tener mejor eficiencia. (Gutiérrez de López, 2003), sus partículas tienen un diámetro mayor a 4,75 mm (Galeano, 2020).

Agua

Según la (NTC 3459) El agua debe ser limpia y libre de contaminantes como aceites, ácidos, sales y materiales orgánicos que puedan causar daño al concreto.

La importancia del agua en el concreto radica en su estrecha relación con diversas propiedades del producto final. A medida que se añade más agua, la mezcla se vuelve más fluida y manejable, lo que beneficia a la mano de obra. Sin embargo, este aumento en el contenido de agua también conlleva una disminución en la resistencia del concreto debido a la creación de más espacios causados por el agua libre. (Guevara Fallas, y otros, 2012).

2.1.2. Propiedades del concreto

Las propiedades del concreto son un aspecto fundamental en la construcción. Para comprender y aprovechar al máximo el concreto en la construcción, es esencial tener un conocimiento sólido de sus propiedades en estado fresco y endurecido.

Propiedades en estado fresco

Se refieren a las características del concreto antes de que se endurezca por completo

- **Trabajabilidad:** Es la facilidad con la que el concreto puede mezclarse, transportarse, colocarse y compactarse en su ubicación final. Un concreto con alta trabajabilidad es más fácil de manejar y colocar. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)
- **Consistencia:** Está relacionada con la fluidez y la plasticidad del concreto. Puede variar desde un concreto muy fluido hasta uno más viscoso, dependiendo de las necesidades del proyecto. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).
- **Exudación:** Es la liberación de agua desde el concreto hacia su superficie. Puede ser problemática si se exuda demasiada agua, ya que puede afectar la relación agua-cemento.
- **Cohesión:** Se refiere a la capacidad del concreto para mantener su forma y no segregarse durante la colocación, es uniforme y no presenta separación de los agregados y el agua.

Propiedades en estado endurecido

Se refiere a su comportamiento una vez que ha alcanzado su resistencia final.

- **Resistencia a la compresión:** Es la capacidad del concreto para resistir cargas que tienden a aplastarlo y se mide en megapascuales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (PSI). (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).
- **Resistencia a la flexión:** Es la capacidad del concreto para resistir fuerzas que tienden a doblarlo. Estas fuerzas se aplican perpendicularmente a un eje o línea central, y pueden causar una flexión o curvatura en el material.
- **Durabilidad:** La durabilidad del concreto se refiere a su capacidad para resistir la acción de factores ambientales como la humedad, la corrosión y el ciclo de congelación y descongelación sin degradación significativa. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)
- **Permeabilidad:** La permeabilidad del concreto se relaciona con su capacidad para permitir o resistir la penetración de agua, gases o sustancias químicas. Un concreto menos permeable es más duradero y resistente a la corrosión. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

2.1.3. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla del concreto es un proceso que implica la selección y la proporción adecuada de los materiales que componen la mezcla, como el cemento, los agregados (arena y grava), el agua y, en algunos casos, aditivos químicos. El objetivo es crear una mezcla de concreto que cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad, trabajabilidad y otras propiedades específicas para un proyecto particular usando el método American Concrete Institute (ACI).

Para el diseño de mezcla de concreto se basa en principios y recomendaciones establecidos en varias normas y estándares del American Concrete Institute (ACI) y otras organizaciones

relacionadas. Algunas de las normas clave utilizadas en el diseño de mezcla según el método ACI se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Normas utilizadas para el diseño de mezcla.

Norma	Nombre
(ACI 211.1, 2009)	Selección de Proporciones para Concreto Normal
(NTC 77, 2018)	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
(NTC 92, 2019)	Método de ensayo para la determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados
(NTC 1776, 2019)	Método de ensayo para determinar por secado el contenido de humedad total de los agregados.
(NTC 237, 2020)	Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
(NTC 176, 2019)	Método para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
(NTC 396, 2021)	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.
(NTC 1377, 2021)	Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio.
(NTC 673, 2021).	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

2.2. Viruta de acero

La viruta se refiere a fragmentos delgados y alargados de material que resultan de procesos de corte, lijado, desbaste o perforación de materiales como madera, metal u otros. Estos fragmentos suelen tener forma de láminas curvadas o espirales. (Gutiérrez, 2015). La viruta puede variar en tamaño y grosor dependiendo del proceso de fabricación y del material trabajado.

La viruta de acero es la pérdida de material de una pieza de acero generado durante el proceso de mecanizado (Schey, 2002). Entre los procesos de mecanizado ampliamente utilizados se encuentran el torneado, fresado y taladrado, que involucran la eliminación de material de acero.

2.2.1. Tipos de viruta de acero

Los desechos generados en este proceso presentan diferentes formas dependiendo del tipo de material y la velocidad de corte.

Virutas continuas

Son de formas rectas o helicoidales, aparece al mecanizar materiales dúctiles y al trabajar con velocidades de corte un poco altas (Schey, 2002), como se muestra en la Ilustración 1.a.

Virutas discontinuas

Son de formas cortas y fragmentadas, se presenta al mecanizar una pieza con velocidades de corte bajas (Schey, 2002) , como se muestra en la Ilustración 1.b.



a. Viruta continua



b. Viruta discontinua

**Ilustración 1. Tipos de viruta.*

*La Ilustración 1.a fue tomada de la página (GTA, 2023) y la Ilustración 1.b fue tomada de la página (123RF, 2023).

2.2.2. Refrigerante o fluido de corte

El refrigerante o fluido de corte, es un líquido especialmente utilizado en el proceso de mecanizado para enfriar y lubricar la herramienta de corte o la pieza de trabajo, sus funciones principales son:

- Lubrica la zona de trabajo para disminuir la fricción y mejoran los acabados.
- Como la pieza de trabajo presenta altas temperaturas al ser maquinada, el fluido de corte reduce la temperatura de la pieza y de la herramienta de corte.
- Retira la viruta presente en el mecanizado, se trasladan con el fluido a través de bandas transportadoras, evitando que los residuos se atasquen con la herramienta de corte.

Tipos de refrigerantes

Existen dos tipos de fluido de corte:

- Aceites minerales con aditivos apropiados (Schey, 2002)
- Fluidos con base de agua (Schey, 2002)

2.2.3. ¿Por qué la viruta de acero se clasifica como contaminante?

Cuando la viruta se genera en talleres de mecanizado, estas contienen aceites u otros lubricantes utilizados para facilitar el proceso de corte y maquinado. Estos aceites y fluidos de corte pueden contaminar el medio ambiente si no se manejan adecuadamente. Por lo tanto, la viruta de acero se clasifica como residuo peligroso o contaminante.

Según el Decreto 4741 de Colombia del 2005, en el artículo 3 “Residuos o desechos peligrosos: es aquel residuo que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente, por lo que el generador deberá garantizar un manejo integral de residuos peligrosos.”

CAPITULO III

3. Metodología

En la Tabla 2, se presentan las fases que se realizaron para la ejecución del proyecto. En la Fase 1, se recopiló información sobre los materiales y se seleccionó la viruta de acero para su uso en el proyecto. En la Fase 2 se realizó una caracterización de las propiedades físicas de los materiales, llevando a cabo una serie de ensayos. En la Fase 3 se diseñó una mezcla de 21MPa para el concreto testigo y de acuerdo a estos datos, se dosificó para los dos estados de la viruta (Sin Tratar y Tratada) respecto al peso del agregado fino en porcentajes del 10, 20 y 30, para ser curados. En la Fase 4 son fallados a edades de 7, 14, 28 y 60 días para la obtención de sus resultados

a la resistencia a la compresión. Por último, en la Fase 5 se analizaron los resultados en un diseño experimental multifactorial.

Tabla 2. Proceso metodológico

Fase 1. Recopilación del material	- Investigación de la viruta de acero - Selección de los materiales - Arena - Grava - Cemento - Viruta de acero
Fase 2. Caracterización del material	- Análisis granulométrico - Peso unitario - Contenido de humedad - Densidad y absorción - Viruta de acero sin tratar - Viruta de acero tratada
Fase 3. Diseño y preparación de mezcla	- Diseño de mezcla - Elaboración y curado de especímenes
Fase 4. Obtención de datos	Resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 y 60 días.
Fase 5. Análisis de resultados	Diseño experimental multifactorial (ANOVA)

3.1. Tipo de investigación

El enfoque de esta investigación es de tipo cuantitativo, según (Hernández Sampieri, Collado Fernández, & Baptista Lucio, 2014) nos indica que este tipo de enfoque es secuencial y probatorio, debido a que cada etapa precede a la siguiente y no se puede eludir pasos. Este enfoque se caracteriza por recopilar y analizar datos numéricos para describir, medir y evaluar el fenómeno estudiado. Esta investigación parte de una idea, que en nuestro caso fue aplicar la viruta de acero en el concreto; segundo tenemos un planteamiento del problema que se observa en el Capítulo I; se realiza una investigación exhaustiva y se desarrolla un marco teórico; a partir de la pregunta de investigación, se formula una hipótesis y se identifican las variables. Luego se establece un plan detallado para poner a prueba esta hipótesis, lo que se conoce como diseño de la investigación, se

miden las variables en un determinado contexto, y los datos recopilados se someten a un análisis estadístico para finalmente realizar conclusiones basadas en los análisis.

3.2. Fase 1. Recopilación del material

3.2.1. Consulta de la viruta de acero

La información recolectada de la viruta se basó en dos partes:

En la primera parte, se observó el proceso en el taller de mecanizado Sena Industrial (Sede Neiva), donde se analizó la viruta generada en las maquinas de fresado, torneado, esmerilado y cortes manuales, obteniendo variedades de formas en la viruta; su recolección, que se realiza sin tener en cuenta el tipo de material mecanizado. En este proceso, la viruta se recoge en bolsas rojas, se separa de otros residuos en una zona designada y luego se transporta por la empresa Incinerados del Huila que es especializada en la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos.

En la segunda parte, se recopiló información utilizando las bases de datos disponibles en el portal web de la Universidad Surcolombiana y sitios web de internet. Durante este proceso, se revisaron investigaciones previamente publicadas sobre la viruta de acero y su inclusión en concretos, ya sea como sustituto o adición, estas investigaciones de referencia se detallan en el Capítulo 1 en la sección de Antecedentes y justificación.

El propósito de esta consulta fue explorar y obtener información acerca del proceso de elaboración, tipos, tamaño y si es viable o no reciclar la viruta de acero, como se muestra y referencia en el Marco Teórico.

3.2.2. Selección del material

3.2.2.1. Agregado fino y grueso

Los agregados, tanto finos como gruesos, fueron adquiridos de la compañía Arenas del HUILA S.A.S. La presentación comercial de arena y grava empleada para este proyecto se muestra en la Ilustración 2.



Ilustración 2. Arena y grava utilizada.

3.2.2.2. Cemento

En este proyecto, se empleó el cemento hidráulico de uso general, como se observa en la Ilustración 3., producido por la empresa CEMEX. Este cemento es ideal para la construcción en general, la elaboración de morteros de pega, pañetes y acabados, sirve para la elaboración de concretos de comportamiento normal en fraguados y resistencias. Tiene una alta retención de agua que garantiza una excelente manejabilidad, moderado calor de hidratación que minimiza la aparición de fisuras y brinda estabilidad en sus propiedades de fraguado, resistencia y color.



Ilustración 3. Cemento utilizado

En la Tabla 3, se presenta la ficha técnica del cemento, tomado de (CEMEX, 2022) lo que nos garantiza que el cemento es adecuado y seguro para el proyecto, cumpliendo con los estándares de calidad requeridos.

Tabla 3. Ficha técnica del cemento hidráulico de uso general

INFORMACIÓN TÉCNICA		
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
1 día	60 - 100	NA
3 días	130 - 190	Mínimo 80
7 días	170 - 240	Mínimo 150
28 días	245 - 300	Mínimo 250
Análisis físicos	Rango resultados	Requisitos Norma NTC 121
Superficie específica Blaine (cm ² /g)	3000 - 6000	Mínimo 2800
Tiempo de fraguado Vitac (minutos)		
Inicial	100 - 180	Mínimo 45
Final	180 - 260	Máximo 480
Expansión en autoclave (%)	0,00 - 0,20	Máximo 0,80
Análisis químicos		Requisitos Norma NTC 321
% SO ₃	1,50 - 3,00	Máximo 3,5
% MgO	1,00 - 3,00	Máximo 7,0

Tomado de (CEMEX, 2022)

3.2.2.3. Viruta de acero

La viruta de acero fue obtenida del taller industrial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA, Neiva). En la Ilustración 4., se evidencia que las partículas de viruta seleccionadas para

el proyecto son discontinuas, es decir que son cortas y fragmentadas, esto se hace con el propósito de mejorar el proceso de semejanza con el agregado fino.



Ilustración 4. Viruta utilizada

3.2.2.4. Jabón industrial Green Power

El jabón industrial Green Power, presentado en la Ilustración 5., es un desengrasante y limpiador biodegradable soluble en agua, que será utilizado para tratar una parte de la viruta, debido a que esta contiene fluidos de corte usados en el mecanizado.



Ilustración 5. Jabón industrial.

En la Tabla 4, se observa la composición química del jabón industrial con su respectiva concentración.

Tabla 4. Composición química del jabón industrial.

Identificación	Nombre químico/clasificación	Concentración
CAS: 25155-30-0	Dodecylbencenosulfonato de sodio	2.5 - < 10%
CAS: 127087-87-0	4 – Nonilfenol, ramificado, ettoxilado (3-7 EO)	1 - < 2.5%
CAS: 111-42-2	Dietanolamina	< 1%

3.3. Fase 2. Caracterización del material

3.3.1. Análisis granulométrico para agregados finos y gruesos

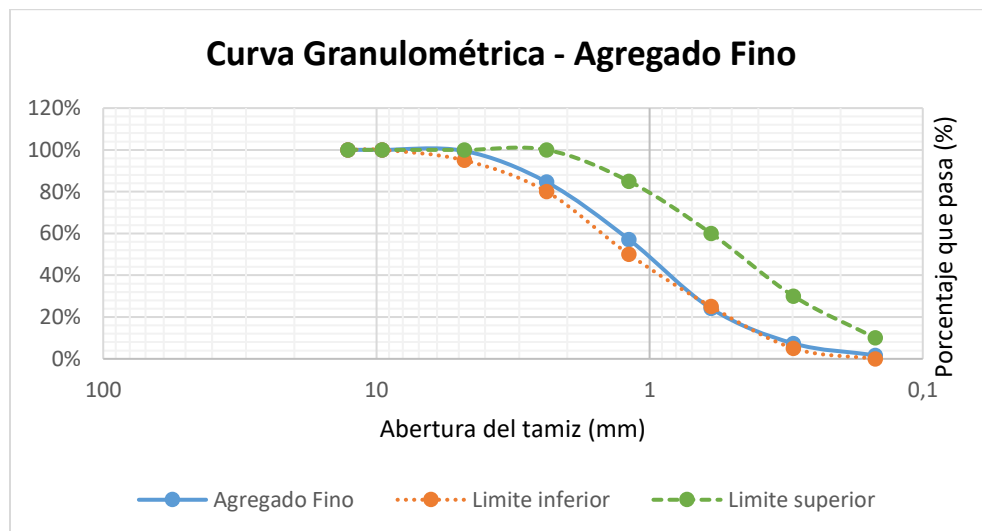
De acuerdo a la norma (NTC 77, 2018) el análisis granulométrico para agregados finos y gruesos es un procedimiento utilizado para determinar la distribución de tamaños de partículas en los agregados utilizados en la fabricación de concreto y mortero. Este análisis consiste en utilizar tamices de diferentes tamaños (Ilustración 6.) para separar las partículas de un agregado en función de su tamaño. Cada tamiz retiene partículas de un tamaño específico mientras permite que las partículas más pequeñas pasen a través de él.



