

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	n A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADÉMICO		I(164)	

AUTORES	PAULA ANDREA ANGARITA PINZÓN HEYFA JESNEY RINCÓN GAONA		
FACULTAD	INGENIERIA		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	LEANDRO OVALLOS MANOSALVA		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EN ESTA INVESTIGACIÓN SE EVALUARON LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS, CONTINUANDO CON LA REALIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS Y POR ENDE DETERMINÁNDOSE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10% Y 12% COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.</p> <p>LOS RESULTADOS ARROJARON PARA EL PORCENTAJE DE 10% DE ADICION DE VIRUTA UN MEJOR COMPORTAMIENTO MECANICO EN COMPARACION DEL 12% DE ADICION Y LA MUESTRA PATRON, CONCLUYÉNDOSE ESTE COMO PORCENTAJE OPTIMO DE INCLUSION.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 165	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 46	CD-ROM: 1



EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO
ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 y 12 %
RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA

AUTORAS:

PAULA ANDREA ANGARITA PINZÓN

HEYFA JESNEY RINCÓN GAONA

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

DIRECTOR:

LEANDRO OVALLOS MANOSALVA

Esp. Interventoría de obras civiles

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA CIVIL

Índice

Capítulo 1: Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con viruta de acero en porcentajes de 10 y 12 % respecto al agregado fino de la mezcla	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Delimitaciones.....	3
1.5.1 Delimitación conceptual	3
1.5.2 Delimitación operativa	3
1.5.3 Delimitación geográfica	4
1.5.4 Delimitación temporal	4
Capítulo 2: Marco referencial	5
2.1 Marco histórico	5
2.1.1 Antecedentes a nivel internacional	5
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional	7
2.1.3 Antecedentes a nivel local	15
2.2 Marco Contextual	16
2.3 Marco Conceptual	19
2.3.1 Concreto.....	19
2.3.2 Cemento.....	19
2.3.3 Agregados.....	19
2.3.4 Agua.....	20
2.3.5 Fibras de acero.....	20
2.3.6 Viruta de acero.....	21

2.3.7 Diseño de mezcla.....	21
2.3.8 Resistencia a la compresión.....	22
2.4 Marco Teórico.....	22
2.4.1 Componentes del concreto.....	23
2.4.2 Agua.....	27
2.4.3 Viruta de acero	28
2.4.4 Agregados.....	28
2.4.6 Resistencia a la compresión.....	34
2.4.6.1 Predicción de la resistencia a la compresión:	34
2.4.7 Resistencia a flexión.....	36
2.5 Marco Legal	38
Capítulo 3: Diseño metodológico.....	40
3.1 Tipo de investigación	40
3.2 Alcance del proyecto.....	41
3.3 Fases de desarrollo del proyecto	41
3.3.1 Fase 1: Recolección de información y materiales.....	41
3.3.2 Fase 2: Ensayos de laboratorio.....	42
3.3.3 Fase 3: Análisis de resultados:.....	42
Capítulo 4: Presentación de resultados.....	43
4.1 Diseño de mezcla óptimo para el concreto con adición del 10% y 12% de viruta de acero como reemplazo del agregado fino.....	43
4.1.1 Ensayos de laboratorio de los agregados.....	43
4.1.2 Resultados de los ensayos en los agregados.....	57
4.1.3 Diseño de las mezclas de concreto.....	77
4.2. Propiedades mecánicas de las muestras de concreto con cada adición de viruta de acero a las diferentes edades.....	101
4.2.1 Elaboración y ensayos de las mezclas de concreto.....	101
4.2.2 Ensayos de concreto Fresco.....	104
4.2.3. Ensayos de concreto endurecido.....	106
4.2.4 Resultados de los ensayos del concreto fresco y endurecido	111

4.3. Análisis estadístico de los resultados con los establecidos en la normatividad para la muestra patrón de 21,1 Mpa y su variación de costos.....	127
4.3.1. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto	127
4.3.2. Resistencia a la flexión.....	132
4.3.3. Módulo de elasticidad.....	136
4.3.4 Relación de Poisson.....	140
4.3.5 Medición y Comparación De Costos.....	144
Capítulo 5: Conclusiones	146
Capítulo 6: Recomendaciones	148
Referencias	149

Lista de figuras

Figura 1. Localización geográfica de la República de Colombia	17
Figura 2. Localización del municipio de Ocaña.	18
Figura 3. Curvas típicas esfuerzo- deformación unitaria.	35
Figura 4. Barra cilíndrica de longitud original L ₀ , sometida a tracción. Ley de Hooke.	36
Figura 5. Obtención de muestras por cuarteo.	44
Figura 6. Determinación de la humedad de los agregados.	44
Figura 7. Cantidad que pasa el tamiz No. 200.	46
Figura 8. Análisis granulométrico agregado grueso.	47
Figura 9. Determinación del contenido de materia orgánica en arenas.	48
Figura 10. Masa unitaria suelta de los agregados.	49
Figura 11. Masa unitaria compacta de los agregados.	50
Figura 12. Determinación de la gravedad específica y la absorción del agregado fino.....	51
Figura 13. Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso.	53
Figura 14. Determinación de los terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados. .	55
Figura 15. Determinación del peso específico del cemento.	56
Figura 16. Granulometría agregado fino.....	62
Figura 17. Granulometría agregado grueso.	64
Figura 18. Secuencia de pasos para la dosificación de mezclas.	84
Figura 19. Optimización granulométrica de los agregados	89
Figura 20. Preparación de la viruta de acero.....	102
Figura 21. Elaboración de las mezclas de concreto.	102
Figura 22. Preparación de cilindros y vigas.....	103
Figura 23. Curado de las muestras.....	104
Figura 24. Asentamiento del concreto.	105
Figura 25. Determinación peso unitario del concreto fresco.	106
Figura 26. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.	108
Figura 27. Ensayo módulo de elasticidad y relación de poisson.	109
Figura 28. Vista esquemática apropiada para la determinación de la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso del método de carga en los tercios medios.	110
Figura 29. Preparación de la viga de concreto.....	111
Figura 30. Viga fracturada	111
Figura 31. Resistencia a la compresión a los siete (7) días.....	127
Figura 32. Resistencia a la compresión a los catorce (14) días.	128
Figura 33. Resistencia a la compresión a los veintiocho (28) días.	130
Figura 34. Evolución en el tiempo.....	131
Figura 35. Resistencia a la flexión a los siete (7) días.....	132
Figura 36. Resistencia a la Flexión a los catorce (14) días.....	133
Figura 37. Resistencia a la Flexión a los veintiocho (28) días.....	134

Figura 38. Evolución en el tiempo.....	135
Figura 39. Módulo de elasticidad a los siete (7) días.....	136
Figura 40. Módulo de elasticidad a los catorce (14) días.	137
Figura 41. Módulo de elasticidad a los veintiocho (28) días.	138
Figura 42. Evolución en el tiempo.....	139
Figura 43. Relación de Poisson a los siete (7) días.....	140
Figura 44. Relación de Poisson a los catorce (14) días.....	141
Figura 45. Relación de Poisson a los veintiocho (28) días.	142
Figura 46. Evolución en el tiempo.....	143