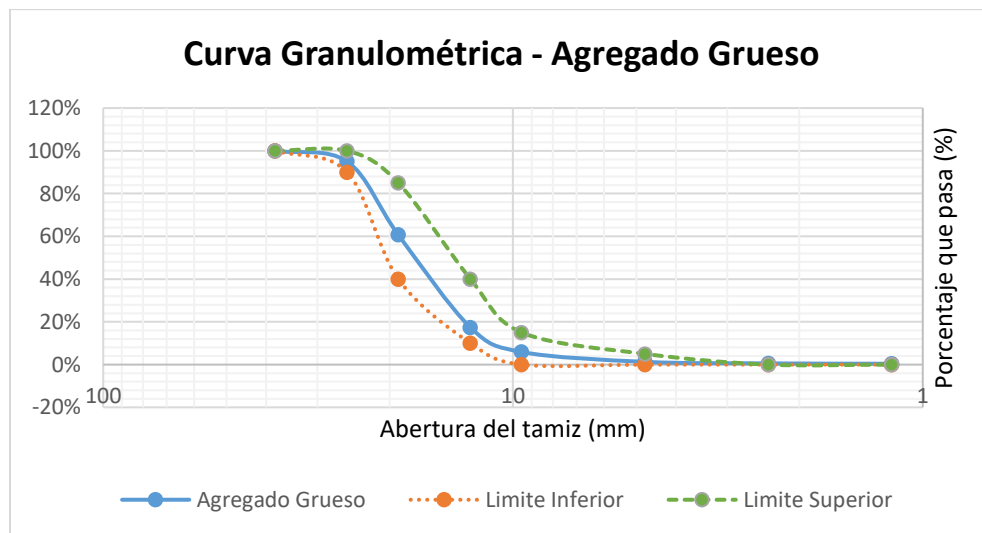
Ilustración 6. Proceso de granulométrico.

Los resultados del análisis granulométrico se ilustran en un gráfico conocido como "curva granulométrica," como se muestra en las Gráficas 1 y 2, para agregado fino y grueso respectivamente. Ambas representaciones gráficas indican que tanto el agregado fino como el

grueso cumplen con los requisitos establecidos por la normativa, lo que confirma que los agregados son apropiados para el diseño.



Gráfica 1. Curva granulométrica del agregado fino



Gráfica 2. Curva granulométrica del agregado grueso

3.3.2. Determinación de la masa unitaria

Según la norma (NTC 92, 2019) se determina la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados. Siendo aplicable para agregados que no excedan los 125 mm de tamaño máximo nominal. En la Ilustración 7.a, se muestra la arena compactada y en la 7.b la grava compactada para la obtención de los resultados que serán usado para el diseño de mezcla



a. b.
Ilustración 7. Peso suelto y compactado de los agregados

3.3.3. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción

Los datos obtenidos para la densidad y la absorción del agregado grueso se obtuvieron siguiendo el método especificado en la norma (NTC 176, 2019), de manera similar, para el agregado fino, se aplicó el procedimiento descrito en la norma (NTC 237, 2020). La densidad aparente seca proporciona información sobre la densidad del agregado en su estado seco, mientras que la densidad aparente saturada indica la densidad máxima que puede alcanzar el agregado cuando está completamente saturado de agua. El porcentaje de absorción refleja cuánta agua puede retener el agregado y afecta la cantidad de agua que debe agregarse a la mezcla de concreto.

A continuación, se muestra en la Tabla 5, el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos previamente mencionados, además, cabe aclarar que los detalles completos de cada uno de los ensayos se encuentran en el Anexo A.

Tabla 5. Resumen de datos resumen de las propiedades físicas de los agregados.

Propiedades físicas de Los Agregados		
	Fino	Grueso
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1,62	1,49
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1,76	1,62
Peso específico (gr/cm ³)	2,57	2,62
Módulo de finura	3,26	-
TMN (in)	-	1"
% Absorción	1,80%	0,85%
% Humedad	2,04%	0,58%

3.3.4. Viruta de acero

Como se ha mencionado anteriormente, la viruta que proviene del taller industrial del SENA (Sede Neiva), presenta características que se deben considerar, como lo es su tamaño que resulta del proceso de mecanizado.

Para sustituir la viruta de acero por el agregado fino en la mezcla de concreto se debe buscar similitud en el tamaño de las partículas, de modo que cumpla una función parecida al agregado.

El primer paso consistió en ingresar la viruta en la máquina de los ángeles, con el fin de reducir su tamaño y obtener uniformidad de partículas. Se buscó ser lo más óptimo posible a la hora de utilizar la máquina, por esta razón el punto ideal fue de dos sesiones (500 vueltas / 16 minutos) por cada 2 kg de viruta discontinua, en vista que tras la segunda sesión la reducción de tamaño no es significativo.

Debido que la granulometría del agregado fino el tamaño de partículas más destacados fue debajo del N°8 (2,36 mm), en la Ilustración 8.a se observa el tamizado de la viruta con una máquina

manual de polea y en la Ilustración 8.b se observa la selección del material, con el fin de no afectar la trabajabilidad por el tamaño.



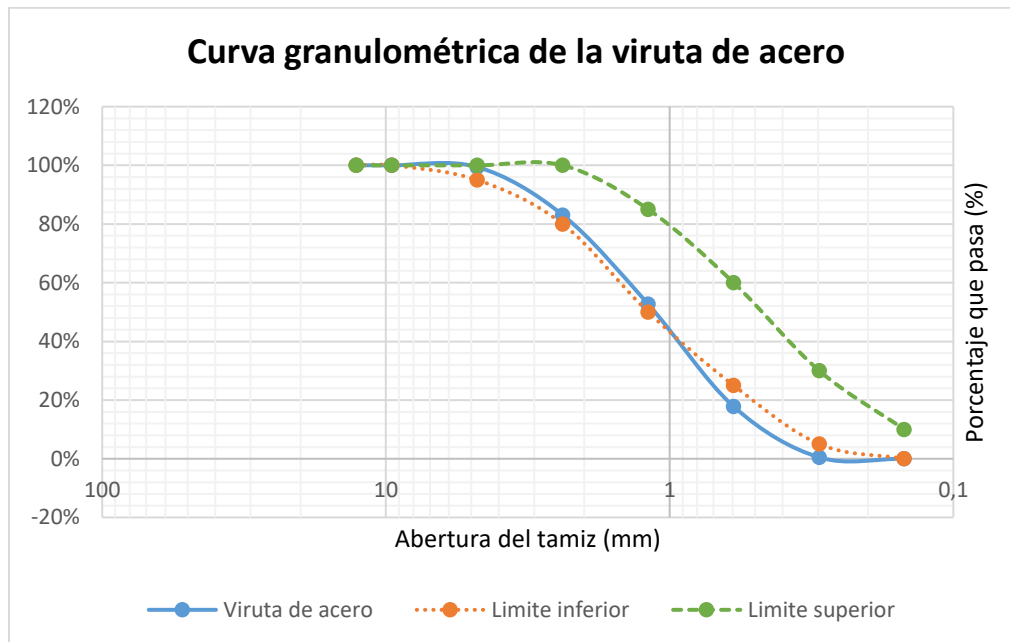
Ilustración 8. Tamizaje de la viruta de acero.

En la Ilustración 9, se observa el tamizaje del proceso granulométrico de la viruta para verificar que esta cumpla con la gráfica de agregado fino según la NTC 174. (La curva granulométrica de la viruta se puede evidenciar en la Gráfica 3).



Ilustración 9. Proceso granulométrico de la viruta de acero.

A partir de los datos obtenidos del ensayo de granulometría de la viruta de acero, se realiza la curva granulométrica (Gráfica 3), y se observa que ésta cumple con las restricciones establecidas en la NTC 174, lo que confirma que la viruta es apropiada para sustituirla por el agregado fino.



Gráfica 3. Curva granulométrica de la viruta de acero.

3.3.4.1. Viruta de acero sin tratar

Después de tamizar la viruta de acero y como se mencionó previamente, que esta contiene contaminantes como aceites de corte provenientes del mecanizado de acero, esta viruta fue utilizada sin ningún proceso de limpieza de los lubricantes.

3.3.4.2. Viruta de acero tratada

Para este tratamiento, la viruta de acero tamizada se someterá a un proceso de limpieza para eliminar cualquier contaminante o aceite de corte que pueda estar presente.

Para el proceso de limpieza, se preparó el jabón Green Power en agua (1:3) como se muestra en la Ilustración 10., y se procedió a ingresar la viruta en la solución preparada (Ilustración 11.a). Después de realizar de 2 a 3 lavados con esta desengrasante como se ve en la Ilustración

11.b, se ingresó en agua (Ilustración 11.c). Por último, se procedió a realizar un proceso de secado para eliminar la humedad residual, como se presenta en la Ilustración 11.d.

Aplicaciones	Diluir en las siguientes proporciones Green Power CRC: AGUA	Instrucciones de uso
Motores, rines, maquinaria, superficies con grasa pesada, pisos de concreto, cerámica, madera.	1:3	Humedezca previamente la superficie, aplique GREEN POWER CRC, déjalo actuar de 10 a 15 minutos luego enjuague con agua a presión.
Piscinas, herramientas, neveras, muebles, microondas, lavaplatos, lámparas metálicas, persianas,	1:10	Aplique la solución sobre la superficie. Deje actuar 15 minutos y enjuague. en casos difíciles deje actuar la solución luego aplique GREEN POWER CRC puro, frote y enjuague.
Limpieza generas de cocinas.	1:20	Rocié la superficie con la solución, luego limpie retirando con un trapo húmedo.
Tapetes, alfombras, tapices.	1:50	Aplique la dilución, frote con un cepillo de cerdas suaves, retire con un paño limpio y seco.
Vidrios y Cristales.	1:60	Aplique la dilución y retire con un paño suave y seco.

Ilustración 10. Instrucciones de uso Green Power (INDUSTRIAL)

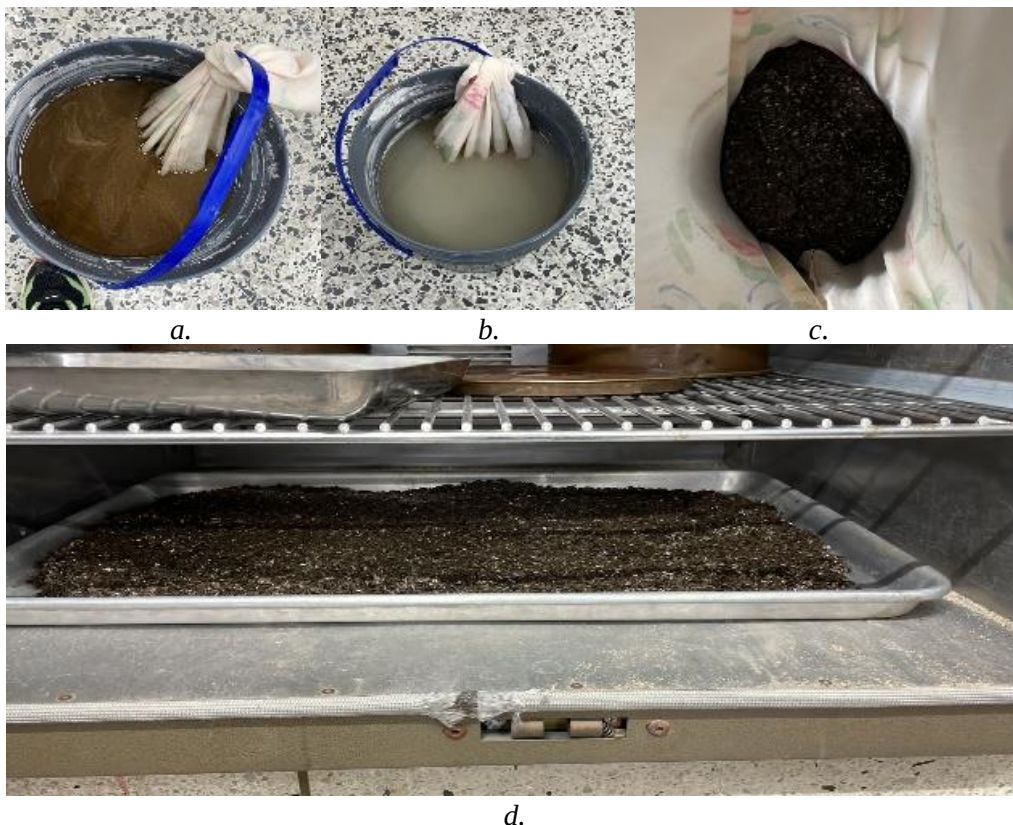


Ilustración 11. Proceso de limpieza de la viruta de acero.

3.4. Fase 3. Diseño y preparación de la mezcla

3.4.1. Diseño de mezcla

Se llevó a cabo un diseño de la mezcla para el concreto testigo, basado en el Método ACI 211.1, con una resistencia de 210 kg/cm², equivalente a 21MPa o 3000PSI.

Para la elección del asentamiento se tuvo en cuenta las necesidades específicas del proyecto, los requisitos de resistencia y las condiciones de colocación que se observa en la Tabla 6, por ello se optó por un nivel de consistencia de tipo media (plástica) para la elaboración de este proyecto (Recuadro con línea Roja).

Tabla 6. Asentamientos recomendados para distintos tipos de construcción.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0,0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibración de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerir presión.
Seca	20 – 35	Pavimentos.	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semiseca	35 – 50	Pavimentos, fundiciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas terminadora vibratoria.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50 – 100	Pavimentos compactados a mano, losas, vigas, muros, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100 – 150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy húmeda	150 – 200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos “in situ”.	Tubo – embudo – tremie.	Secciones altamente reforzadas con vibración.
Súper fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibraciones.

Una vez determinado el nivel de asentamiento y tomando en cuenta las propiedades físicas de los agregados, que se encuentran detallados en la Tabla 5, se proporcionan a continuación, en la Tabla 7, los valores iniciales necesarios para llevar a cabo el diseño de la mezcla.

Tabla 7. Datos iniciales del diseño de mezcla.

Resistencia			
F'c (PSI)	3000	F'c (kg/cm2)	210
Cemento			
Peso Específico (gr/cm3)			3,15
Agua			
Peso específico (kg/m3)			1000
Asentamiento			
Slump (pulg)			3-4

Siguiendo el proceso establecido en el método ACI 211.1 para el diseño de mezcla, se resume en la Tabla 8 los resultados obtenidos. Los cálculos están detallados en Anexo B.

Tabla 8. Resumen de los resultados del método ACI.

Resistencia promedio (kg/cm2)	294
Contenido de aire atrapado	1,5%
Contenido de agua (L/m3)	193
Relación a/c	0,56
Contenido de cemento (kg/cm3)	345,63
Peso del agregado grueso (kg)	1053,84

Utilizando estos datos y aplicando una corrección por humedad a los agregados, que se detalla en el Anexo B, se obtienen las proporciones del diseño de mezcla para un concreto de 21MPa, y se presentan las cantidades de materiales que se necesitan para realizar 1 m³ de concreto testigo como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. Proporciones y cantidades del diseño de mezcla para 21 MPa.

COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIONES
Cemento (kg)	345,63	1
A. fino (kg)	721,61	2.09
A. Grueso (kg)	1053,84	3.05
Agua (Lt)	194	

3.4.2. Elaboración de probetas de concreto

Para la elaboración de probetas se tendrá en cuenta el diseño multifactorial, que incorpora dos factores: estado y porcentaje. El factor estado se divide en dos niveles (sin tratar y tratada); y el factor porcentaje en tres niveles (10, 20 y 30), en donde la variable de respuesta del diseño multifactorial es la resistencia a la compresión. En la Tabla 10, se muestra el esquema de lo mencionado anteriormente.

Tabla 10. Diseño experimental.

Factores	Nivel	Variable respuesta
Estado de la viruta	Sin tratar Tratada	Resistencia a la compresión
Porcentaje de viruta	10% 20% 30%	

De lo anterior nos resultan los siguientes 6 tratamientos:

*C.T: Concreto testigo sin sustitución de viruta

C.VST - 10%: Concreto con sustitución de viruta sin tratar al 10%

C.VST - 20%: Concreto con sustitución de viruta sin tratar al 20%

C.VST - 30%: Concreto con sustitución de viruta sin tratar al 30%

C.VT - 10%: Concreto con sustitución de viruta tratada al 10%

C.VT - 20%: Concreto con sustitución de viruta tratada al 20%

C.VT - 30%: Concreto con sustitución de viruta tratada al 30%

* Se involucra el concreto testigo para comparar la influencia de la viruta a la resistencia a la compresión.

Teniendo en cuenta lo anterior se elaboraron 112 muestras de cilindros de concreto, 16 muestras para una resistencia de 21MPa (Concreto Testigo), mientras que las restantes se dividieron en grupos que sustituyeron el agregado fino con un 10%, 20% y 30% de viruta de acero sin tratar y viruta de acero tratada, obteniendo resultados a los 7, 14, 28 y 60 días, como se presenta a continuación en la Tabla 11:

Tabla 11. Resumen de los tipos de concretos elaborados.

Tipo de concreto	Resistencia de diseño	% de viruta	Tipo de viruta	No. De muestras			
				7 días	14 días	28 días	60 días
C.T	21 MPa	0%	N.V	4	4	4	4
C.VST - 10%	21 MPa	10%	V. Sin tratar	4	4	4	4
C.VST - 20%	21 MPa	20%	V. Sin tratar	4	4	4	4
C.VST - 30%	21 MPa	30%	V. Sin tratar	4	4	4	4
C.VT - 10%	21 MPa	10%	V. Tratada	4	4	4	4
C.VT - 20%	21 MPa	20%	V. Tratada	4	4	4	4
C.VT - 30%	21 MPa	30%	V. Tratada	4	4	4	4

En la tabla 12 se presentan las cantidades de materiales que se necesitan para realizar 1m³ de concreto restándole los distintos porcentajes (10, 20 y 30) de viruta tratada de acuerdo al peso del agregado fino, y de la misma manera para la viruta tratada.

Tabla 12. Cantidades para elaborar 1m³ de concreto.

MATERIALES	TESTIGO	VIRUTA SIN TRATAR			VIRUTA TRATADA		
	0%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Cemento (kg)	345,63	345,63	345,63	345,63	345,63	345,63	345,63
A. Fino (kg)	721,61	649,47	577,3	505,14	649,47	577,3	505,14
A. Grueso (kg)	1053,84	1053,84	1053,84	1053,84	1053,84	1053,84	1053,84
Agua (Lt)	194	194	194	194	194	194	194
Viruta (kg)	0	72,16	144,33	216,49	72,16	144,33	216,49

Ya obtenidas las cantidades requeridas de materiales y viruta de acero para la elaboración de los especímenes cilíndricos, se realiza su pesaje y posteriormente el mezclado. Durante esta etapa, se supervisa el grado de asentamiento de la mezcla, el cual debe estar de acuerdo con el valor diseñado conforme a lo establecido en la norma NTC 396.

Se verifica, en la Ilustración 12, que el asentamiento que presentaron los dos tipos de viruta, junto con su correspondiente porcentaje de sustitución, se encontrara en el rango de 3 a 4 pulgadas.



Ilustración 12. Medición del asentamiento.

Posterior a la verificación del asentamiento, la mezcla de concreto se vierte en moldes de acero que cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C470. Estos moldes deben ser herméticos, no absorbentes y con una relación de altura doble al diámetro. Para este proyecto se utilizaron cilindros de 100 mm x 200 mm.

Se coloca los moldes cilíndricos en una superficie plana y se vierte el concreto de manera uniforme en capas (Ilustración 13.a). Después de llenar cada capa de concreto, se compacta dentro de los moldes utilizando una varilla compactadora, con un patrón en espiral, y se aplican golpes desde el exterior del molde utilizando un martillo de goma, con el fin de reducir los espacios de aire que se generan dentro de la mezcla. Finalmente, se utiliza una llana metálica para alisar y nivelar la parte superior del concreto en los moldes, asegurándose de que estén completamente llenos hasta el borde y que la superficie quede uniforme (Ilustración 13.b).

Transcurrido un período de 24 horas desde la fundición, se llevó a cabo el proceso de desencofrado y posteriormente se sometieron las muestras al proceso de curado, como se observa en la Ilustración 14, sumergiéndolas en un tanque de agua., con el propósito de permitir que las muestras alcancen la resistencia previamente diseñada.

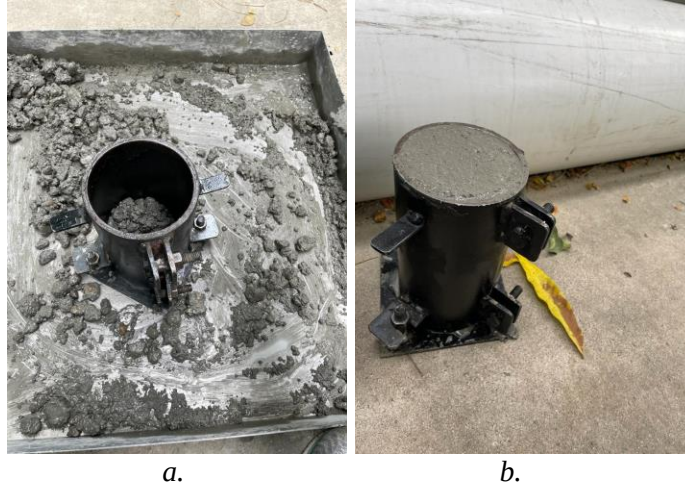


Ilustración 13. Elaboración de muestras.



Ilustración 14. Curado por inmersión de los especímenes.

3.5. Fase 4. Obtención de datos

3.5.1. Resistencia a la compresión

Según la (NTC 673, 2021), este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que falla. La carga se aplica en una dirección axial, es decir, en línea recta con el eje de la muestra. Este tipo de ensayo es comúnmente utilizado en la industria de la construcción para evaluar la resistencia del concreto a las edades de 7, 14, 28 y 60 días. Así mismo en la Ilustración 15, se presenta la máquina CONTROLS Model 50-Q90C14 con capacidad de

1500 kN, con fecha de calibración 09-Sep-2022, empleada para fallar los cilindros, ubicada en el laboratorio de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana.



Ilustración 15. Máquina usada para la resistencia a la compresión.

CAPITULO IV

4. Resultados y análisis

En este capítulo, se analizaron los resultados de la resistencia a la compresión entre los 6 tratamientos utilizados y el testigo para comparar la influencia de la viruta a la resistencia a la compresión. Se realizó un análisis estadístico de la influencia que tiene la viruta de acero en el concreto para determinar si hay o no diferencias significativas entre ellos y así identificar cuál es el tratamiento más óptimo.

4.1. Resistencia a la compresión

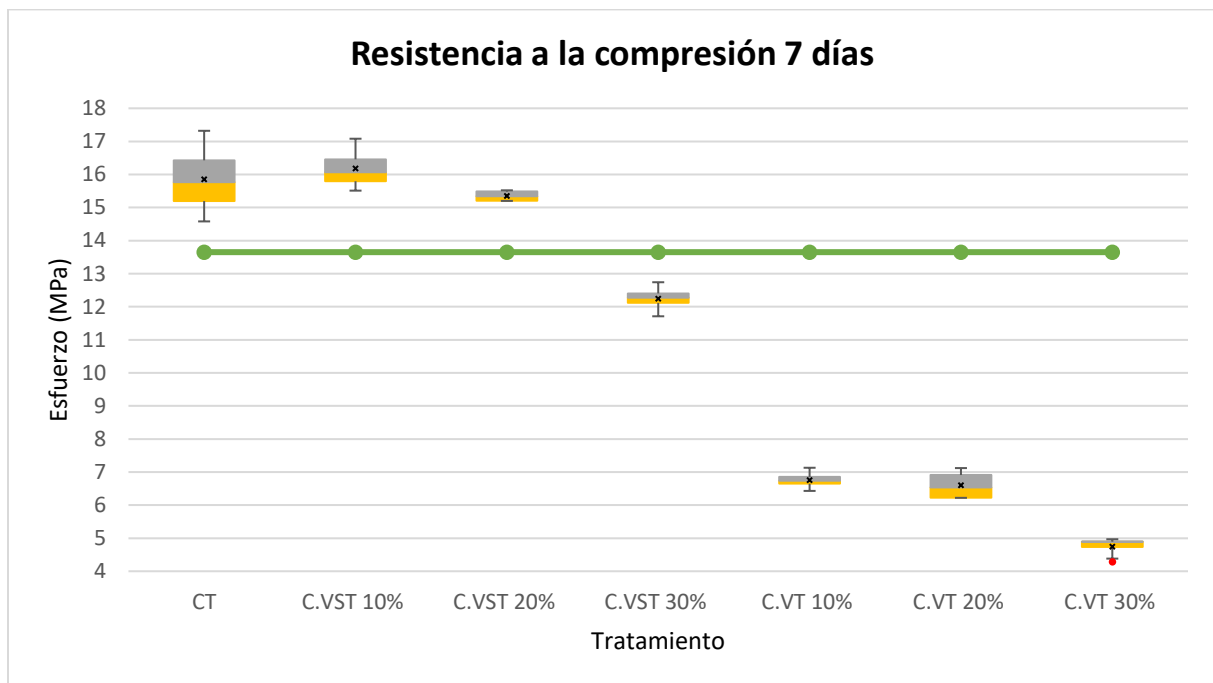
4.1.1. Resistencia a la compresión a los 7 días

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión de todos los tratamientos y el concreto testigo, se observa que no hay mucha dispersión entre los resultados, obteniendo una resistencia promedio a la compresión mayor en C.VST 10% y un promedio menor en C.VT 30%.

Tabla 13. Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días

No. De ensayos	Resistencia a la compresión a los 7 días (MPa)						
	CT	C.VST 10%	C.VST 20%	C.VST 30%	C.VT 10%	C.VT 20%	C.VT 30%
1	15,4	16,25	15,21	11,71	6,43	7,12	4,29
2	14,58	15,51	15,47	12,25	6,76	6,23	4,88
3	17,32	15,89	15,2	12,74	7,13	6,84	4,89
4	16,13	17,08	15,52	12,29	6,72	6,22	4,9
Promedio	15,86	16,18	15,35	12,25	6,76	6,60	4,74

De acuerdo a la gráfica 4, se muestra que, en los tratamientos con viruta de acero, a medida que se va aumentando el porcentaje de viruta sustituida por arena, va disminuyendo su resistencia. Además, los tratamientos que obtuvieron una resistencia a la compresión cercana a la del concreto testigo fue C.VST 10% que está por encima de todos, seguido de C.VST 20% que presenta una disminución casi mínima con base al testigo, por otro lado los cilindros de viruta tratada presentaron una disminución de resistencia muy alta y hay un dato atípico inferior en el tratamiento C.VT 30%.



Gráfica 4. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 7 días.

Teniendo en cuenta que el 100% de la resistencia es 21MPa y a los 7 días, según (Pinto, 2023), se espera un 65% que equivale a 13,65MPa (línea verde), evaluando cada uno, se obtiene que los tratamientos que cumplen con ello son CT con un 75.5%, C.VST 10 con 77% y C.VST 20 con 73%; los que no cumplen con lo esperado son C.VST 30 con 58%, C.VT 10 con 32%, C.VT 20 con 31 % y C.VT 30 con 22.5%.

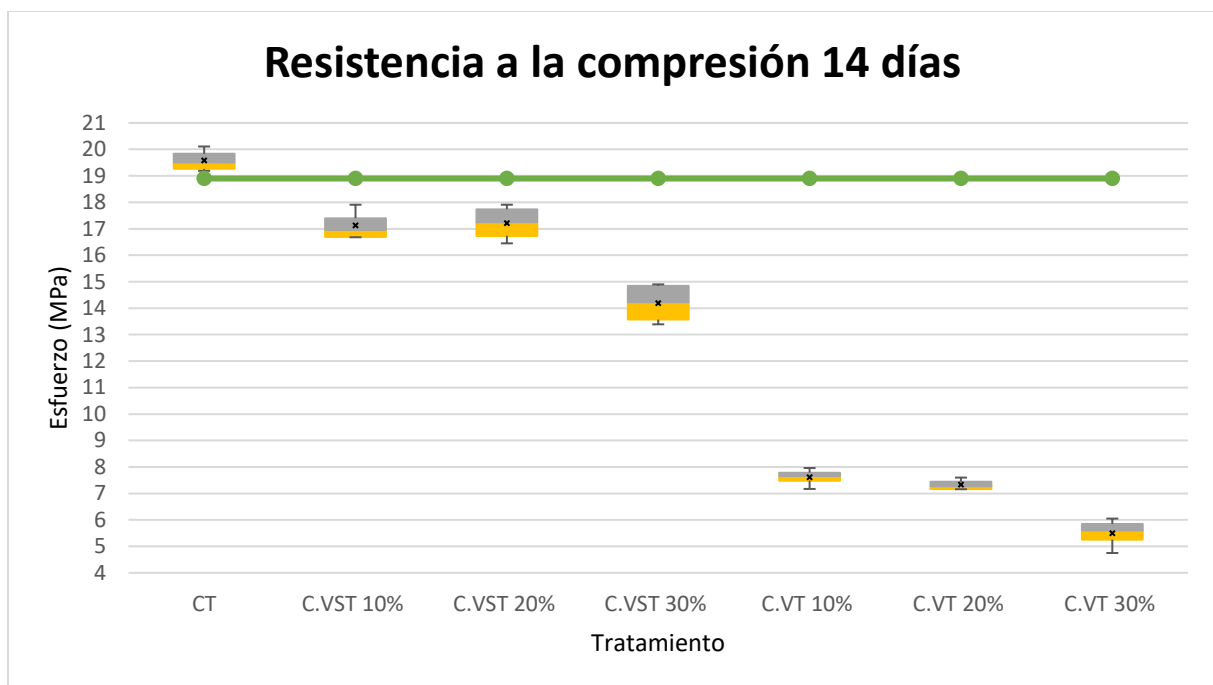
4.1.2. Resistencia a la compresión 14 días

Los resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días para todos los tratamientos, incluido el concreto testigo, se detallan en la Tabla 14. Se aprecia que existe una baja dispersión entre los valores obtenidos, con un promedio más elevado en CT, seguido por C.VST 10% y C.VST 20%, los cuales son bastante similares entre sí. El promedio más bajo continúa siendo el de C.VT 30%, lo que coincide con los resultados obtenidos a los 7 días

Tabla 14. Resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días.

No. De ensayos	Resistencia a la compresión a los 14 días (MPa)						
	CT	C.VST 10%	C.VST 20%	C.VST 30%	C.VT 10%	C.VT 20%	C.VT 30%
1	19,74	16,68	17,68	14,83	7,96	7,39	5,42
2	19,29	16,7	16,45	13,39	7,59	7,16	4,75
3	19,19	17,23	16,83	14,9	7,17	7,17	5,78
4	20,11	17,91	17,91	13,63	7,73	7,6	6,05
Promedio	19,58	17,13	17,22	14,19	7,61	7,33	5,50

De acuerdo a la gráfica 5, se muestra que el concreto CT sigue aumentando su resistencia de acuerdo a lo que se espera, mientras que el concreto C.VST 20% aumenta un poco más que el C.VST 10%, a pesar de que este último tenía una ventaja en la resistencia a los 7 días. Ambos tratamientos muestran un promedio de resistencia muy similar. Por otro lado, los otros tratamientos muestran un aumento en la resistencia bastante insignificante.