Lista de tablas

Tabla 1 Características físicas y mecánicas para cemento portland tipo I.....	25
Tabla 2 Masas aproximadas del análisis granulométrico del agregado grueso	47
Tabla 3 Masa de la muestra de ensayo para agregado grueso	54
Tabla 4 Tamices para hacer el lavado de la muestra	55
Tabla 5 Humedad del agregado fino	57
Tabla 6 Humedad del agregado grueso.....	59
Tabla 7 Cantidad que pasa el tamiz No. 200	60
Tabla 8 Análisis granulométrico del agregado fino	61
Tabla 9 Análisis granulométrico del agregado grueso.....	63
Tabla 10 Contenido aproximado de materia orgánica	65
Tabla 11 Masa unitaria del agregado fino.....	66
Tabla 12 Masa unitaria del agregado grueso	67
Tabla 13 Gravedad específica y absorción de agregados finos	68
Tabla 14 Gravedad específica y absorción de agregados gruesos	71
Tabla 15 Terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados.....	74
Tabla 16 Peso específico del cemento	76
Tabla 17 Asentamientos.....	78
Tabla 18 Tamaño máximo nominal	79
Tabla 19 Contenido aproximado de aire	79
Tabla 20 Agua de mezclado.....	81
Tabla 21 Relación agua/cemento	82
Tabla 22 Recomendaciones granulométricas para agregado fino ASTM C33.....	85
Tabla 23 Recomendaciones granulométricas para agregado grueso ASTM C33.....	86
Tabla 24 Verificación de las especificaciones granulométricas para el agregado fino	87
Tabla 25 Verificación de las especificaciones granulométricas para el agregado grueso.....	87
Tabla 26 Rango granulométrico recomendado	88
Tabla 27 Optimización de granulometrías	90
Tabla 28 Propiedades de los agregados	90
Tabla 29 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para un 1 m ³ de concreto.....	91
Tabla 30 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para un 1 m ³ de concreto con el ajuste de agua de mezclado	95
Tabla 31 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para un 1 m ³ de concreto con todos los ajustes pertinentes	96
Tabla 32 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para un 0,15 m ³ de concreto sin adición de viruta de acero.....	99
Tabla 33 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para un 0,15 m ³ de concreto con adición del 10% de viruta de acero	100

Tabla 34 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para un 0,15 m ³ de concreto con adición del 12% de viruta de acero	100
Tabla 35 Asentamiento del concreto (slump)	112
Tabla 36 Peso unitario y rendimiento del hormigón fresco	113
Tabla 37 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto “Muestra patrón”	115
Tabla 38 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto “Adición del 10%”	116
Tabla 39 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto “Adición del 12%”	117
Tabla 40 Resistencia a la flexión del concreto “Muestra patrón”	119
Tabla 41 Resistencia a la flexión del concreto “Adición del 10%”	120
Tabla 42 Resistencia a la flexión del concreto “Adición del 12%”	121
Tabla 43 Módulo de elasticidad y relación de poisson del concreto a compresión “Muestra patrón”	123
Tabla 44 Módulo de elasticidad y relación de poisson del concreto a compresión “Adición del 10%”	124
Tabla 45 Módulo de elasticidad y relación de poisson del concreto a compresión “Adición del 12%”	124
Tabla 46 Costos de preparación del concreto	145

Resumen

En esta investigación se evaluaron las propiedades físicas de los agregados, continuando con la realización del diseño de mezclas y por ende determinándose las propiedades mecánicas del concreto adicionado con viruta de acero en porcentajes de 10% y 12% como reemplazo parcial del agregado fino. Los resultados arrojaron para el porcentaje de 10% de adición de viruta un mejor comportamiento mecánico en comparación del 12% de adición y la muestra patrón, concluyéndose este como porcentaje óptimo de inclusión.

PALABRAS CLAVES: Concreto, Viruta de acero, Propiedades mecánicas

Introducción

Como bien se sabe la ingeniería hace uso de diferentes modelos y técnicas intentando dar solución a varias necesidades de los seres humanos, donde se combina conocimientos científicos con la disposición natural inventar, crear y diseñar; la ingeniería civil es una amplia rama que abarca el campo de las estructuras, obras de transporte, geotecnia, topografía, hidráulica, construcción y demás.

Cierto es que el concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción de obras de infraestructura, pero su fabricación requiere de recursos naturales, lo que afecta notoriamente el medio ambiente, por esta razón el hombre ha ido creando nuevas alternativas en cuanto a la evolución del mismo mediante la inclusión de muchos materiales pero en este caso es preciso recalcar la viruta de acero como reemplazo parcial del agregado fino y lo que se pretende es aprovechar las cualidades de este material y evaluar su comportamiento mecánico.

Aportando a la tecnología del concreto, en el presente trabajo de investigación se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad estático y relación de poisson a cilindros, así mismo, de resistencia a la flexión de vigas con adiciones del 10% y 12% de viruta de acero, comparándolas con una muestra patrón ensayadas a los 7, 14 y 28 días para observar y analizar estadísticamente los valores obtenidos, resultando útil para nuevas investigaciones.

Capítulo 1: Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado con viruta de acero en porcentajes de 10 y 12 % respecto al agregado fino de la mezcla

1.1 Planteamiento del problema

En la ciudad de Ocaña se llevan a cabo actividades de ornamentación con acero inoxidable, generando como desecho la llamada viruta del acero, la cual en este momento no tiene un uso específico y además su producción en grandes cantidades genera complicaciones de contaminación si no se eliminan de la forma correcta; y basándose en que el concreto tiene baja capacidad a la tracción, considerándose nula, “siendo ésta unas diez veces menor que su resistencia a compresión” (Delgado y Delgado, 2008, p.7) se desea aprovechar al máximo las cualidades del acero a través de la utilización de este desecho en el diseño de las mezclas de concreto, donde se reemplazará el agregado fino en porcentajes del 10 y 12 % por viruta de acero, para de esta manera evaluar su comportamiento mecánico, comparándolo con el concreto patrón de 21 Mpa, buscando mejorar la funcionalidad estructural de este material en los proyectos de construcción.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál será el comportamiento del concreto con la adición de viruta de acero en porcentajes al agregado fino de la mezcla de concreto respecto a sus propiedades mecánicas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas del concreto adicionado con viruta de acero en los porcentajes de 10 y 12% respecto al agregado fino de la mezcla mediante ensayos de laboratorio, para confirmar un aumento en su desempeño.

1.3.2 Objetivos específicos

Elaborar un diseño de mezcla óptimo para el concreto con adición del 10 y 12 % de viruta de acero como reemplazo del agregado fino.

Determinar las propiedades mecánicas de las muestras de concreto con cada adición de viruta de acero a diferentes edades.

Analizar estadísticamente los resultados con los establecidos en la normatividad y su variación de costos para el concreto patrón de 21 Mpa

1.4 Justificación

Actualmente el nivel de desarrollo de una sociedad se mide dependiendo del avance en el ámbito de la construcción, incluyendo objetivos de seguridad, funcionalidad, estética y

economía. Todo lo anterior depende en gran parte de la selección, elaboración y dosificación del concreto.

Como bien se sabe la preparación del concreto exige el uso de agua, cemento y agregados naturales, es así como desde la antigüedad se le adicionó fibras naturales como fique, junco y pasto al adobe o barro, donde se pretendía mejorar las propiedades mecánicas de los materiales (Valencia y Quintana, 2016). De esta manera se plantea la inclusión y reutilización de la viruta de acero, con el fin de evaluar su comportamiento, aportando a la tecnología del concreto. En últimas, motivar al reciclaje para la elaboración del concreto, contribuyendo a la disminución de la contaminación ambiental.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación conceptual

El presente proyecto abarca temas propios de la carrera como lo son las propiedades mecánicas del concreto, esfuerzos a la compresión y a la tracción, módulo de rigidez, elasticidad y rotura, agregados, granulometría, mano de obra, viruta de acero, concreto, tipos de cemento.

1.5.2 Delimitación operativa

El objetivo que pretende este proyecto es determinar las propiedades mecánicas del concreto adicionando viruta de acero a diferentes porcentajes, realizando el diseño de mezclas

correspondiente, para luego realizar probetas y ensayarlas según las diferentes normas técnicas colombianas mencionadas y lograr determinar diferentes parámetros importantes en el comportamiento del concreto analizándolos con los de un concreto patrón, logrando establecer si la viruta de acero aporta o no al mejoramiento de la resistencia del mismo; para tal proceso se utilizaran los materiales que conforman el concreto (arena, grava, cemento y agua) y a su vez la viruta de acero, en cuanto a la mezcla se refiere, y para ensayarlas se hará uso de la maquina universal, como también los diferentes implementos del laboratorio de suelos.