Gráfica 5. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 14 días.

Teniendo en cuenta que el 100% de la resistencia es 21MPa y a los 14 días, según (Pinto, 2023), se espera un 90% que equivale a 18,9MPa (línea verde), y evaluando cada uno se obtiene que solo CT con un 93,3% cumple con ello, y los cilindros con viruta no cumplen lo esperado C.VST 10% con 81,57%, C.VST 20% con 82%, C.VST 30 con 67,56%, C.VT 10 con 36,25%, C.VT 20 con 34,9% y C.VT 30 con 26,2%.

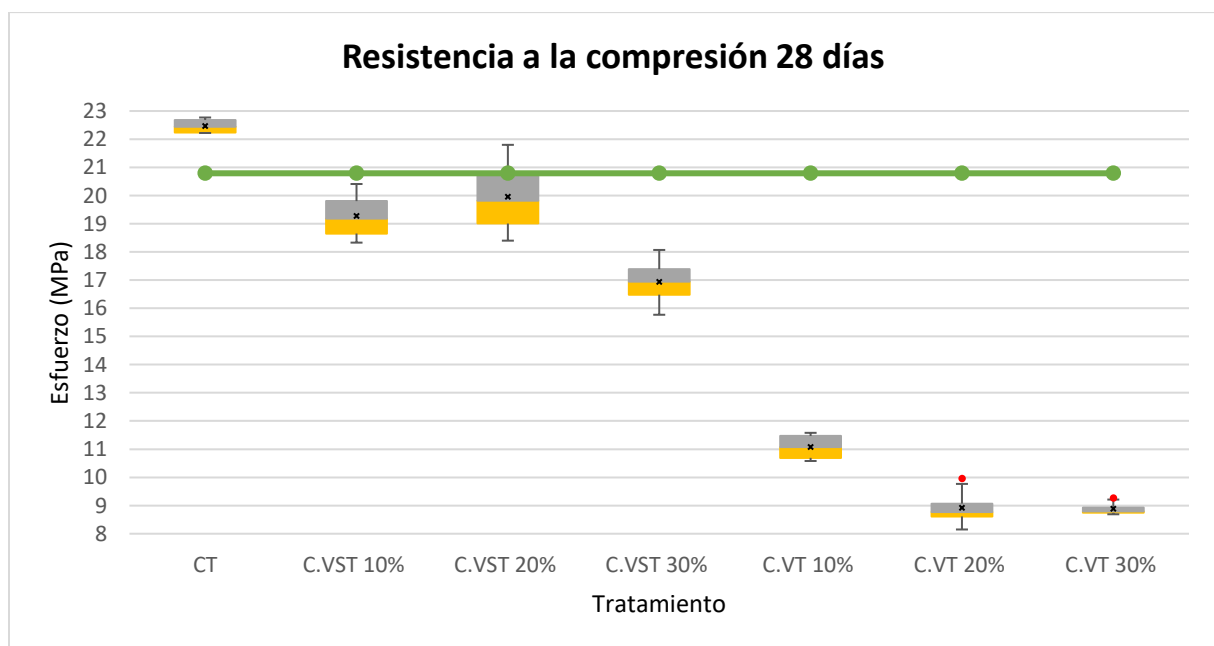
4.1.3. Resistencia a la compresión a los 28 días

En los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días mostrada en la Tabla 15, se observa que el promedio más alto, al igual que a los 14 días sigue siendo CT, seguido del C.VST 20%, y los más bajos son C.VT 20% y C.VT 30% los cuales son muy parecidos, indicando que no existen diferencias significativas entre sí.

Tabla 15. Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días.

No. De ensayos	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)						
	CT	C.VST 10%	C.VST 20%	C.VST 30%	C.VT 10%	C.VT 20%	C.VT 30%
1	22,22	18,33	19,21	15,77	11,43	8,77	8,69
2	22,77	18,76	18,4	17,16	10,58	8,15	9,27
3	22,24	20,41	20,43	16,72	11,58	9,96	8,76
4	22,65	19,6	21,8	18,07	10,73	8,77	8,82
Promedio	22,47	19,28	19,96	16,93	11,08	8,91	8,89

Según la gráfica 6, muestra que el concreto CT sigue aumentando su resistencia de acuerdo a lo que se espera, mientras que el concreto C.VST 20% sigue aumentando un poco más que el C.VST 10%. Por otro lado, el tratamiento C.VST 30% presenta un aumento más considerable respecto a las edades de 7 y 14 días. En los resultados de C.VT 20% y C.VT 30% se observa un dato atípico superior, y ambos tienen un promedio similar. La tendencia sigue siendo la misma en el tratamiento con viruta tratada obteniendo resistencias a la compresión muy bajas, debido a que durante el proceso de lavado de la viruta con el jabón algo influyó, provocando una anomalía en la mezcla del concreto haciendo que disminuyera su resistencia a la compresión y ocasionara una expansión en el cilindro.



Gráfica 6. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 28 días.

Teniendo en cuenta que el 100% de la resistencia es 21MPa y a los 28 días se espera un 99%, según (Pinto, 2023), equivalente a 20,79MPa (línea verde), evaluando cada uno se obtiene que solo CT cumple con ello, obteniendo una resistencia por encima de lo que se espera. Por otro lado, los cilindros con viruta de acero que no alcanzan los valores esperados, pero mantienen cercanos a la resistencia de diseño son: C.VST 10% con 91,78%, C.VST 20% con 95%. Los demás tratamientos siguen presentando resistencias muy bajas, para C.VST 30% un 80,6%, C.VT 10% con 52,76%, C.VT 20% con 42,44% y C.VT 30 con 42,3%.

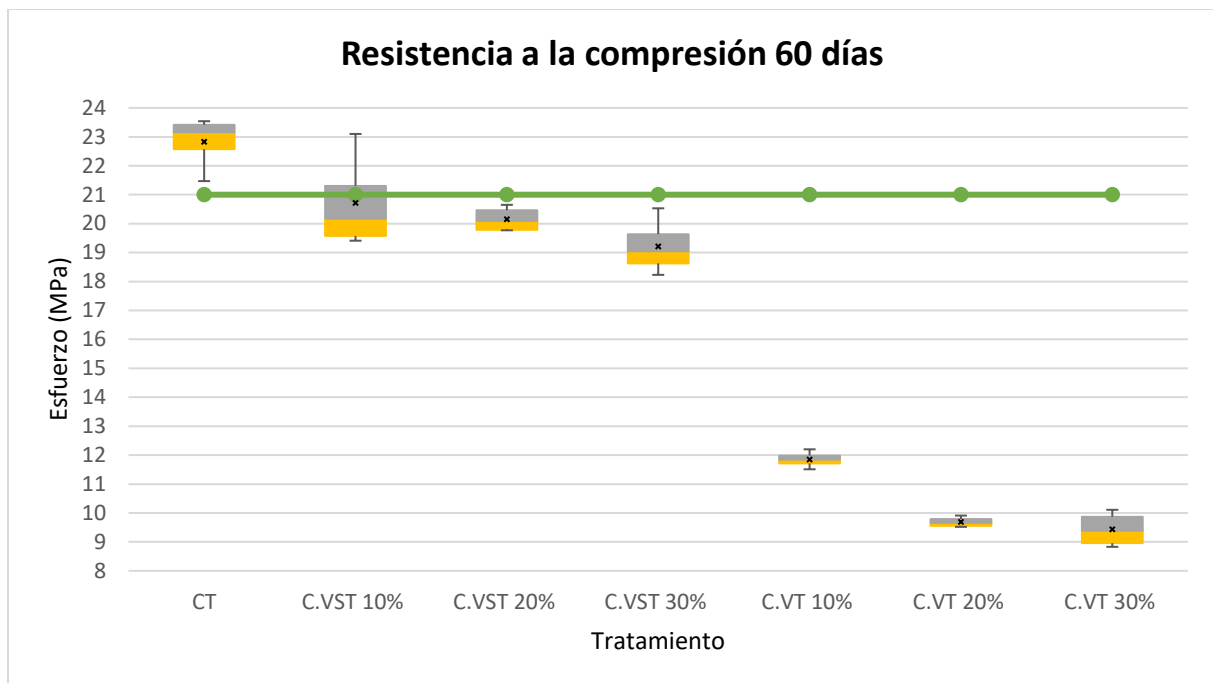
4.1.4. Resistencia a la compresión a los 60 días

En la Tabla 16 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión a los 60 días del concreto testigo y los seis tratamientos, en ellos se observa que el CT sigue teniendo un promedio mayor, seguido por C.VST 10%, y el menor, como en todas las edades fue el C.VT 30%.

Tabla 16. Resultados de la resistencia a la compresión a los 60 días.

No. De ensayos	Resistencia a la compresión a los 60 días (MPa)						
	CT	C.VST 10%	C.VST 20%	C.VST 30%	C.VT 10%	C.VT 20%	C.VT 30%
1	23,54	23,1	20,4	19,34	12,2	9,57	10,11
2	22,94	19,63	19,77	20,53	11,51	9,52	8,83
3	21,47	19,41	20,65	18,76	11,91	9,75	9
4	23,37	20,71	19,8	18,23	11,78	9,91	9,79
Promedio	22,83	20,71	20,16	19,22	11,85	9,69	9,43

Según la gráfica 7, muestra que CT tiene un aumento mínimo en su resistencia respecto a la edad de 28 días. Por otro lado, el tratamiento C.VST 10% muestra un incremento un poco mayor que el C.VST 20%, a diferencia de las edades de 14 y 28 días, donde el aumento fue más significativo en el C.VST 20%. En cuanto al tratamiento C.VST 30% presenta un aumento más considerable y se acerca más a la resistencia que fue diseñado. Los tratamientos de viruta tratada C.VT 10%, C.VT 20% y C.VT30% presentan aumentos muy pocos significativos, como se analizó en todas las edades.



Gráfica 7. Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 60 días.

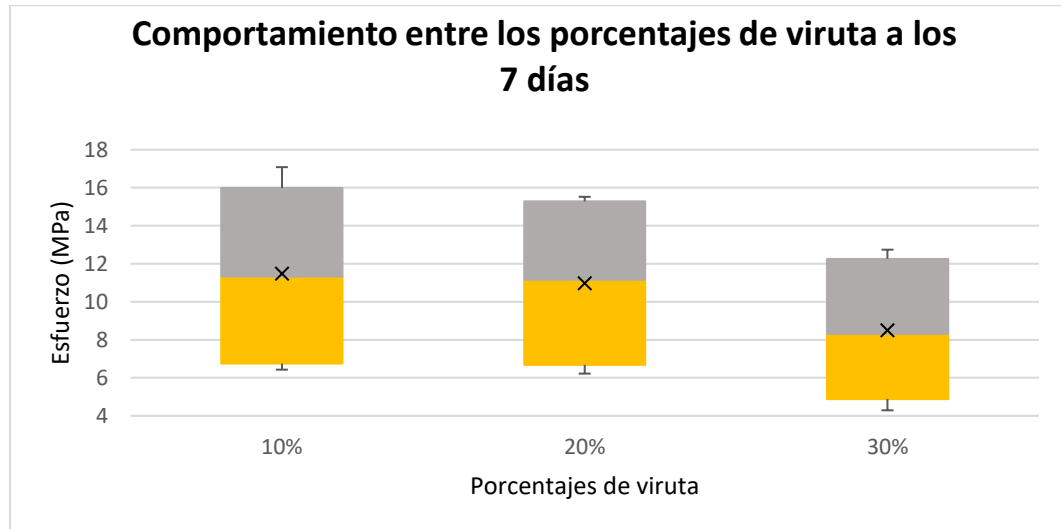
Teniendo en cuenta que el 100% de la resistencia es 21MPa y a los 60 días, según (Pinto, 2023), se espera el 100%, evaluando cada uno se obtiene que solo CT sigue cumpliendo con ello, y los cilindros con viruta que no cumplen lo esperado pero se acercan a la resistencia esperada son: C.VST 10% con 98,63%, C.VST 20% con 96%, C.VST 30% con 91,5%; mientras que los concretos con resistencias muy bajas siguen siendo C.VT 10% con 56,4%, C.VT 20% con 46,13% y C.VT 30% con 45%.

4.2. Diseño experimental

Para cada una de las edades (7, 14, 28 y 60 días) y con el fin de observar el efecto de la viruta de acero en el concreto, se analizó el comportamiento entre los diferentes porcentajes de viruta de acero, como también la influencia de la viruta sin tratar ST y viruta tratada T en el concreto, se realizó un análisis multifactorial de los factores (porcentajes y estado) y la interacción entre los factores por medio de la prueba de HSD Tukey.

4.2.1. A los 7 días

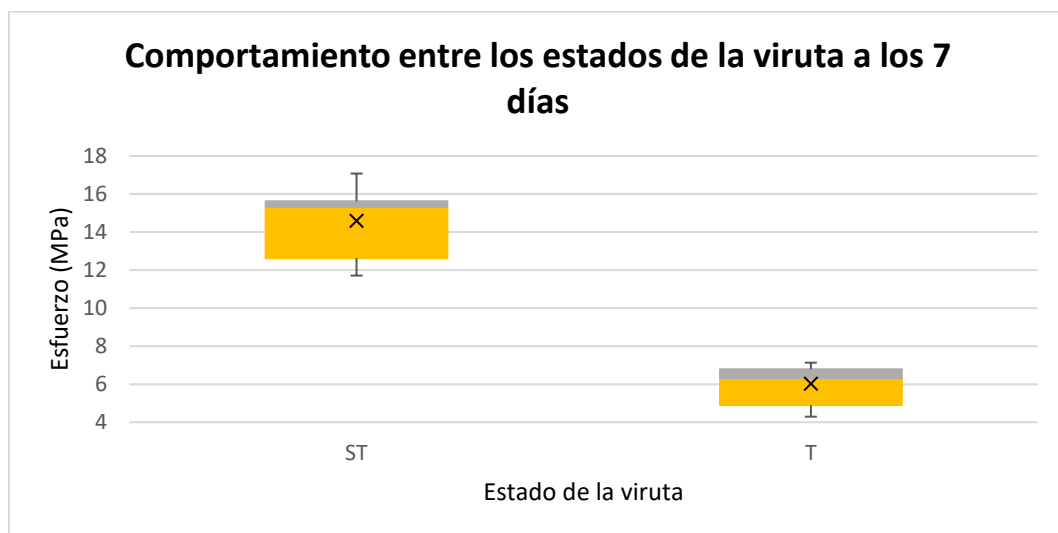
Gráfico por factor: Porcentajes



Gráfica 8. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 7 días.

En la Gráfica 8, se puede observar que a medida que el porcentaje de viruta en la mezcla de concreto aumenta, el esfuerzo a compresión disminuye. Aunque entre el 10% y el 20% la diferencia en el esfuerzo es mínima, registrando valores de 11.47MPa y 10.98MPa, respectivamente; para el 30% fue de 8.49MPa.

Gráfico por factor: Estados



Gráfica 9. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 7 días.