1.5.3 Delimitación geográfica

Esta investigación se llevará a cabo en el municipio de Ocaña Norte de Santander, con ayuda de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, la cual cuenta con los laboratorios necesarios para tal proceso.

1.5.4 Delimitación temporal

En cuanto a la delimitación temporal tiene un periodo comprendido entre febrero de 2016 hasta julio de 2016 para la búsqueda de información, y así mismo un periodo comprendido entre agosto de 2016 hasta noviembre de 2016 para la realización de tal investigación.

Capítulo 2: Marco referencial

2.1 Marco histórico

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional. Desde la antigüedad el hombre ha buscado un espacio donde vivir, llegando siempre a la búsqueda de mejores alternativas para tener comodidad, seguridad y funcionalidad en cada una de las estructuras, garantizando una mejor calidad de vida a los integrantes de su familia. Es así como el hombre ha hecho uso de los recursos que le brinda la naturaleza para satisfacer esa necesidad, consiguiendo día tras día avanzar en las técnicas empleadas para la construcción.

Durante las tres últimas décadas de investigaciones y los trabajos desarrollados, junto con un amplio rango de aplicaciones prácticas, se ha confirmado que los compuestos de cemento con fibra son fiables y eficientes y que pueden ser materiales económicos de construcción cuando se usan inteligentemente. Las características de fragilidad del concreto simple, lo limitan a ser utilizado en los casos en donde trabaje a compresión. Estas deficiencias se pueden reducir incorporando al concreto fibras según (Ávila, Olague, Almeraya, Gaona, y Martínez., 2000) quienes afirman que después de usar fibras como alambre en el concreto tradicional, El esfuerzo de compresión para el concreto reforzado con fibras de acero se incrementó hasta un 24% . ; El módulo de elasticidad, aumentó de 2 a 3 veces más que el concreto simple y el módulo de rotura no se incrementó considerablemente.

Actualmente se reconoce que “la adición de fibras de acero en vigas de concreto reforzado incrementa la resistencia a cortante” (Carrillo, Gónzales , y Aperador, 2013). Por ejemplo, “si se adiciona una cantidad de fibra suficiente, se puede evitar falla frágil por cortante y, al mismo tiempo, generar comportamiento más dúctil en vigas” (Adebar, Mindess, Pierr, Olund, 1997). El uso de fibras en el concreto para proveer comportamiento adecuado antes y después de agrietamiento, ha ganado gran popularidad en las últimas décadas. Desde 1967 varios tipos de fibras se han utilizado en el concreto de forma satisfactoria, pues se han mejorado las propiedades físicas y de durabilidad del concreto (Carrillo, Gónzales y Aperador, 2013). Adicionalmente, los resultados de investigaciones experimentales han demostrado la capacidad de las fibras para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (ACI-544, 2010). Las ventajas más significativas de la adición de fibras de acero al concreto son las siguientes:

- Proveen tenacidad a flexión (capacidad de absorber energía después del agrietamiento)
- Aumentan la resistencia a tensión directa, a cortante y a torsión
- Incrementan las propiedades de resistencia a impacto y a fatiga
- Mejoran el comportamiento de contracción y flujo plástico
- Incrementan la durabilidad en ciertas condiciones climáticas (ACI-544, 1996).

El concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) juega un papel importante en la sociedad ya que queda evidenciado sus buenos resultados en cuanto a resistencia a flexión, cortante y torsión según estudios de (Jindal, R., 1984), (Batson, Terry, y Change, 1984) y (Craig, R., 1987). El incremento de resistencia al cortante atribuido a las fibras no sólo depende de la cantidad de fibras y la dosificación, sino también de la relación de aspecto (Jindal, R., 1984) y de las condiciones de anclaje de la fibra de acero (Narayana, y Darwish, 1987).

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional. De esta manera, como lo afirma (Gutiérrez de López, L., 2003) los orígenes de concreto se remontan a dos siglos A. de C., en Roma, cuando utilizaron mezclas de caliza calcinada, tobas volcánicas y piedras, para construir algunas de las estructuras que hoy todavía subsisten. En el siglo 7 de nuestra era, con la caída del Imperio Romano se olvidó su uso. En el siglo XVIII es redescubierto por los ingleses, cuando en 1756, John Smeaton lo utilizó para la reconstrucción del Faro de Edystone, en la costa sur de Inglaterra, siguiendo en la historia, en 1817, Vicat, presentó por primera vez el procedimiento de fabricación del cemento, que en términos generales se sigue utilizando hoy día.

Sin embargo, fue Joseph Aspdin, quien, en 1824, obtuvo la patente para fabricarlo, además, el prototipo del cemento moderno fue producido en 1845 por Isaac Johnson, quien por primera vez utilizó una temperatura suficientemente elevada, para formar clinker de la arcilla y la piedra caliza, utilizadas, como materias primas. En este mismo año, Lambot, comenzó a construir en el Sur de Francia, sustancias en que combinaba el concreto y el acero, naciendo así el concreto reforzado.

Como ya se ha mencionado, el concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción, pero para su fabricación se requiere de recursos naturales, lo que afecta de forma notoria el medio ambiente, por esta razón el hombre ha creado otras alternativas y a nivel científico se han desarrollado significativos estudios que demuestran que es viable reemplazar proporciones de material pétreo por otro tipo de material: residuos inertes agrícolas o industriales como lo anuncia (Serrano, Pérez, Barajas, y Oquendo, 2012).

En un tiempo, donde la necesidad de materiales innovadores para la construcción aumenta, se encuentra la fibra de acero, como una opción para el refuerzo parcial o total del concreto. Según una investigación realizada por (Valencia y Quintana, 2016) uno de los materiales fundamentales para que las estructuras tuvieran mayor resistencia eran las fibras, por ello las civilizaciones antiguas adicionaban pasto, fique, junco o pelo animal con el adobe o barro; materiales que minimizaban su tendencia a la fisura y mejoraban el desempeño del material frente a la compresión.

Con el paso del tiempo, una amplia gama de materiales ha sido empleada para fibras, entre los aditamentos más usuales tenemos los concretos preparados con fibras de polipropileno, viruta y limalla de acero, escoria de altos hornos, fibras vegetales de lechuguilla, coco, y arroz.

El uso de fibras de acero proporciona al concreto el incremento de propiedades mecánicas, tales como las resistencias a tensión y a compresión, el módulo de elasticidad, la resistencia al impacto y la abrasión, el control del fisuramiento, fatiga, durabilidad y absorción de energía. (Carrillo, Cárdenas, y Aperador, 2015), haciendo uso de esta información, queremos por medio de nuestro trabajo mejorar el comportamiento del concreto, ya que los resultados del estudio permiten concluir que el incremento de las resistencias mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero depende de la dosificación de fibras utilizadas, llegando a incrementos desde el 3%, aclarando que estaban expuestos ante agentes corrosivos, y en cuanto al módulo de elasticidad y la relación de Poisson de los especímenes en concreto reforzado con fibras de acero, se observó que la adición de fibras ocasiona una disminución de 4 y 8 % respectivamente.

También (Serrano, et al, 2012) demostraron que aquellos concretos preparados reemplazando el agregado fino con viruta añadida en porcentaje en peso del 9, 10 y 11% reportaron aumentos de resistencia del 48%, 32,4% y 27%, respectivamente, sin detrimento de la fluidez y de la manejabilidad de las mezclas, lo que nos permite realizar nuestra investigación para lograr demostrar estos resultados.

Con todos los estudios mencionados anteriormente, nos damos cuenta que adicionar fibras como la viruta de acero en las mezclas de concreto se mejora el desempeño mecánico y su capacidad portante, además de su fácil aplicación y el bajo costo si se compara con varillas o mallas de acero es bastante notorio, logrando obtener concretos de alta calidad, como lo menciona (Cárdenas Ramírez. S.f.)

Si bien, un estudio realizado por (Gallo, Gonzáles, y Carillo, 2013) sobre el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero demostró que en los primeros 7 días, la resistencia aumentó significativamente. Para los siguientes días se presentó ligero aumento hasta alcanzar una resistencia de 28.6 MPa a edad de 32 días. Este valor es 14.4% mayor que el valor de resistencia nominal del concreto (25 MPa). A edad de 335 días, el CRFA alcanzó una resistencia a compresión de 34.7 MPa. Este valor es 21.3% mayor que la resistencia nominal.

Colombia en su afán de cumplir normativas y poder ser respaldado en cada una de las decisiones a la hora de construir, hace uso del Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-2010), específicamente en el título C (Concreto estructural) donde se establecen

los requisitos generales de diseño, de durabilidad, de resistencia, uso de los diferentes agregados, y demás factores influyentes en el concreto.

De acuerdo con la (NSR-2010), en la sección C.R.3.5.1 se establece que las fibras de acero deformadas dispersas se permiten solamente para resistir cortante en elementos a flexión (véase C.11.4.6.1 (f)). El título C del reglamento no cubre refuerzos de polímeros reforzados con fibra (Fiber reinforced polymer- FRP). El comité ACI 440 ha desarrollado guías para el uso de refuerzos de FRP.

Del mismo modo, en la sección C.3.5.8. Indica que el acero de acero para el concreto compuesta por fibras dispersas de acero debe ser corrugado y cumplir con la NTC 5514 (ASTM A820M) denominada Fibras de acero para refuerzo de concreto. Las fibras de acero deben tener una relación de longitud a diámetro no menor a 50 y no mayor a 100, además la NTC 5541 (ASTM C1116) brinda información acerca de los concretos reforzados con fibras.

También es cierto que en la sección C.5.6.6. Concreto reforzado con fibra de acero, y más exactamente en C.5.6.6.1 aclara que la aceptación de concreto reforzado con fibra de acero utilizado en vigas de acuerdo con C.11.4.6.1 (f) se debe determinar por medios de ensayos realizados de acuerdo con la ASTM C1609. Además, el ensayo el procedimiento de ensayo de la resistencia debe cumplir con el numeral C.5.6.1. La sección C.5.6.6.2 especifica que para que la resistencia a cortante de se considere aceptable debe cumplir con las siguientes condiciones:

- La masa de las fibras de acero corrugadas por metro cúbico de concreto es mayor o igual a 60 kg.

- La resistencia residual obtenida en el ensayo de flexión realizado de acuerdo con ASTM C1609 cuando se llega a una deflexión en el centro de la luz igual a $1/300$ de la luz, es mayor o igual al 90 por ciento de la resistencia del primer pico de resistencia obtenido en el ensayo a flexión o del 90 por ciento de la resistencia correspondiente a F_f obtenido por medio de la ecuación (C 9-10), la que sea mayor ; y
- La resistencia residual obtenida en el ensayo a flexión realizado de acuerdo con ASTM C1609 cuando se llega a una deflexión en el centro de la luz igual a $1/150$ de la luz, es mayor o igual al 75 por ciento de la resistencia del primer pico de resistencia obtenido en el ensayo a flexión o del 75 por ciento de la resistencia correspondiente a F_f obtenido por medio de la ecuación (C 9-10), la que sea mayor.

Es oportuno ahora citar que la fisuración del concreto es un fenómeno indeseable cuyas causas van desde variaciones en la composición del material, hasta efectos de cambios térmicos. Los elementos de concreto reforzado diseñados para trabajar en flexión (vigas, placas etc.), dan por descontado en su diseño inicial, que el concreto de recubrimiento en la cara inferior se fisurará y se despreja la resistencia a la tensión del material. Por supuesto en la medida en que una estructura de concreto no se fisure mejor en cuanto a su durabilidad, la transmisión y continuidad de las cargas, la no concentración de esfuerzos y la estética de un concreto cada vez más a la vista. (Sika, 2016).

Habría que decir también que las fibras como refuerzo secundario para concreto en general pueden clasificarse según diferentes consideraciones (ASFM 1116, EN 14889), hoy en día se emplean principalmente dos tipos de clasificación, así: Por material, existen las fibras metálicas

que son secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón). Fibras sintéticas son secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliestileno, Nylon, Poliéster etc., las fibras de vidrio son secciones discretas resistentes al álcali y las fibras naturales que son secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%.

Por otro lado tenemos las fibras por funcionalidad, geometría y dosificación, que abarca las microfibras estas están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes de entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno (Tipo Sikafiber AD) y las macrofibras están destinadas a prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las macrofibras pueden ser metálicas (Tipo Sikafiber CHO 65/35), sintéticas (Tipo Sikafiber 600) o naturales. Dentro de las principales aplicaciones están pisos y pavimentos, prefabricados, concreto lanzado y concreto de ultra-alta resistencia.

Dentro de proyectos de investigación relacionados con la inclusión de fibras como de viruta de acero para evaluar el comportamiento mecánico del concreto a nivel nacional y que son de gran ayuda para nuestra investigación podemos citar los siguientes:

- Valencia Castro, P.A., Quintana Cruz, C.D., (2016). Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%. Programa de ingeniería civil. Universidad Católica de Colombia.

Esta investigación se centra en analizar el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero adicionándole porcentajes de 12 y del 14 % y a su vez conocer los beneficios otorgados por la fibra de acero, se realizó el ensayo de 27 probetas de cilindros de dimensiones de 10 x 20 cm, con cinco mezclas de concreto, el diseño de mezclas según ACI a los 14, 21 y 28 días y el tipo de fibra fue Dramiz 3D. Se concluye entonces que, existe una mejora en la resistencia a la compresión de los cilindros con fibra de acero con respecto a los cilindros sin fibra, notándose que la mezcla con adición del 14 % fue la más alta, obteniendo una resistencia promedio 24500 kg-f o de 4324 psi, superando en un 13,65 % la capacidad de resistencia a la compresión de la mezcla de concreto sin adición. Además de que, los cilindros sin adición de fibra tuvieron una falla columnar, falla que no da tiempo a reacción porque se rompe el concreto en instante de segundos al llegar a su máxima resistencia, dejando los cilindros en estado total de daño. A diferencia de los cilindros reforzados con fibra los cuales presentan falla tipo cono y corte y corte cilíndrico que son unas fallas menos letales y que conservan un 80 % la forma del cilindro.

- García Badillo, A., (2008). Mejoramiento del concreto con adición de viruta de acero a porcentajes de 12 y 14% respecto al agregado fino de la mezcla. Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia.

Este trabajo de grado se realizó con el objetivo de observar el comportamiento del concreto adicionándole viruta de acero al 12% y 14% respecto al agregado fino, el proceso a seguir para generar mayor resistencia a compresión, empezó desde conseguir los materiales para la mezcla hasta la construcción de los cilindros, se observó que al adicionar el 12% de viruta su resistencia fue superior a la adición del 14%. Al realizar la mezcla ya con la adición de viruta y fabricar los cilindros no se tuvo inconvenientes, estos materiales resultaron ser muy homogéneos, ya que no presentaron porosidad y mostraron manejabilidad en el momento de la fundida. Se realizó el lavado adecuado de la viruta con jabones industrializados para reducir efectos secundarios que generan las grasas y aceites de la viruta en su estado natural y pueden afectar los resultados de la resistencia a la compresión. Con esta adición de viruta del 12% y 14% se concluye que los mejores resultados obtenidos fueron los que se le adiciono menor porcentaje de viruta con respecto al agregado fino y una mayor resistencia a la compresión. Este tipo de proyectos son supremamente importantes ya que generan una renovación en la industria, por cuanto se reutilizan residuos que producen impacto ambiental.

- 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. Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia.