En la Gráfica 9, se muestran los estados que van desde sin tratamiento o sin limpieza de la viruta (ST) y con tratamiento o limpieza de la viruta (T). Se puede evidenciar que los valores más altos de resistencia a la compresión se obtuvieron para los concretos con virutas sin ningún tipo de limpieza, obteniendo resistencias promedias de 14.59MPa, en cambio los concretos con virutas tratadas con jabón Green Power dieron como resultados resistencias a la compresión promedios bastante bajas, alrededor de 6.03MPa. Esto se debe a un aumento de volumen en el concreto con viruta tratada, observando una expansión debido a las presiones internas por una reacción química.

Análisis multifactorial

Tabla 17. Anova multifactorial a los 7 días.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)	
Porcentaje	2	40,73	20,36	118,496	4,352E-11	***
Estado	1	439,56	439,56	2557,69	2,20E-16	***
Porcentaje: Estado	2	3,77	1,89	10,979	0,0007639	***
Residuals	18	3,09	0,17			

Al observar el Anova Multifactorial, se puede constatar que los p-value de los factores y las combinaciones entre estos es inferior a 0.05, lo que nos cerciora en rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias entre las medias de los esfuerzos a compresión entre los factores y entre las combinaciones de los factores y concluimos que si existen diferencias significativas.

Interacción entre los factores, HSD de Tukey

Se realizó la interacción entre los 2 factores, en este caso, las pruebas por pares sobre los 6 posibles tratamientos del experimento de la siguiente manera:

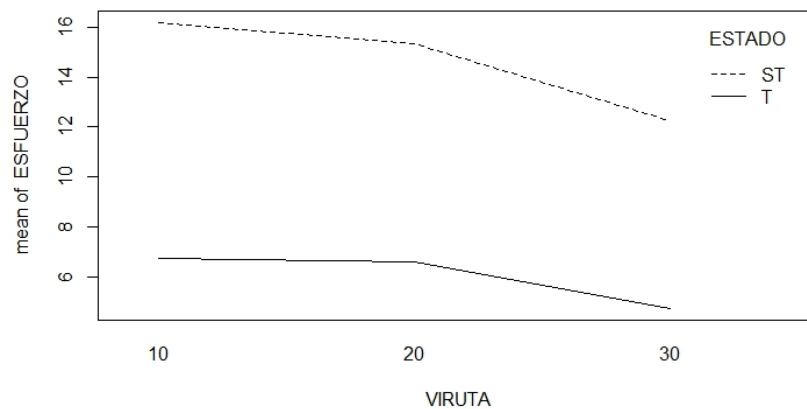
Tabla 18. Prueba HSD de Tukey a los 7 días.

Combinación	Esfuerzo (MPa)	Groups*
10%: ST	16,18	a
20%: ST	15,35	a
30%: ST	12,25	b
10%: T	6,76	c
20%: T	6,6	c
30%: T	4,74	d

*Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

Al observar la Tabla 18, las combinaciones que dieron los mejores valores de resistencia a la compresión fueron los de 10% de viruta sin tratamiento con una resistencia promedio a la compresión de 16.18MPa, en cambio el resultado más bajo se obtuvo con 30% de viruta tratada con una resistencia promedio de 4.74MPa.

Gráfico de interacciones

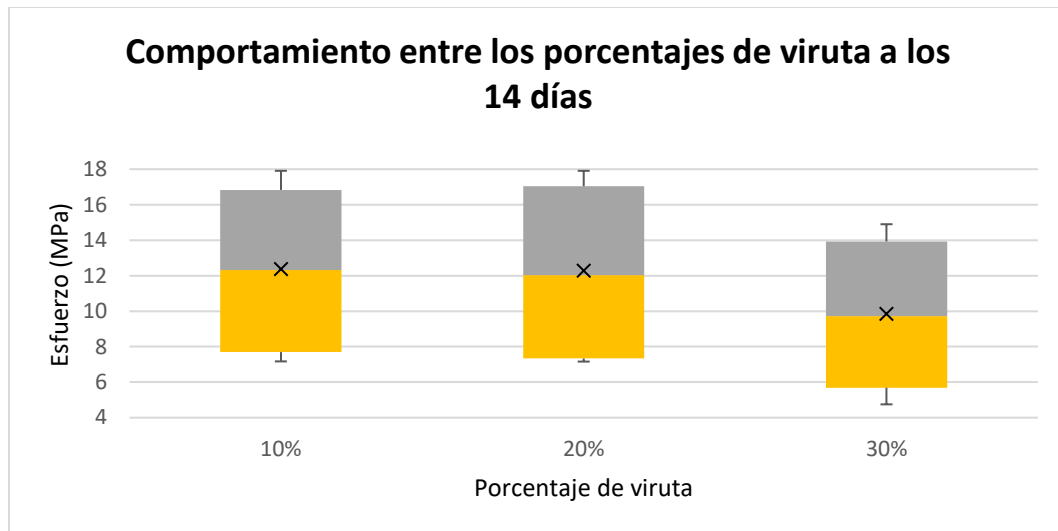


Gráfica 10. Interacción entre los factores porcentaje de Viruta – Estado

En la Gráfica 10, se puede observar la relación inversa que hay entre resistencia a la compresión y el porcentaje de viruta, además, se aprecia como la viruta que ha sido tratada presenta los resultados más bajos de la resistencia a la compresión. En cuanto la interacción entre los factores porcentaje de viruta y estado, ambos presentan la misma tendencia, que a mayor porcentaje de viruta menor la resistencia.

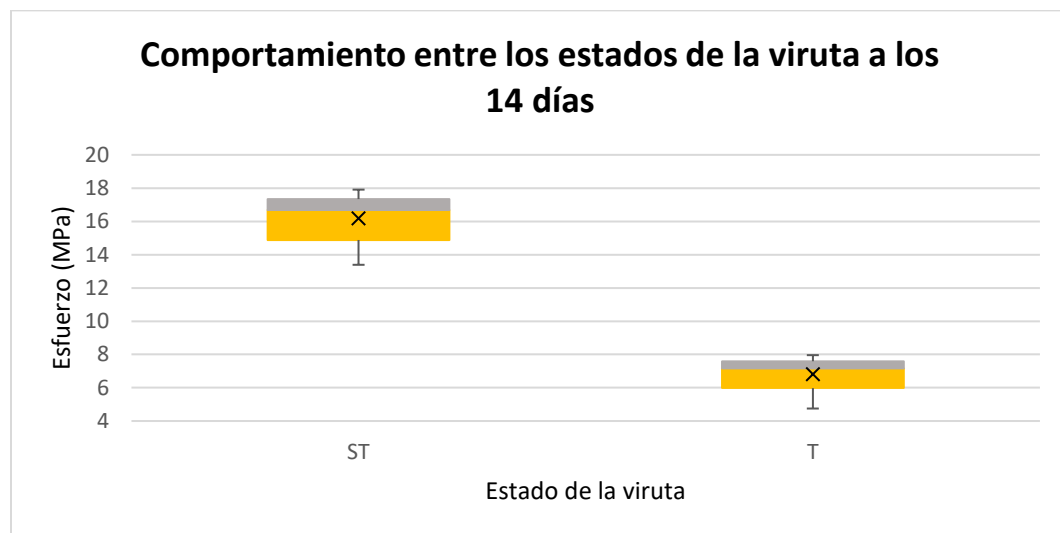
4.2.2. A los 14 días

Gráfico por porcentaje



Gráfica 11. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 14 días.

En la Gráfica 11, se puede observar el mismo comportamiento que se presentó a los 7 días, los valores más altos de la resistencia se obtienen para los porcentajes de 10% y 20% y el más bajo para el 30%. Los resultados promedios de la resistencia a la compresión de los porcentajes de 10% y 20% siguen estando muy cercanos 12.37MPa y 12.27MPa respectivamente, en cambio el valor del 30% de viruta es de 9.84MPa.



Gráfica 12. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 14 días.

En la Gráfica 12, se mantiene el mismo comportamiento presentado a los 7 días, donde sin tratamiento se obtiene el valor más alto de resistencia a la compresión con un promedio de

16.17MPa, en cambio con tratamiento presenta el valor más bajo de resistencia con 6.81MPa, debido al comportamiento anormal del concreto, donde se vio reflejado un aumento de volumen en la mezcla y una mala cohesión en él (Estos comportamientos se ven reflejados en el apartado 4.4 Análisis fotográfico).

Análisis multifactorial

Tabla 19. Anova multifactorial a los 14 días.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)	
Porcentaje	2	32,81	16,4	51,64	3,49E-08	***
Estado	1	526,13	526,13	1656,39	2,20E-16	***
Porcentaje: Estado	2	1,51	0,76	2,377	0,1212	
Residuals	18	5,72	0,32			

Al observar el Anova Multifactorial de la Tabla 19, se puede constatar que los p-value de los factores es inferior a 0.05, lo que nos cerciora en rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias entre las medias de los esfuerzos a compresión entre los factores y concluimos que si existen diferencias significativas. Mientras que en la combinación de factores Porcentaje: Estado no hay diferencias significativas.

Interacción entre los factores, HSD de Tukey

Se realizó la interacción entre los 2 factores, en este caso, las pruebas por pares sobre los 6 tratamientos del experimento de la siguiente manera:

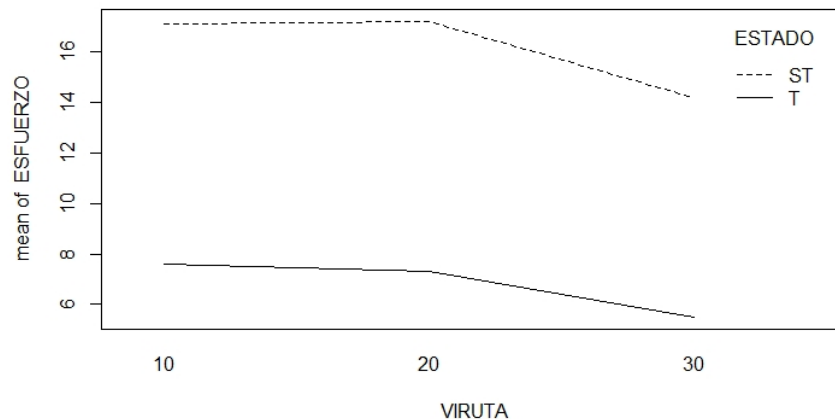
Tabla 20. Prueba HSD de Tukey a los 14 días.

Combinación	Esfuerzo (MPa)	*Groups
20%: ST	17,22	a
10%: ST	17,13	a
30%: ST	14,19	b
10%: T	7,61	c
20%: T	7,33	c
30%: T	5,5	d

*Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la Tabla 20, la combinación que mayor resistencia a la compresión promedio dio fue la del 20% sin tratamiento con un valor de 17.22MPa, y la de menor valor sigue siendo la misma que nos dio a para los 7 días que fue la combinación del 30% con tratamiento con un valor de resistencia de 5.5MPa.

Gráfico de interacciones

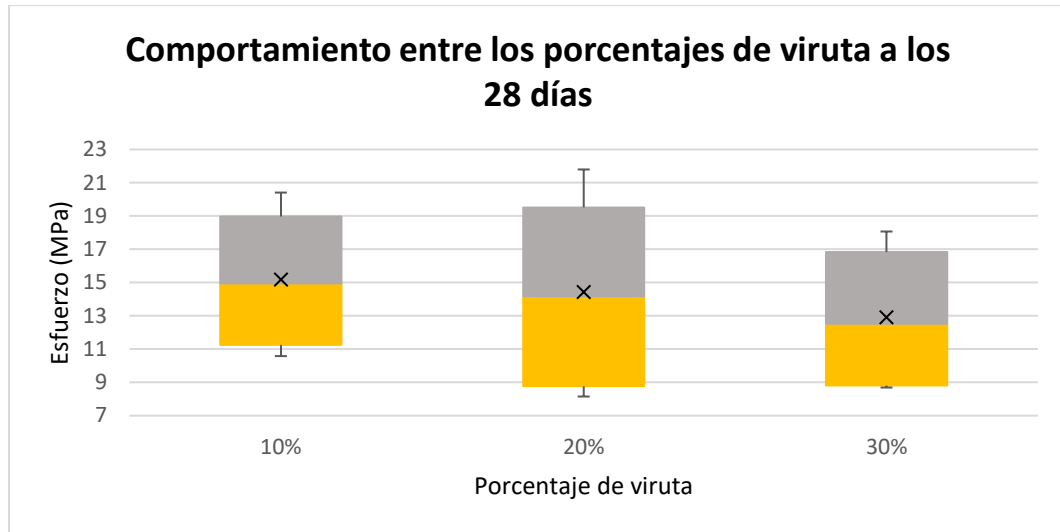


Gráfica 13. Interacción entre los factores porcentaje de viruta – estado a lo 14 días.

En la Gráfica 13, se puede observar que se mantiene la relación inversa entre la resistencia a la compresión y el porcentaje de viruta, pero es importante destacar que entre el 10% y 20% de viruta sin tratamiento (ST), esta relación no es evidente, a diferencia de lo observado a los 7 días, donde un mayor porcentaje de viruta reducía la resistencia. Para el caso del 30%, esta relación inversa se hace evidente nuevamente.

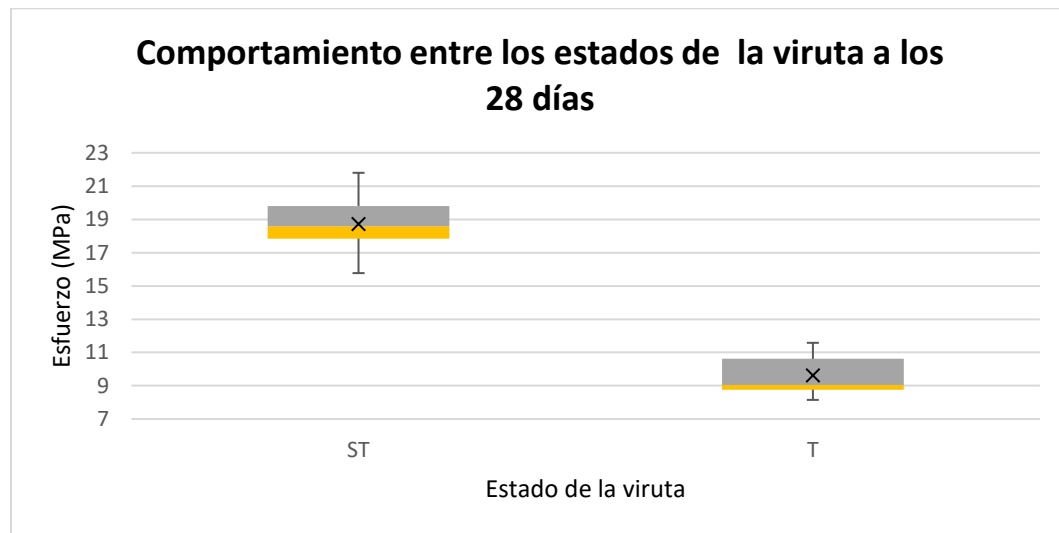
4.2.3. A los 28 días

Gráfico por porcentajes



Gráfica 14. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 28 días.

En la Gráfica 14, se sigue observando la misma tendencia que presentan las edades de 7 y 14 días, los concretos con 10% y 20% de viruta siguen siendo los más altos con promedios de resistencia a la compresión de 15.17MPa y 14.43MPa; Los resultados más bajos se observan en los concretos con un 30% de viruta, con un promedio de 12.90MPa, destacando que este porcentaje experimentó el mayor aumento en comparación con los otros porcentajes en la edad de 14 días.



Gráfica 15. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 28 días.

En la Gráfica 15, se muestra que la tendencia del comportamiento de los estados de viruta persiste, donde la viruta sin tratar obtiene la resistencia a la compresión más alta con un promedio de 18.72MPa, y la viruta tratada la resistencia disminuye bastante con un promedio de 9.62MPa.

Análisis multifactorial

Tabla 21. Anova multifactorial a los 28 días.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)	
Porcentaje	2	21,44	10,72	13,25	0,00029	***
Estado	1	496,41	496,41	616,38	2,337E-15	***
Porcentaje: Estado	2	11,45	5,72	7,074	0,0054	**
Residuals	18	14,57	0,81			

Al observar el Anova Multifactorial de la Tabla 21, se puede constatar que los p-value de los factores es inferior a 0.05, lo que nos cerciora en rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias entre las medias de los esfuerzos a compresión entre los factores y entre las combinaciones de los factores, y concluimos que si existen diferencias significativas.

Interacción entre los factores, HSD de Tukey

Se realizó la interacción entre los 2 factores, en este caso, las pruebas por pares sobre los 6 tratamientos del experimento de la siguiente manera:

Tabla 22. Prueba HSD de Tukey a los 28 días.

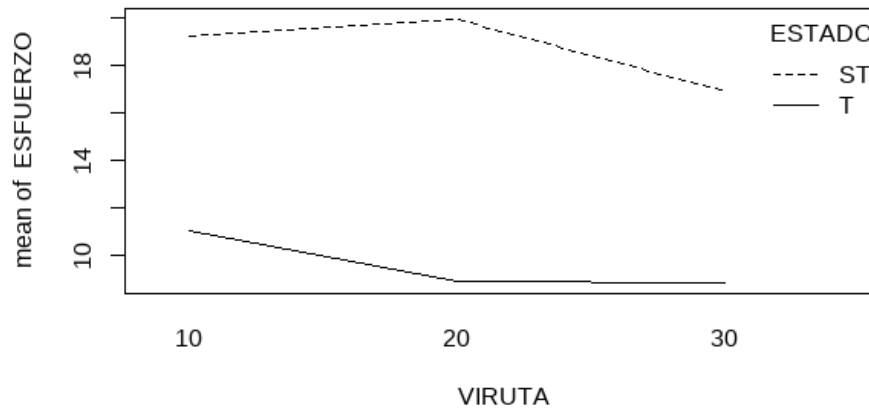
Combinación	Esfuerzo (MPa)	*Groups
20%: ST	19,96	a
10%: ST	19,27	a
30%: ST	16,93	b
10%: T	11,08	c
20%: T	8,91	c
30%: T	8,89	d

*Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la Tabla 22, la combinación que mayor resistencia a la compresión promedio dio fue la de 20% sin tratamiento con un valor de 19.96MPa, la misma a los 14 días, y la de menor valor

sigue siendo la misma que nos dio a para los 7 días que fue la combinación del 30% con tratamiento con un valor de resistencia de 8.89MPa.

Gráfico de interacciones

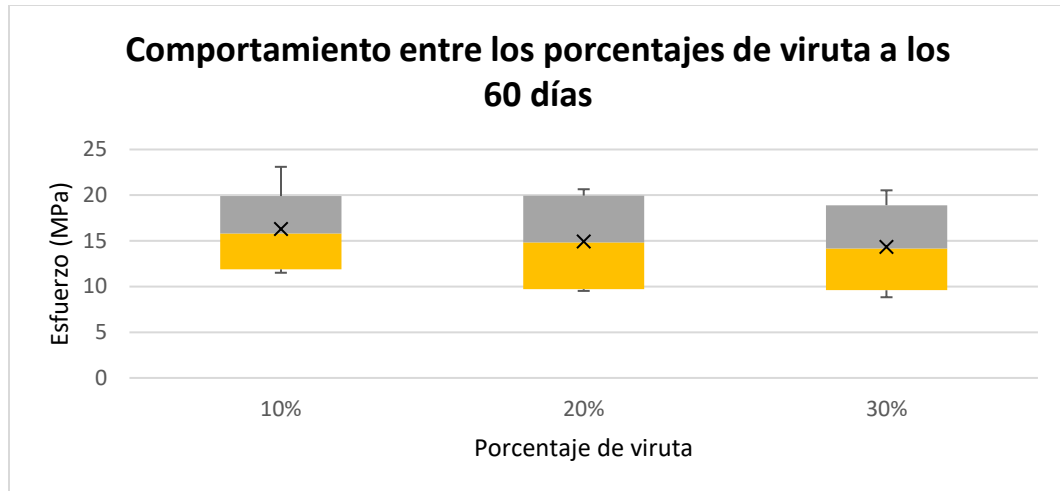


Gráfica 16. Interacción entre los factores porcentaje de viruta – estado a lo 28 días.

En la Gráfica 16, se puede observar que en la viruta sin tratar tiene un aumento de resistencia cuando se aumenta el porcentaje de viruta del 10% al 20%, obteniendo una relación directamente proporcional, pero cuando se aumenta la viruta al 30% presenta una disminución de resistencia. En el estado de viruta tratada se mantiene la misma relación inversamente proporcional que se viene evidenciando en las edades 7 y 14 días, que al aumentar la cantidad de viruta disminuye la resistencia.

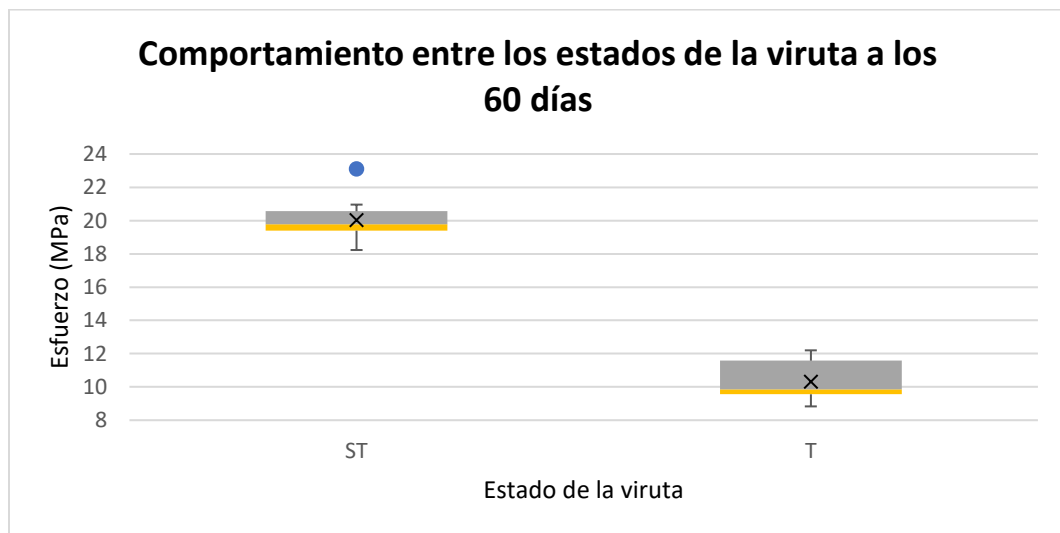
4.2.4. A los 60 días

Gráfico por porcentaje



Gráfica 17. Comportamiento entre los porcentajes de viruta a los 60 días.

En la Gráfica 17, se ve reflejado que los concretos que contienen un 10% de viruta de acero alcanzan resistencias a la compresión más elevadas, con un promedio de 16.28 MPa, esta tendencia se mantiene constante en todas las edades evaluadas. Por otro lado, los concretos que incluyen un 20% y un 30% de viruta de acero tienen resistencias a la compresión muy similares, con un promedio de 14.92MPa y 14.32MPa, respectivamente. Además, se observa que entre las edades de 28 y 60 días, los concretos con un 30% de viruta de acero experimentaron un incremento de 1.9MPa en su resistencia, en comparación del 20% que tan solo fue de 0.11MPa.



Gráfica 18. Comportamiento entre los estados de la viruta a los 60 días.

En la Gráfica 18, se destaca la viruta sin tratar (ST) en vista de que presenta los resultados más altos de resistencia a la compresión con un promedio de 20.03MPa y un dato atípico de 23.10MPa. La viruta tratada (T) presenta valores muy bajos con un promedio de 10.32MPa, comprobando que la expansión del concreto en este tratamiento afectó todas las edades, ocasionando una disminución de resistencia muy significativa.

Análisis multifactorial

Tabla 23. Anova multifactorial a los 60 días.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)	
Porcentaje	2	16,10	8,05	10,696	0,000868	***
Estado	1	565,03	565,03	150,66	3,969E-16	***
Porcentaje: Estado	2	2,59	1,30	1,72	0,2066	
Residuals	18	13,55	0,75			

Al observar el Anova Multifactorial de la Tabla 23, se puede constatar que los p-value de los factores es inferior a 0.05, lo que nos cerciora en rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias entre las medias de los esfuerzos a compresión entre los factores y concluimos que si existen diferencias significativas. Mientras que en la combinación de factores Porcentaje: Estado, arroja un valor mayor a 0.05, indicando que no hay diferencias significativas.

Interacción entre los factores, HSD de Tukey

Se realizó la interacción entre los 2 factores, en este caso, las pruebas por pares sobre los 6 tratamientos del experimento de la siguiente manera:

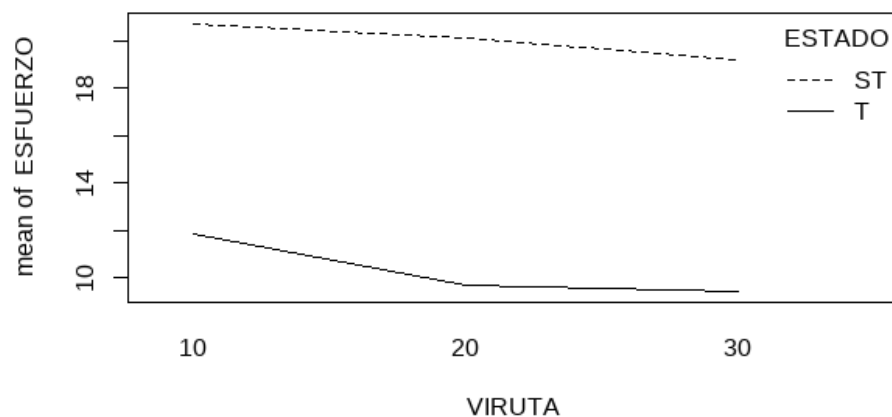
Tabla 24. Prueba HSD de Tukey a los 60 días.

Combinación	Esfuerzo (MPa)	*Groups
10%: ST	20,71	a
20%: ST	20,16	a
30%: ST	19,22	a
10%: T	11,85	b
20%: T	9,69	c
30%: T	9,43	d

*Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la Tabla 25, se observa algo muy diferente a las demás edades, y es que las combinaciones de 10, 20 y 30 % de viruta sin tratar (ST) presentan datos promedios muy cercanos, todos tienen la misma letra. Por otro lado la combinación de 10% de viruta sin tratar presenta los datos más altos, diferente a las edades 14 y 28 días que los presentaba la combinación de 20% de viruta sin tratar (ST). El valor más bajo, al igual que las edades pasadas sigue siendo el mismo 30% de viruta tratada con jabón industrial.

Gráfico de interacciones



Gráfica 19. Interacción entre porcentaje– estado de viruta a los 60 días.

En la Gráfica 19, se ve reflejado en el estado de viruta sin tratar (ST) una recta que va decreciendo con una magnitud poco notable a medida que aumenta la cantidad de viruta. La viruta tratada (T) presenta el mismo comportamiento en todas las edades.

A partir de los residuales del modelo comprobaremos si el modelo ANOVA es adecuado. En los Anexos C vemos los supuestos residuales para los 7, 14, 28 y 60 días que cumplen su test (Supuesto de normalidad, homocedasticidad y supuesto de independencia).

4.3. Peso de cilindros

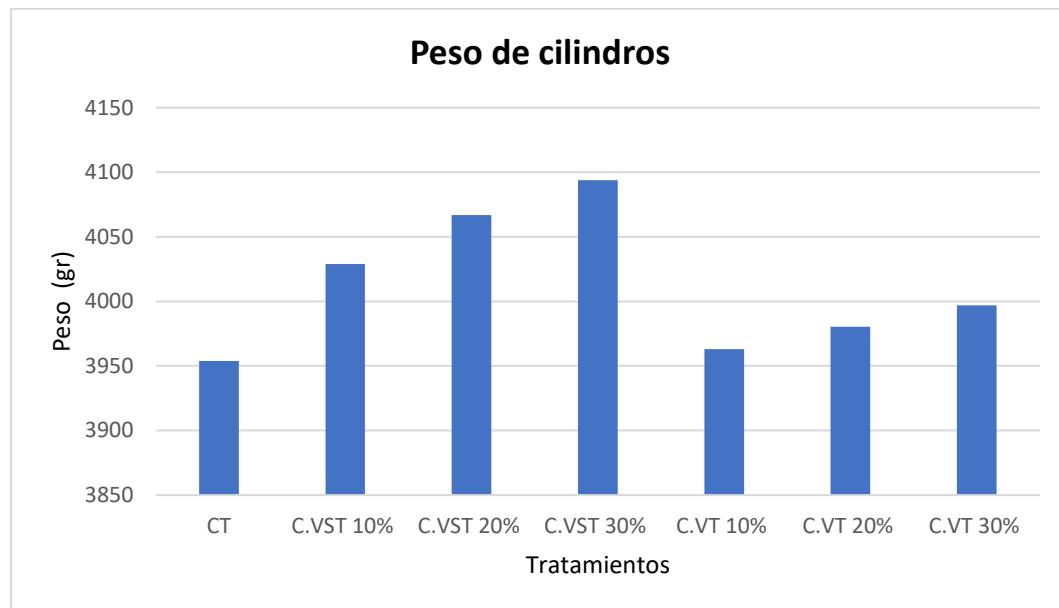
Estos datos son fundamentales para determinar cómo cambia el peso debido a la viruta de acero sustituida por la arena. Se tomaron los promedios de cada edad para poder ser analizados.

Tabla 25. Peso (gr)

	CT	C.VST 10%	C.VST 20%	C.VST 30%	C.VT 10%	C.VT 20%	C.VT 30%
7 días	3950	4033,5	4063,5	4082,25	3919	3933	3971,5
14 días	3969,5	4026	4064	4094,25	3930,75	3932,75	3920,75
28 días	3941,75	3995	4091	4079,5	4022,5	4042,25	4049,5
60 días	3953,75	4061,25	4049	4119,25	3980,25	4013,5	4046,5
Promedio	3953,75	4028,94	4066,88	4093,81	3963,125	3980,38	3997,06

Se observa en la Tabla 25, los pesos obtenidos en los tratamientos, y se analizó que, a mayor porcentaje de viruta, aumenta el peso del concreto, es decir la cantidad de viruta es directamente proporcional con el peso.

A continuación, se presenta un diagrama de barras con el promedio final para cada tratamiento.



Gráfica 20. Diagrama de barras peso de cilindros

La Gráfica 20 muestra que el aumento en la cantidad de viruta se refleja en un aumento del peso del concreto. Sin embargo, en el caso del C.VT (viruta de acero tratada), el incremento de peso es menor en comparación con el C.VST (viruta de acero sin tratar). Este fenómeno se debe a la expansión experimentada por el C.VT, lo que ocasiona una disminución de su peso debido a la formación de poros internos como resultado de una reacción química.

4.4. Análisis fotográfico

Mediante este análisis, se obtiene una perspectiva del estado interior del concreto y su comportamiento o falla al someterlo a esfuerzos a la compresión.

A continuación, se muestra en la Ilustración 16 la falla que tuvo el cilindro testigo.