Con base en los resultados obtenidos en los trabajos de grado anteriores de optimización de concretos adicionando viruta en unos porcentajes determinados y en las cuales se analizó el comportamiento del concreto a compresión, se decidió trabajar este mismo conglomerante

cuando trabaja a flexión y remplazando agregado fino en porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12%, y 14%, sin embargo se trabajó con porcentajes menores como se mencionó anteriormente, pero dichos resultados no fueron los esperados al ser comparados con una muestra patrón estándar de concreto de 3000 P.S.I. También se realizaron ensayos de laboratorio a los materiales utilizados en las diferentes mezclas, lo cual sirvió para su respectiva caracterización y como datos de entrada para la realización de los diseños de las mezclas trabajadas; una vez se tuvieron estos diseños se elaboraron los elementos respectivos que para el caso fueron las viguetas, fundiendo 10 elementos para las edades a fallar; 3, 7 y 28 días y así obtener los suficientes datos de Resistencia a la flexión, para poder realizar un análisis y concluir que con un porcentaje de 10% de viruta se puede tener un concreto altamente eficiente y económico.

Al analizar los resultados desde la primera edad del curado se pudo notar que la muestra que alcanzó los mayores esfuerzos frente a la resistencia a la flexión de la muestra estándar, fue la muestra con el 10% de adición de viruta logrado a los 28 días de curado con un promedio de 65.6 MPa y un aumento frente a la muestra estándar del 34,56%.

2.1.3 Antecedentes a nivel local. Como única investigación relacionada con la inclusión de algún componente del agregado para un concreto encontramos a Duran Herrera, N.P., Amado Velásquez, N., (2016), titulado Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar de la Universidad francisco de paula Santander, Ocaña-Colombia.

Este proyecto de grado contiene en su resumen que se estudió la resistencia a la compresión de mezclas de concreto, sustituyendo el 5%, 10%, 15% y 20% de cemento por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar; se clasificaron las cenizas ,posteriormente se determinó la resistencia de las muestras a edades de 7, 14 y 28 días. en cuanto a los resultados, se obtuvo como porcentaje óptimo de adición el 5% para ambas cenizas. Se concluyó también que, la preparación de concreto utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar y cenizas volantes (en el porcentaje óptimo encontrado), representa una economía del orden del 0,71% y 0,68%, respectivamente, por metro cubico de concreto; para un 10% de cenizas bagazo de caña y cenizas volantes, representa una economía del orden de 1,41% y 1,36%, respectivamente, lo cual representa un beneficio adicional al ambiental.

2.2 Marco Contextual

Hay que reconocer que el proyecto de investigación se llevará a cabo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, junto con el apoyo de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y áreas específicas, como lo son el laboratorio de suelos, laboratorio de resistencia de materiales. Se utilizaran recursos de la provincia y ayuda de personas expertas en el tema. Se esbozará los lineamientos en seguida.

En la ubicación geográfica tenemos que la República de Colombia se encuentra ubicada al extremo noroccidental de Suramérica, entre los 4° de latitud sur y 12° de latitud norte, y entre

los 67° y 79° de longitud oeste. Gracias a su posición geográfica, Colombia cuenta con costas en los océanos Atlántico y Pacífico. (Toda Colombia, 2016). Ver figura 1



Figura 1. Localización geográfica de la República de Colombia

Fuente: Toda Colombia. 2016

El Departamento de Norte de Santander está situado en el noreste de la región andina del país; localizado entre los 06°56'42' y 09°18'01'' de latitud norte y los 72°01'13'' y 73°38'25'' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 22.367 km² lo que representa el 1.9% del territorio nacional. Limita por el Norte y Este con la República de Venezuela, por el Sur con los departamentos de Boyacá y Santander, y por el Oeste con los departamentos de Santander y Cesar. El gentilicio es Nortesantandereanos, la superficie es de 22.367 km², su población de 1'355.787 Habitantes (Proyección DANE 2005), densidad de 60.61 Hab/Km² y su capital es Cúcuta – 650.011 Habitantes (Proyección DANE 2005).

Ocaña es la segunda ciudad del Departamento de Norte de Santander en Colombia. Se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 1.202 metros y su temperatura promedio es de 22°C. Ocaña se encuentra sobre la cordillera oriental en un territorio en el cual la región toma su nombre debido a su extensa área de influencia. La ciudad de Ocaña dista de la capital del país

610 km y tiene una población de 97479 habitantes según proyección 2014 DANE (90517 habitantes – Censo 2005). Está situada a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km², los cuales representan el 2,2% del departamento. La Provincia de Ocaña tiene un área de 8.602 km²

Los límites del municipio de Ocaña son al norte con el Departamento Cesar y municipios, Teorama, Convención, san calixto y Ábrego, hacia el sur con Ábrego, al oriente con La Playa de Belén, y al occidente con el Departamento del Cesar.

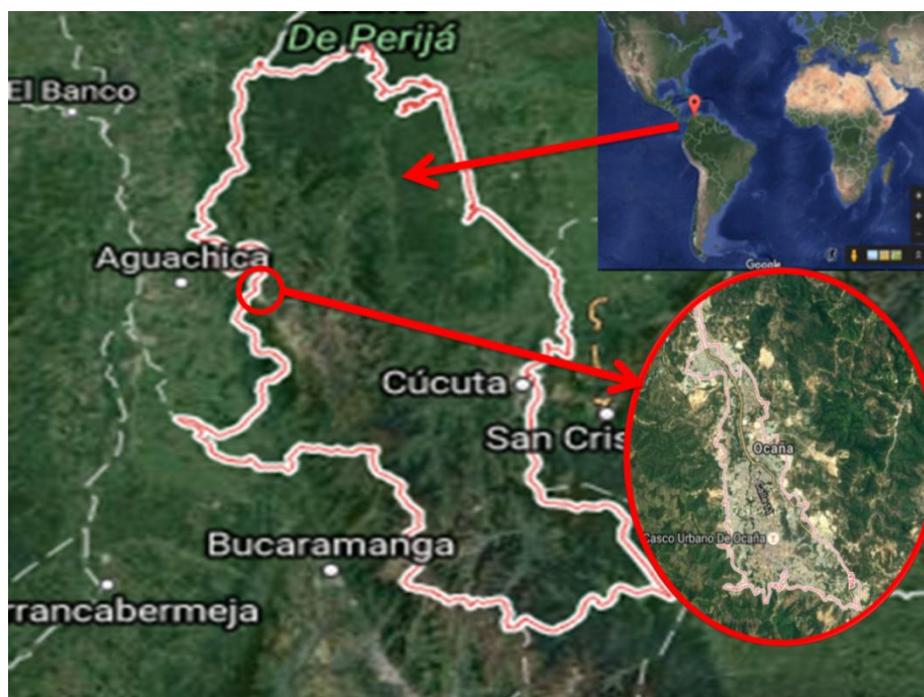


Figura 2. Localización del municipio de Ocaña.

Fuente: Google Earth, vista aérea 2016.

En cuanto a la procedencia de los materiales a utilizar tenemos que la viruta resulta del desecho de la ornamentación del acero, se obtendrá de pequeños empresarios del municipio de

Ocaña, en dichos sitios no se suministran las propiedades específicas de este material. Una vez el material esté listo se procederá a llevar a cabo una limpieza para eliminar cualquier tipo de impureza presente y finalmente se cortara para tener un rango determinado de viruta de acero. En el caso de los agregados y cemento se recurrirá a comprarlos en las ferreterías de la ciudad, y posteriormente se realizaran ensayos para determinar las características de estos.

2.3 Marco Conceptual

Para llevar a cabo esta investigación, es necesario afianzar y manejar muy bien conceptos como:

2.3.1 Concreto. Es una mezcla de distintos materiales tales como un aglutinante que es el cemento, un material de relleno que son los agregados, agua, aire y algunos aditivos; cada uno de estos materiales, ocupa un porcentaje específico en su volumen definido.

2.3.2 Cemento. Es el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso, que posee propiedades de adhesión y cohesión para unir los agregados de la mezcla, hasta formar una masa solida con la resistencia adecuada.