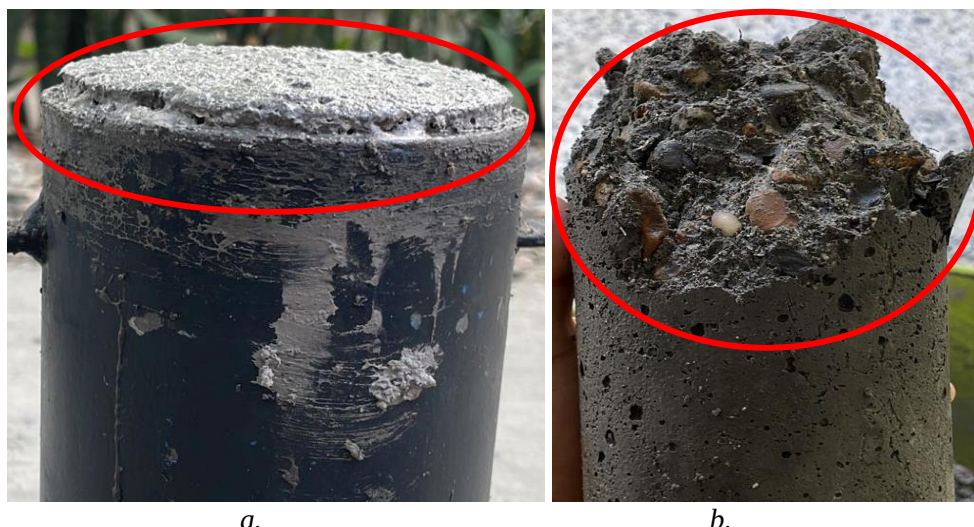


Ilustración 16. a. Cilindros testigo – b. Cilindros con viruta de acero sin tratar.

En la Ilustración 16.a, se observa el cilindro testigo con falla tipo columnar y transversal, el concreto internamente no presenta poros que puedan afectar considerablemente su resistencia y sus agregados están bien adheridos, es decir que presenta buena cohesión.

En la ilustración 16.b, se puede evidenciar que los concretos con sustitución de viruta sin tratamiento (C.VST) presenta fallas tipo columnar y transversal. Además, no presenta una cohesión deseada, lo que resulta un desmorone de los agregados o pasta de cemento. Esto se debe a los fluidos de corte en la viruta de acero, que contienen emulsiones aniónicas con sulfato de sodio (Na_2SO_4), provocando una reacción de ataque de sulfatos que afecta la cohesión del concreto. (Londoño, 2023).

A continuación, se muestra en la Ilustración 17, la cual presenta el concreto con sustitución de viruta de acero tratada.



a.
Ilustración 17. Cilindros con viruta tratada.

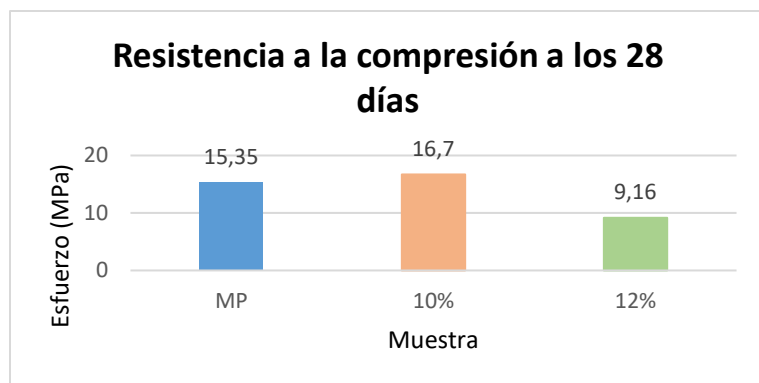
En la Ilustración 17, presenta una falla anormal, donde su quiebre se originó en la mitad (de manera horizontal) del cilindro de concreto debido a la mala cohesión y desmorone del mismo (Ilustración 17.b). Además, se observa el aumento de volumen que generó muchos poros en el interior del concreto (Ilustración 17.a), disminuyendo bastante su resistencia, debido a una alta concentración de sulfatos en la mezcla de concreto, puesto que la viruta de acero presenta mezclas de sustancias emulgentes aniónicas con sulfato de sodio (Na_2SO_4), al llevar el proceso de limpieza del fluido de corte con el jabón industrial Green Power y no retirar bien este jabón, se produjo un aumento de sulfatos en la mezcla de concreto porque el jabón limpiador presenta Dodecibencenosulfonato de sodio ($\text{C}_{18}\text{H}_{29}\text{NaO}_3\text{S}/\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$) como se mostró anteriormente en la Tabla 4.

Según (Londoño, 2023) “El ataque se presenta, cuando a través del agua, concentraciones relativamente altas de sulfatos entran en contacto con los compuestos hidratados de la pasta de cemento. Este contacto hace que se produzca una reacción química que genera expansión en la pasta y crea una presión capaz de romperla, afectando su resistencia mecánica del concreto debido a la cohesión de la pasta de cemento y adherencia entre la pasta-agregados”.

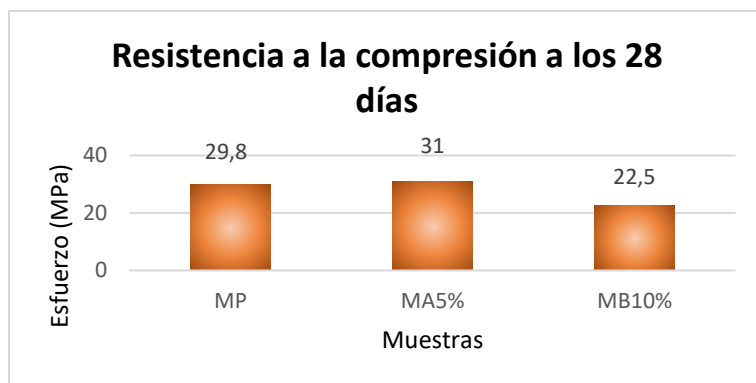
Discusión

Según (Angarita Pinzón & Rincón Gaona, 2017), se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión en cilindros y pruebas de flexión en vigas. Se identificó que al reemplazar el 10% de agregado fino por viruta de acero mostró un mejor comportamiento tanto en la resistencia a la compresión como en la flexión, en comparación con el 12%, que pudo verse afectado por la textura de la viruta de acero. Al comparar esta investigación con el estudio propio, se observa que la investigación anterior no logró cumplir con el diseño de mezcla propuesto, puesto que habían diseñado para alcanzar una resistencia de 21MPa, pero, como se muestra en la Gráfica 21.a, su Muestra Patrón (MP) no alcanzó ese valor requerido a los 28 días, obteniendo un promedio de 15,35MPa. Según su análisis, esto posiblemente se debió a que los agregados no cumplían con las recomendaciones granulométricas establecidas por la norma (NTC174). En contraste, en nuestra investigación, el concreto testigo cumplió con éxito el diseño de mezcla, logrando un promedio de 22,47MPa.

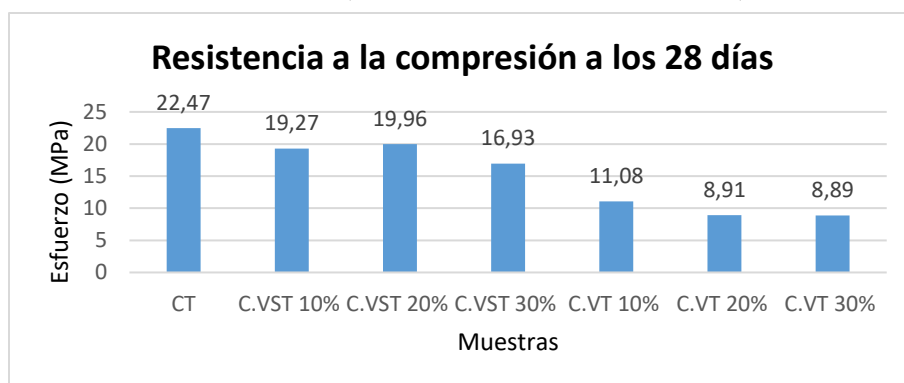
Además, al comparar los resultados de la sustitución del 10% de viruta de acero en ambas investigaciones, ambas presentaron un aumento considerable en sus resistencias, en el estudio previo con 16,7MPa y en la investigación propia con 19,27MPa. Sin embargo, en la investigación de Angarita Pinzón y Rincón Gaona, se nota una disminución significativa en la resistencia del tratamiento del 12% de sustitución de viruta de acero por agregado fino con respecto a la del 10%. En contraste, en nuestra propia investigación, entre el 10% y el 20% de sustitución se observan resultados muy cercanos entre sí y próximos al valor de diseño de mezcla de 21MPa, como se ilustra en la gráfica 21.c.



a. (Angarita Pinzón & Rincón Gaona, 2017)



b. (Gonzalez Ramos, 2018)



c. Elaboración propia

Gráfica 21. Comparación de los resultados de la resistencia a la compresión.

Según (Gonzalez Ramos, 2018), se determinó que el concreto con mejores resultados, comparado con la muestra patrón (MP), fue el concreto diseñado con sustitución de viruta de acero al 5%, tanto como para compresión como para flexión, alcanzando la resistencia de diseño esperada ($250\text{kg/cm}^2 \approx 25\text{MPa}$), a diferencia de la del 10%, como se muestra en la Gráfica 21.b.

En esta investigación se encontró que solamente la muestra patrón (MP) y la mezcla con un 5% de adición de viruta de acero cumplieron con el diseño esperado; en el caso de la mezcla con un 10% de viruta de acero, no se alcanzaron los niveles de resistencia requeridos, esta disminución de resistencia probablemente se debió a la falta de información detallada sobre el tamaño de las partículas de viruta de acero utilizadas.

Comparando la investigación de González Ramos con la elaboración propia se puede decir que en la sustitución del 10% de viruta de acero, no cumplieron con lo esperado en ambas

investigaciones, pero fueron cercanas al diseño, cabe resaltar que en la elaboración propia el 20% de sustitución de viruta de acero también tuvo resultados próximos al diseño.

Capítulo V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

De acuerdo al diseño de mezcla realizado según el método propuesto por el instituto americano de concreto (ACI) descrito en el ACI 211.1, del cual se obtuvieron resultados a compresión muy buenos para el concreto testigo, es decir que cumplieron su resistencia esperada para cada edad propuesta. Pero para el concreto con viruta de acero sin tratar (C.VST) sus resultados no cumplieron con la resistencia que fue diseñado, sin embargo, fueron muy próximos a su diseño a la edad de 60 días, C.VST 10 con 98,63%, C.VST 20 con 96% y C.VST 30 con 91,5%, teniendo en cuenta que se evidencio cohesión no muy buena internamente en el concreto.

Al igual que la viruta sin tratar (VST), la viruta tratada (VT) presentó ataque de sulfatos en la pasta de cemento, pero en cantidades mayores, debido al jabón desengrasante que no fue retirado por completo y ocasionó exceso de sulfatos, afectando su resistencia de manera drástica por el aumento de volumen y cohesión del concreto. Sus resultados máximos a la compresión se presentaron en la edad de 60 días, C. VT 10 con 56,4%, C. VT 20 con 46,13% y C. VT 30 con 45%.

Al comparar todos los resultados obtenidos, se concluyó que los tratamientos de viruta sin tratar (VST) de 10% y 20% de sustitución por agregado fino no presenta mayor diferencia en los resultados a compresión de uno al otro.

Por lo dicho anteriormente en el capítulo IV, y analizando como el ataque de sulfatos afecto la pasta de cemento, no podemos seleccionar con exactitud cuál tratamiento es mejor (viruta tratada

o viruta sin tratar) porque todo esto depende de la contaminación o fluido de corte que lleve consigo la viruta en los procesos de mecanizado. Pero si podemos concluir que en esta investigación el mejor estado es el concreto con viruta sin tratar.

Analizando y respondiendo la pregunta en la formulación del problema, ¿es la viruta de acero una alternativa viable como material que permita sustituir parcialmente el agregado fino en el concreto para ser usados como materiales de construcción sostenible?, la respuesta es SI, siempre y cuando se verifique que esté completamente libre de fluidos contaminantes que afecten la reacción química del cemento, porque aun con presencia de sulfatos y afectando la cohesión del concreto se comprobó unos resultados muy cercanos al diseño.

5.2.Recomendaciones

En investigaciones futuras relacionadas con la utilización de viruta de acero, es importante considerar la presencia de sulfatos provenientes de los fluidos de corte y del jabón limpiador.

Tal como se demostró en el presente estudio, la viruta de acero contiene fluidos de corte que, a su vez, contienen sulfatos. Cuando estos sulfatos reaccionan con la mezcla de concreto, su impacto es adverso, conduciendo a un aumento del volumen del concreto, lo que resulta en su expansión y una disminución de su resistencia.

Al usar el jabón limpiador para retirar el fluido de corte, se aconseja verificar que este sea retirado completamente de la viruta, dado que las sustancias que contienen estos desengrasantes también resultan aportar sulfatos. Altas concentraciones de sulfatos en la mezcla del concreto pueden dañar su calidad y durabilidad, especialmente su resistencia.

Por otro lado, se recomienda ver el comportamiento del concreto a mayor edad, dado que en la investigación realizada se evidencio un incremento en la resistencia a los 60 días, y posterior a esto analizar el estado de corrosión en la viruta de acero.

Así mismo, se sugiere aplicar este estudio de sustitución de agregado fino por viruta de acero en diferentes tipos de concreto, mortero y ver cuál es la mejor opción que se beneficia de este material reciclado.

Bibliografía

- 123RF. (2023). *Virutas de acero. Antecedentes de la creatividad del diseñador*. Obtenido de https://es.123rf.com/photo_59565527_virutas-de-acero-antecedentes-de-la-creatividad-del-dise%C3%B1ador.html
- ANEFHOP. (Octubre de 2021). *La producción de hormigón crece un 23% en el segundo trimestre de 2021*.
- Angarita Pinzón, P. A., & Rincón Gaona, H. J. (2017). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto con viruta de acero en porcentajes de 10% y 12% respecto al agregado fino de la mezcla*. Ocaña.
- CEMEX. (2022). *Cemento Hidráulico Uso General*. Obtenido de <https://www.cemexcolombia.com/productos/cementos/cemento-gris/uso-general>
- Chan Yam, J. L., Solís Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2003). *Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto*.
- Cordero Estevez, G. D., Cárdenas Gutiérrez, J. A., & Rojas Suarez, J. P. (2018). *Diseño de mezclas de concreto aplicando el metodo ACI*. Bogotá.
- Corona Zazueta, M. A. (1997). *Concretos dosificados con cemento portland y ceniza volante*. Universidad de Sonora, México.
- DANE. (2022). *Estadísticas de Concreto Premezclado*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-concreto-premezclado>

DECRETO 4741. (30 de Diciembre de 2005). Bogotá D.C. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18718>

Delgado Rugeles, R. A., & Delgado Rugeles, E. D. (2008). *Mejoramiento de la resistencia a la flexión del concreto con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12% y 14% respecto al agregado fino de la mezcla*. Bucaramanga.

Ferros Planes. (3 de Junio de 2019). Obtenido de <https://ferrosplanes.com/que-es-mecanizado/>

Galeano, L. J. (2020). *Gestión de Calidad en Agregados Pétreos Naturales Extraídos de Canteras de*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37875/MazoGaleanoLeidyJohana2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Garg, H., & Satyaprakash. (2022). Durability of concrete made with steel filings as a replacement of fine. *Materials Today: Proceedings*, 3217-3221.

GCCA. (2021). *Futuro del Hormigón*. Obtenido de <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Overview-Spanish.pdf>

Gonzalez Ramos, E. M. (2018). *Evaluación de la viruta de acero como agregado fino para concreto estructural*. Caracas.

GTA, a. (2023). *El valor de los residuos*. Obtenido de <https://gtaambiental.com/beneficios-tratamiento-viruta-metalica/>

Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodriguez Valenciano, I., Rojas Vega, L. D., & Segura Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en marcha* |.

Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*.

- Gutiérrez, C. (2015). *Evaluación del comportamiento del concreto al que se ha reemplazado el agregado fino por viruta de acero*. Cusco-Perú.
- Guzman Hidalgo, C. M., & Garate Labajos, M. (2019). *Viruta de acero en la resistencia a la compresión y flexión del concreto*. Trujillo.
- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*.
- Hernández Sampieri, R., Collado Fernández, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). En *Metodología de la investigación*.
- Hidalgo, C. M., & Labajos, M. G. (2019). *Viruta de Acero en la Resistencia a la Compresión y Flexión del Concreto*. Trujillo - Perú.
- INDUSTRIAL, C. (s.f.). *GREEN POWER*. Obtenido de <https://www.crcindustrial.co/productos/green-power-1-gal/>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois, EE.UU: Portland Cement Association.
- Londoño, E. (2023). *360 EN CONCRETO*. Obtenido de Lo que debes de saber sobre el ataque de sulfato en el concreto.: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-concreto/#comments>
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). *Diseño de concreto reforzado*. (Décima ed.). Alpha.
- NTC 1377, (2021). *Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio*. ICONTEC.
- NTC 174, (2018). *Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto*. Bogotá D.C: ICONTEC.
- NTC 176, (2019). *Método para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso*. ICONTEC.

NTC 1776, (2019). Método de ensayo para determinar por secado el contenido de humedad total de los agregados. ICONTEC.

NTC 237, (2020). Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. ICONTEC.

NTC 3459, (2001). *Concretos. Agua para la elaboración de concretos*. Bogotá D.C: ICONTEC.

NTC 396, (2021). Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. ICONTEC.

NTC 673, (2021). *Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogotá D.C: ICONTEC.

NTC 77, (2018). Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. ICONTEC.

NTC 92, (2019). - Método de ensayo para la determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados. ICONTEC.

Pinto, A. (2023). *Ingenieria Real*. Obtenido de Blog de Ingeniería Civil & Tecnología: <https://ingenieriareal.com/resistencia-del-concreto-a-los-28-dias/>

Reyes Bautista, J. S., & Rodríguez Pineda, Y. A. (2010). *Análisis de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar limalla fina en un 3%, 4% y 5% respecto al peso de la mezcla*. Bucaramanga.

Rodriguez Carmona, E. (2015). *Disposición Final de la Viruta Metálica que Generan las Instituciones de la Educación Superior*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Satyaprakash, Helmand, P., & Saini, S. (s.f.). *Mechanical properties of concrete in presence of Iron filings as complete replacement of fine aggregates*. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.usco.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S2214785319307126>

Schey, J. A. (2002). *Procesos de manufactura* .

Anexos

Anexo A. Caracterización de los agregados

Anexo A.1. Ensayo de granulometría

Tabla 26. Análisis granulométrico del agregado fino.

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO							
Tamiz		Peso retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa	% que pasa (NTC 174)	
Pulgadas	Mm					Min	Max
1/2"	12,7	0	0	0	100	100	100
3/8"	9,525	0	0	0	100	100	100
N.4	4,76	19	0,53	0,53	99,47	95	100
N.8	2,38	535,5	14,90	15,43	84,57	80	100
N.16	1,19	986,5	27,46	42,89	57,11	50	85
N.30	0,595	1187	33,04	75,93	24,07	25	60
N.50	0,297	601	16,73	92,65	7,35	5	30
N.100	0,149	203	5,65	98,30	1,70	0	10
FONDO		61	1,70	100	0		
TOTAL		3593	100,00				
Peso muestra + tara		3683 gr					
Tara		89 gr					
Muestra inicial		3594 gr					
Muestra final		3593 gr					
Error de prueba		0,0278%					
Modulo de finura		3,26					

Tabla 27. Análisis granulométrico del agregado grueso

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO							
Tamiz		Peso retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa	% que pasa (NTC 174)	
Pulgadas	Mm					Min	Max
2"	50.8	0	0	0	100	100	100
1 1/2"	38,1	0	0	0	100	100	100
1"	25,4	202	5,011	5,011	94,99	90	100

3/4"	19,05	1382	34,284	39,295	60,70	40	85
1/2"	12,7	1746,5	43,327	82,622	17,38	10	40
3/8"	9,525	462	11,461	94,083	5,92	0	15
No. 4	4,76	187	4,639	98,722	1,28	0	5
No. 8	2,38	28,5	0,707	99,429	0,57	0	0
FONDO		16,5	0,409	100	0		
TOTAL		4031	100,00				
Peso muestra + tara		4121,5 gr					
Tara		89 gr					
Muestra inicial		4032,5gr					
Muestra final		4031 gr					
Error de prueba		0,0372%					
Tamaño máximo		1 ½”					
Tamaño máx nominal		1”					

Tabla 28. Análisis granulométrico de la viruta de acero.

GRANULOMETRIA DE LA VIRUTA DE ACERO							
Tamiz		Peso retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa	% que pasa (NTC 174)	
Pulgadas	Mm					Min	Max
1/2"	12,7	0	0	0	100	100	100
3/8"	9,525	0	0	0	100	100	100
N.4	4,76	6	0,57	0,57	99,43	95	100
N.8	2,38	172	16,38	16,95	83,05	80	100
N.16	1,19	319	30,38	47,33	52,67	50	85
N.30	0,595	366	34,86	82,19	17,81	25	60
N.50	0,297	182	17,33	99,52	0,48	5	30
N.100	0,149	5	0,48	100,00	0,00	0	10
FONDO		0,00	0,00	100	0		
TOTAL		1050	100,00				
Peso muestra + tara		1145 gr					
Tara		89 gr					
Muestra inicial		1056 gr					
Muestra final		1050 gr					
Error de prueba		0,5682%					
Modulo de finura		3,47					

Anexo A.2. Peso unitario de los agregados

Tabla 29. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

AGREGADO FINO		
Datos Iniciales		
Peso molde (gr)	4113	
Diámetro (cm)	10	
Altura (cm)	16,7	
Volumen (cm3)		1311,61
Peso de la Muestra	Suelta (gr)	Compactada (gr)
1	2113,5	2306
2	2131	2291,5
3	2130	2309,5
Promedio	2124,83	2302,3
PESO UNITARIO	Suelto	Compactado
(gr/cm3)	1,62	1,76
(kg/m3)	1620,01	1755,34

Tabla 30. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

AGREGADO GRUESO		
Datos Iniciales		
Peso molde (gr)	8872	
Diámetro (cm)	15	
Altura (cm)	23	
Volumen (cm3)		4064,44
Peso de la Muestra	Suelta (gr)	Compactada (gr)
1	6043	6643
2	6047	6528
3	6039	6598
Promedio	6043	6589,7
PESO UNITARIO	Suelto	Compactado
(gr/cm3)	1,49	1,62
(kg/m3)	1486,80	1621,30

Anexo A.3. Densidad y absorción del agregado fino y grueso

Tabla 31. Densidad y absorción del agregado fino.

AGREGADO FINO	
A (masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno) (gr)	491
B (es la masa del picnómetro lleno de agua) (gr)	818
S (es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca) (gr)	500
C (masa picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración)(gr)	1123,5
Densidad Aparente (gr/cm ³)	2,52
Densidad Aparente (sss) (gr/cm ³)	2,57
Densidad Nominal (gr/cm ³)	2,65
% Absorción	1,8%

Tabla 32. Densidad y absorción del agregado grueso.

AGREGADO GRUESO	
A (masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno) (gr)	4003,4
B (masa en el aire de la muestra de ensayo superficialmente seca) (gr)	4037,5
C (masa en el agua de la muestra de ensayo saturada) (gr)	2499
Densidad Aparente (gr/cm ³)	2,60
Densidad Aparente (sss) (gr/cm ³)	2,62
Densidad Nominal (gr/cm ³)	2,66
% Absorción	0,85%

Anexo B. Diseño de mezcla del concreto

A partir de los datos obtenidos en los métodos de ensayo de los materiales que componen el concreto, mostrados en la *Tabla 6. Resumen de dato de los agregados*, se realiza los siguientes pasos para la elaboración del diseño de mezcla para un concreto de 21MPa.

- Se calcula la resistencia promedio requerida (F'_{cr}), de acuerdo a la siguiente tabla, ya que se desconoce el valor de la desviación:

Tabla 33. Resistencia promedio requerida.

F'_c (kg/ cm ²)	F'_{cr} (kg/cm ²)
menos de 210	$F'_c + 70$
210-350	$F'_c + 84$
>350	$F'_c + 98$

Tomada de la Norma Sismo Resistente (NSR-10), Tabla C.5.3.2.2.

$$F'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

- Para estimar el contenido de aire, se tiene en cuenta la siguiente tabla y el TMN del agregado grueso.

Tabla 34. Contenido de aire de acuerdo al TMN del agregado grueso.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso.		Aire atrapado
Pulg	mm	
3/8"	9,51	3.0%
1/2"	2,50	2.5%
3/4"	19,10	2.0%
1"	25,40	1.5%
1 1/2"	38,10	1.0%
2"	50,80	0.5%
3"	76,10	0.3%
4"	152,40	0.2%

Tomando por el comité ACI 211,2002.

El TMN del agregado es 1" por lo tanto el aire atrapado es de 1.5%.

- Se determina el contenido de agua de acuerdo a la siguiente tabla, que está en función del asentamiento y el TMN.

Tabla 35. Contenido de agua.

Asentamiento	Agua, L/m ³ para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incluido								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
Concreto con aire incluido								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----

Tabla tomada por el comité ACI 211,2002.

Teniendo un TMN de 1" y un asentamiento de 3" - 4" el contenido de agua es de 193L/m³.

- Se selecciona la relación agua-cemento (a/c) teniendo en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 36. Relación a/c.

F'c (kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	-----

Tabla tomada por el comité ACI 211,2002.

La relación a/c para un f'_{cr} de 294 kg/cm² se determinó interpolando los datos de la tabla, obteniendo un valor de $a/c = 0.56$.

- Se calcula el contenido de cemento de acuerdo con los datos a obtenidos.

Agua para 1 m3	193
a/c	0.56

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{193 \text{ kg/m}^3}{0.56} = 345,63 \text{ kg/m}^3$$

- Se obtiene el dato de b/b_0 de acuerdo a la siguiente tabla, teniendo en cuenta el MF y el TMN.

Tabla 37. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso, Pulg	Volumen del agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de fineza del fino (b/b_0)			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

$$b/b_0 = 0.65$$

- Para determinar el volumen del agregado grueso se multiplica entre el peso unitario compactado y el valor de b/b_0 .

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 1621.30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.65 = 1053.84 \text{ kg/m}^3$$

- Se hallan los volúmenes restantes para 1 m^3 de concreto y sus demás componentes como: agua, cemento, aire y agregado grueso.

Tabla 38. Volumen de los demás componentes del concreto.

Cemento	0.110 m3
Agua	0.193 m3
Aire	0.015 m3
Volumen Agregado Grueso	0.402 m3
Suma Total	0.719 m3

$$\text{Volumen del agregado fino} = 1 \text{ m}^3 - 0.719 \text{ m}^3 = 0,281 \text{ m}^3$$

- Cálculo de peso del agregado fino

$$\text{Peso agregado fino} = \text{Volumen del agregado fino} * \text{Peso Especifico(sss)}$$

$$\text{Peso agregado fino} = 0,282 \text{ m}^3 * 2570.7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso agregado fino} = 721,61 \text{ kg}$$

- Teniendo el diseño de mezcla en estado seco, se ajustan los valores por corrección de humedad para así tener un diseño en estado húmedo.

$$\mathbf{Agregado\ fino = Fino_{seco} * (1 + humedad/100)}$$

$$\mathbf{Agregado\ fino = 721,61\ kg/m^3 * (1 + 2.04/100) = 736.33\ kg/m^3}$$

$$\mathbf{Agregado\ grueso = Grueso_{seco} * (1 + humedad/100)}$$

$$\mathbf{Agregado\ grueso = 1053,84kg/m^3 * \left(1 + \frac{0.58}{100}\right) = 1059,95\ kg/m^3}$$

- Aporte de agua a la mezcla.

$$\mathbf{Agregado\ fino = Peso\ agregado\ fino * \frac{(\%Humedad - \%Absorción)}{100}}$$

$$\mathbf{Agregado\ fino = 736.33\ kg/m^3 * \frac{(2.04-1.8)}{100} = 1,76\ kg/m^3}$$

$$\mathbf{Agregado\ grueso = Peso\ agregado\ grueso * \frac{(\%Humedad - \%Absorción)}{100}}$$

$$\mathbf{Agregado\ grueso = 1059,95\ \frac{kg}{m^3} * \frac{(0.58 - 0.85)}{100} = -2,86\ kg/m^3}$$

- Se suman ambos aportes de agua tanto de agregado fino como de agregado grueso.

$$1,76\ kg/m^3 + (-2,86\ kg/m^3) = -1,1\ kg/m^3$$

$$\mathbf{Agua\ efectiva = 193\ kg/m^3 - (-1,1\ kg/m^3) = 194,1\ kg/m^3}$$

Las proporciones del diseño se encuentran en la Tabla 10.

Anexo C. Supuestos residuales

Los supuestos que se deben cumplir son tres: independencia, homocedasticidad y normalidad.

Anexo C.1. Residuales para los 7 días

- Supuesto de normalidad

Tabla 39. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.

Shapiro – Wilk Normality Test	
W	0,9776
P – Value	0,848
Alpha	0,05

Hay normalidad

- Supuesto de varianza constante “homocedasticidad”

Tabla 40. Test de Breusch-Pagan.

Breusch Pagan	
Df	5
P – Value	0,17
Bp	7,69

Hay normalidad

- Supuesto de independencia

Tabla 41. Test Durbin Watson.

Durbin Watson – Test	
Dw	2,359
P – Value	0,4283

Hay normalidad

Anexo C.2. Residuales para los 14 días

- Supuesto de normalidad

Tabla 42. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.

Shapiro – Wilk Normality Test	
W	0,949

P – Value	0,267
Alpha	0,05

Hay normalidad

- Supuesto de varianza constante “homocedasticidad”

Tabla 43. Test de Breusch-Pagan.

Breusch Pagan	
Df	5
P – Value	0,457
Bp	19,29

Hay normalidad

- Supuesto de independencia

Tabla 44. Test Durbin Watson.

Durbin Watson – Test	
Dw	2,283
P – Value	0,3487

Hay normalidad

Anexo C.3. Residuales para los 28 días

- Supuesto de normalidad

Tabla 45. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.

Shapiro – Wilk Normality Test	
W	0,9813
P – Value	0,9188
Alpha	0,05

Hay normalidad

- Supuesto de varianza constante “homocedasticidad”

Tabla 46. Test de Breusch-Pagan.

Breusch Pagan	
Df	5
P – Value	0,09806
Bp	9,289

Hay normalidad

- Supuesto de independencia

Tabla 47. Test Durbin Watson.

Durbin Watson – Test	
Dw	2,0042
P – Value	0,1275

Hay normalidad

Anexo C.4. Residuales de los 60 días

- Supuesto de normalidad

Tabla 48. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.

Shapiro – Wilk Normality Test	
W	0,91
P – Value	0,435
Alpha	0,05

Hay normalidad

- Supuesto de varianza constante “homocedasticidad”

Tabla 49. Test de Breusch-Pagan.

Breusch Pagan	
Df	5
P – Value	0,915
Bp	9,47

Hay normalidad

- Supuesto de independencia

Tabla 50. Test Durbin Watson.

Durbin Watson – Test	
Dw	1,9619
P – Value	0,1053

Hay normalidad

.