2.3.3 Agregados. Son materiales inertes con resistencia propia, que no afecta el proceso de endurecimiento del concreto y que posee las propiedades de adherencia con la pasta, endurecida; estos actúan como material de relleno, haciendo la mezcla más económica. El para el agregado

grueso las partículas poseen un diámetro que se encuentran en el intervalo entre 50.8 mm y 19.1mm; y en cuanto al agregado fino sus partículas tienen un diámetro inferior a 4.76 mm y no menor de 0.075mm. (Sarmiento y García, 2008).

2.3.4 Agua. En relación con su uso en el concreto, el agua tiene tres aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas, como medio de curado de las estructuras construidas y como agua de lavado de los agregados; el agua de mezclado ocupa el 15% del volumen total del concreto, de donde un 5% hidrata el cemento y el 10% restante lubrica al concreto dándole manejabilidad, evaporándose durante el fraguado. (Delgado y Delgado, 2008).

2.3.5 Fibras de acero. Según (Valencia y Quintana, 2016) las fibras de acero, son elementos que se adicionan al hormigón para contribuir con varias propiedades específicas y características esenciales para una mezcla de hormigón óptima.

Algunas de las propiedades y características:

- Una resistencia a tracción significativamente mayor que la del hormigón.
- Una adherencia con la matriz del mismo orden o mayor que la resistencia a tracción de la matriz.
- Un módulo de elasticidad significativamente mayor que el del hormigón.

Las fibras se clasifican en estructurales y no estructurales, en función de la capacidad de aumentar la resistencia del hormigón. Las fibras serán estructurales si la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de hormigón. Las fibras

serán no estructurales en caso contrario. Las fibras suponen una mejora ante determinadas propiedades como el control de la fisuración por retracción, y el incremento en la resistencia al fuego, abrasión impacto, entre otras.

2.3.6 Viruta de acero. Como lo citan (Sarmiento y García, 2008) en su investigación, la viruta de acero es el desecho o residuo generado por algunos procesos industriales de corte o torno, que generan algunas empresas dedicadas a la elaboración de partes aceradas como por ejemplo para automotores, este material se presenta en formas redondeadas, alargadas, planas, puntiagudas etc., se utilizara como componente adicional del concreto, buscando un porcentaje optimo que incremente las características de las mezclas. Existen diferentes clases de viruta que dependen generalmente del tipo corte realizado, del proceso de corte y del equipo con que se realicen estos cortes.

2.3.7 Diseño de mezcla. Tal como está expuesto por (Laura Huanca, S., 2006) el diseño de mezcla es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
Determinación de sus cantidades relativas “proporciona miento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros

critérios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

2.3.8 Resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial, se expresa en Kilogramos por centímetro cuadrado (Kg. / cm²) a una edad de 28 días se le designe el símbolo F_c . La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, de edificios y otras estructuras. Según (García, Badillo, A. 2008).

2.4 Marco Teórico

Desde el principio de las construcciones, uno de los materiales más importantes es el cemento, debido a su gran variedad de usos en el ámbito de la ingeniería civil, ya que se convierte en el material indispensable para llevar a cabo la construcción de cualquier estructura imaginable, debido a sus propiedades como conglomerante es el que ayuda a unir todos los materiales usados en esta profesión, para crear una masa sólida que garantice seguridad y bienestar para los usuarios a la hora de usarlo en mezclas como el concreto.

Hoy en día siguen las investigaciones en busca de mejorar el concreto como material fundamental en la construcción, por lo que esta investigación se centra en realizar estudios para

mejorar las propiedades del concreto tradicional, adicionando viruta de acero como remplazo en uno de sus materiales, tratando de conseguir mejor calidad y más economía, aclarando que la viruta es un residuo de procesos metálicos, por qué no usarse para mejorar las capacidades estructurales de una construcción civil.

2.4.1 Componentes del concreto.

Tal como lo explican (García y Sarmiento, 2008) El concreto es la mezcla de un material aglutinante que es el cemento Pórtland, un material de relleno que es comprendido por los agregados, agua, aire y en algunos casos aditivos o adiciones.

El principal componente del concreto, es el cemento Pórtland, el cual ocupa entre el 7% y 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que proveen la buena resistencia a la compresión; El segundo componente son los agregados que ocupan entre el 59% y 76% del volumen de la mezcla, son esencialmente materiales inertes, naturales o artificiales, de forma granular, que para una mejor conveniencia se separan en partes finas que son las arenas, y las gruesas que son las gravas, provienen de rocas naturales, pero también existen artificiales (triturado); El tercer componente es el agua que ocupa entre el 14% y 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento Pórtland por medio de complejas reacciones químicas.

Adicionalmente, el concreto contiene una cantidad de aire atrapado normal pero también puede ser intencional, el aire normal atrapado en el concreto oscila entre el 1% y 3% del volumen de la mezcla, y en el incluido intencionalmente esta entre 2% y 7% del volumen de la mezcla y existen otros componentes tales como aditivos o adiciones los cuales se utilizan con el objeto de modificar algunas propiedades del concreto.

La determinación de las cantidades de estos componentes es un proceso que consiste en seleccionar los ingredientes disponibles y determinar sus cantidades relativas para producirlo, esta proporción depende de las propiedades y características de los ingredientes usados, de las particularidades del concreto especificado, y de las condiciones bajo las cuales será producido.

A continuación, se describirá cada uno de los componentes del concreto aclarando que para el diseño de mezclas es necesario conocer varias propiedades de cada uno de estos, para obtener una mezcla económica y con la trabajabilidad adecuada.

2.4.1.1 Cemento portland tipo I. El cemento portland es una mezcla de composición heterogénea, refinadamente pulverizada, cuyos componentes principales son: cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, en algunas ocasiones es necesario agregar directamente óxido de hierro o arenas silíceas, para ajustar las proporciones de cada compuesto con el fin de obtener reacciones químicas equilibradas. Una tercera sustancia necesaria en la fabricación del cemento, es el yeso

hidratado que se adiciona al Clinker durante la molienda con el fin de retardar el tiempo de fraguado de la pasta de cemento. (Gutiérrez De López, L., 2003)

2.4.1.2 Propiedades físicas y mecánicas del cemento. Las propiedades físicas y mecánicas del cemento se pueden determinar a través de ensayos sobre el cemento puro, pasta de cemento o el mortero. Estas pruebas se realizan en los laboratorios de las fábricas de cemento para asegurarse de que este posea la calidad deseada y de que está dentro de los requisitos de las normas del país. (Cortes y Perilla, 2014). En la tabla 1 se aprecian los valores exigidos para las características físicas y mecánicas más importantes de un cemento portland tipo I.

Tabla 1

Características físicas y mecánicas para cemento portland tipo I

PARAMETRO	VALOR
Finura de Blaine, m ² /Kg, min	280
Expansión autoclave, % máx	0,8
Tiempo de fraguado en minutos (método de Vicat)	
Fraguado inicial, en minutos	45
Fraguado final, en horas	8
Resistencia mínima, MPa	
3 días	8
7 días	15
28 días	24

Nota. Fuente: NTC 121

Durante la fabricación, se monitorean continuamente la composición química y las siguientes propiedades:

- **Densidad:** Esta propiedad del cemento se define como la relación entre la masa dada y el volumen absoluto de esa masa. Su valor tiene pequeñas variaciones y en un cemento portland normal suele estar cercano a $3,15 \text{ g/cm}^3$. Para su determinación el método más empleado o el que más se conoce es el propuesto en la norma NTC 221, que utiliza el frasco patrón de Le Chatelier. (Duran y Velásquez, 2016).
- **Densidad aparente o masa unitaria suelta del cemento:** La densidad aparente del cemento se define como el peso de las partículas de cemento más el aire entre las partículas por unidad de volumen. La densidad aparente del cemento puede variar considerablemente, puede pesar sólo 830 Kg m^3 (524 lb pies^3) hasta 1650 Kg m^3 (1034 lb pies^3), dependiendo si el cemento se usa suelto o consolidado (Cortes Y Perilla, 2014).
- **Tamaño y distribución de las partículas del cemento y su influencia en la resistencia:** La finura es considerada una de las propiedades más importantes del cemento ya que está íntimamente ligada con la velocidad de hidratación, desarrollo del calor, retracción y aumento de la resistencia. Esta se puede medir por métodos directo e indirectos y se expresa por el área superficial de las partículas contenidas en un gramo del material, denominada “superficie específica” y se mide en cm^2/gr .

Para la determinación de la finura del cemento se puede recurrir a métodos indirectos como son, los procedimientos por tamizado, el procedimiento del turbidímetro de Wagner y el más

reciente, el método de permeabilidad al aire, que es el más empleado en nuestro medio y se encuentra descrito en la NTC 33. (Duran y Velásquez , 2016).

- **Calor de hidratación:** La hidratación del cemento Portland es la capacidad para reaccionar en presencia del agua, formando nuevas fases solidas llamadas hidratos, que presentan un comportamiento estable frente al agua. El calor de hidratación de los cementos, se expresa en cal/g, este se obtiene midiendo la diferencia entre el calor desprendido en un calorímetro por la disolución de un cemento anhidro en una solución de ácido fuerte y del mismo cemento hidratado en la pasta pura, en un plazo convenido. El calor total es producido por la aportación de los calores parciales de cada uno de los componentes del Clinker. Los calores de hidratación de los principales compuestos del Clinker son, C3S = 120 cal/g, C2S = 62 cal/g, C3A = 207 cal/g, C4AF =100 cal/g. (Cortes Y Perilla, 2014).

2.4.2 Agua. El agua empleada para concretos y morteros (amasar y curar) será de propiedades colorantes nulas, claras, libe de glúcidos (azucares), ácidos, álcalis, materias orgánicas y de aceites, de preferencia debe ser agua potable. Además, no deberá contener substancias que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia, la durabilidad, apariencia del concreto.

La norma técnica colombiana NTC-813 (agua potable), presenta los requerimientos específicos para el agua potables, que en este caso será la misma a utilizar para el diseño de mezcla.

2.4.3 Viruta de acero .Como se ha mencionado anteriormente, la viruta de acero es un residuo industrial que proviene de la ornamentación y figurado del acero inoxidable en los talleres dedicados a tal fin en el municipio de Ocaña, a la cual se le realizara un proceso de limpieza de impurezas y se procederá a agregarlo a la mezcla, pretendiendo por su composición mejorar la resistencia a la compresión del concreto, puesto que muchas investigaciones realizadas hasta el momento así lo demuestran en cuando a fibras de acero se refieren.

2.4.4 Agregados. Los agregados son materiales granulares solidos que se emplean constantemente dentro de la construcción. Su nombre de agregados nace porque se agregan al cemento y al agua para formar morteros y concretos. Asimismo, son empleados en las bases de las carreteras y la fabricación de productos artificiales resistentes cuando se mezclan con materiales aglomerantes de activación hidráulica o con ligantes asfálticos. (Vizcardo y Trinidad, 2014).

Dentro de los tipos de agregados tenemos los agregados naturales que son aquellos que se utilizan, únicamente, después de una modificación en su tamaño para adaptarlos a las exigencias de la construcción, por trituración son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales, los artificiales son sub-productos de procesos industriales que permiten obtener escorias o materiales procedentes de demoliciones pero que son utilizables y reciclables. En obra le recomienda reciclar el cascajo o materiales de demolición en los vaciados de cimientos, calzaduras, sub-zapatillas y falsos pisos, además está el hormigón que es un material procedente de río, cantera o

cerro; compuesto de agregados finos, gruesos y de partículas duras. Su granulometría debe estar comprendida por el producto filtrado por la malla 100, como mínimo, y la de 2, como máximo.

El uso de agregados en el concreto tiene como objetivo reducir los costos en la producción de la mezcla (relleno adecuado para la mezcla, ya que reduce el contenido de pasta de cemento por metro cúbico), ayudar a controlar los cambios volumétricos (cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado, de curado y secado de la mezcla de concreto) y aportar a la resistencia final del material. Es un material que tiene una participación entre el 65% y el 70% del total de la mezcla de concreto. La forma y textura superficial de las partículas individuales de cualquier tipo de agregado tienen una influencia importante en la manejabilidad del concreto en su estado fresco y en otras características físicas de su estado sólido. (Silva, O, J., 2015).

El uso de diferentes tipos de agregados finos puede generar variaciones en el asentamiento de la mezcla de concreto, por ejemplo, las arenas angulares tendrán un menor asentamiento que una mezcla diseñada con agregados finos redondeados y lisos. Esto puede generar la necesidad de hacer un cambio en la relación agua / material cementante. Aunque la forma y textura de los agregados gruesos también influye en dicha relación, se afecta en mayor medida la resistencia a través de la relación adherencia agregado/pasta de cemento. Existe un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva, ocurrirá el fenómeno de segregación. De la misma forma los agregados finos deben estar dosificados de forma tal que permitan una buena

trabajabilidad y brinden cohesión a la mezcla, pero a la vez no deben estar en exceso porque perjudicarían la manejabilidad y la resistencia del concreto.

Según lo establecido en la NSR-10 se permite el uso de agregados que han demostrado a través de ensayos o por experiencias prácticas que producen concreto de resistencia y durabilidad adecuadas, siempre y cuando sean aprobados por el Supervisor Técnico. El tamaño máximo nominal del agregado grueso (C.3.3.2) no debe ser superior a:

- $1/5$ de la menor separación entre los lados del encofrado, ni a
- $1/3$ de la altura de la losa, ni a
- $3/4$ del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Estas limitaciones se pueden omitir si a juicio del profesional facultado para diseñar la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se puede colocar sin la formación de hormigueros, vacíos o segregación en la mezcla.

Dentro de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados tenemos (Gutiérrez de López, L. 2003):

Tamaño máximo: Se conoce como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, es decir indica la dimensión de la partícula más grande que se encuentra en la muestra.

Tamaño máximo nominal: El tamaño máximo nominal indica el tamaño promedio de partículas más grandes que se encuentran dentro de una masa de agregado grueso. Por lo general, en un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden, razón por la cual se deben indicar claramente en las especificaciones.

Módulo de fineza: criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material, el contenido de finos el contenido de finos o polvo no se refiere al contenido de arena fina ni a la cantidad de piedras de tamaño menor, sino a la suciedad que presentan los agregados (tamaños inferiores a 0,075 mm). El contenido de finos es importante por dos aspectos primero a mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, ya que aumenta la superficie a mojar y por lo tanto también aumentará el contenido de cemento si se quiere mantener constante la relación agua/cemento; segundo si el polvo está finamente adherido a los agregados, impide una buena unión con la pasta y por lo tanto la interface mortero-agregado será una zona débil por donde se puede originar la rotura del concreto (Vizcardo y Trinidad, 2014).

La Textura: es la propiedad relacionada con la dureza, forma, y estructura de la roca original, dando origen a agregados lisos o ásperos. La textura superficial de un agregado afecta directamente la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento fraguado, al igual que ejerce efecto sobre las propiedades del concreto o mortero endurecido. Propiedades como la densidad, la resistencia a la compresión y a la flexión, la cantidad de agua requerida, entre otras, son afectadas por la textura del agregado. (Niño Hernández, J.R. 2010).

La densidad: depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción (Vizcardo y Trinidad, 2014). Los procedimientos para la densidad están establecidos en la NTC 176 para agregado grueso y NTC 237 para agregado fino.

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad, el peso unitario es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos, el procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C29 , el porcentaje de vacíos es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario y por último la humedad es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla. (Vizcardo y Trinidad, 2014).

• **Resistencia:** La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. Si

los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante.

- **Tenacidad:** Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material.

Está directamente relacionada con la flexión, angulosidad y textura del material.

- **Dureza:** Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas siliciosas.

- **Módulo de elasticidad:** Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones. El módulo elástico se determina en muy inusual su determinación en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse.

2.4.6 Resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se mide con una prensa, que aplica una carga sobre la superficie superior del cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla, el valor de la carga aplicada a la que falla la probeta se divide por el área transversal del cilindro obteniéndose así el esfuerzo de rotura del concreto. (García Y Sarmiento, 2008)

2.4.6.1 Predicción de la resistencia a la compresión: La resistencia especificada a compresión tiene el inconveniente de tener que esperar 28 días para conocer la certeza de su magnitud, tiempo que es desfavorable para agilizar los procesos de construcción. Motivo por el cual es conveniente calcular la resistencia probable a 28 días lo más pronto posible y de esta manera tomar las medidas pertinentes.

Existen fórmulas que relacionan la resistencia a los 7 días con la resistencia a los 28 días, las cuales se anuncian por (Niño Hernández J.R, p. 129):

$$R_{28} = R_7 + K(R_7)^{0.5} \quad (\text{Fórmula de Slater}) \quad (1)$$

$$R_{28} = a + b(R_7) \quad (2)$$

Dónde:

R_{28} = Resistencia a compresión probable a 28 días.

R_7 = Resistencia a compresión a los 7 días.

K = Constante que depende principalmente de las propiedades del cemento empleado.

a y b = Constantes que dependen de las propiedades del cemento, la relación

agua/cemento, la temperatura, la humedad y los aditivos.

Según (Segura Franco, J. I. 2011) La resistencia especificada del concreto a compresión define la calidad del material y corresponde la resistencia a la compresión en Mpa que se utiliza en el diseño de los elementos estructurales y se denomina como el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 mm a 300 mm o de la menos tres probetas de 100 por 200 mm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo establecida. Según el reglamento colombiano NSR 10, para el concreto estructural f'_c no debe ser inferior a 17 Mpa. En la figura 3 se muestran curvas atípicas esfuerzo-deformación unitaria a la compresión para distintas resistencias de concretos.

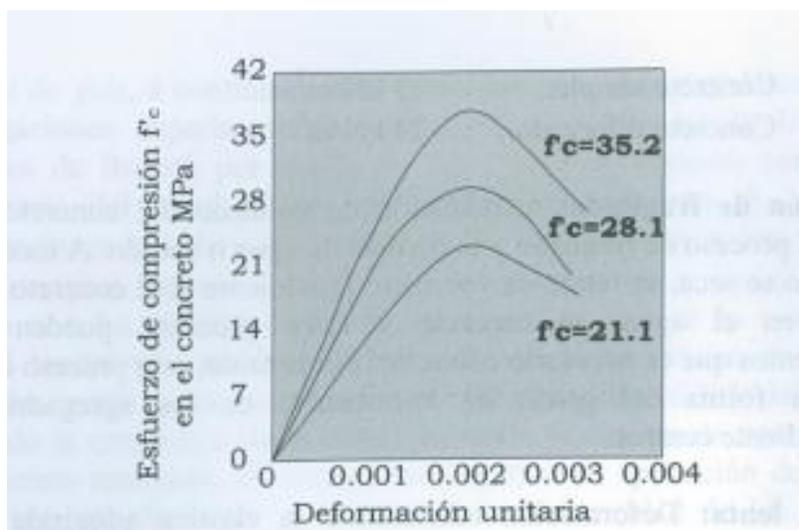


Figura 3. Curvas típicas esfuerzo- deformación unitaria.

Fuente: Estructuras en concreto 1.

2.4.7 Resistencia a flexión. En definitiva, haciendo referencia a la teoría de la elasticidad, (Salvador, Gil) si un material es sometido a tracción, es decir si el mismo es solicitado desde sus extremos en direcciones opuestas, de modo similar a como se ilustra en la Fig. 4, la longitud del mismo aumenta y eventualmente, si la fuerza es grande, el material puede romperse. Si una muestra cilíndrica de material, de sección transversal A , y longitud inicial L_0 es sometida a tracción, mediante una fuerza F que actúa a lo largo de su eje, la misma sufrirá un estiramiento de magnitud ΔL . Si $\Delta L/L_0 \ll 1$, se encuentra experimentalmente que para un rango limitado de las fuerzas aplicadas, ΔL es proporcional a la fuerza aplicada (F), a su longitud original (L_0) e inversamente proporcional al área de su sección transversal (A), es decir:

$$\Delta L \propto \frac{F \cdot l_0}{A} \quad (3)$$

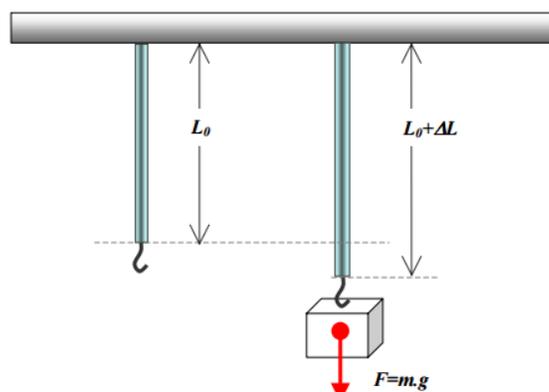


Figura 4. Barra cilíndrica de longitud original L_0 , sometida a tracción. Ley de Hooke.

Fuente: Introducción a la Elasticidad – Física 1 – UNSAM – Salvador, Gil.

Esta relación la notó primero Robert Hooke (1635-1703), un contemporáneo y rival de Newton. Esta expresión fenomenológica, válida para una gran variedad de materiales, pero no de

carácter universal (como las leyes de Newton o la Ecuaciones de Maxwell), se puede escribir como:

$$E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Donde E es una constante característica de del material que forma el objeto y que se denomina módulo de Young o módulo de elasticidad, al módulo de elasticidad también se los suele designar con la letra Y. En rigor esta relación solo vale en la llamada zona de proporcionalidad. El cociente F/A se denomina esfuerzo (stress) y se denota con la letra σ , sus unidades son las mismas que las de presión (Pa). Al cociente $\Delta L/L_0$ se lo denomina deformación unitaria (strain) y se la denota con la letra ϵ , esta magnitud es adimensional (no tiene unidades). Al principio del estiramiento, la deformación es proporcional al esfuerzo, es zona de validez de la Ley de Hooke. Esto ocurre hasta que el esfuerzo aplicado alcanza un valor llamado “Límite de proporcionalidad” (σ_{pr}). Si el material es sometido hasta este valor de esfuerzo, al suprimir el mismo, el material retoma su forma original sin sufrir deformación permanente.

La resistencia a la flexión del concreto es a menudo referida al módulo de rotura. Este factor importante en estructuras de concreto simple tales como losas de pavimentos. Comúnmente se evalúa sometiendo una vigueta de concreto a un ensayo de flexión mediante una o dos cargas concentradas, las viguetas tienen una sección transversal cuadrada de aproximadamente 15 cm de lado y una longitud que puede ser de 50 cm o 75 cm, siendo la primera la más usada y la cual fue aplicada al proyecto en particular. (Niño Hernández J.R, p. 133)

2.5 Marco Legal

Para la realización de este proyecto de grado es necesario contar con los permisos para el uso de los laboratorios de suelos y de resistencia de la universidad francisco de paula Santander Ocaña para hacer los respectivos ensayos de los agregados y obtener los resultados, cabe señalar que se cuenta con el permiso de estos, de igual forma debemos cumplir con los requisitos presentes en el reglamento técnico colombiano NSR-10 que establece que los ensayos de materiales y del concreto deben seguir los lineamientos de la Norma técnica colombiana NTC, cuya función es brindar soporte y desarrollo a los productos y protección al consumidor y tiene certificación ICONTEC, estas también están respaldadas por las normas de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM). Debemos cumplir las siguientes normas:

- **NTC 673 (ASTM C39).** Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- **NTC 4025 (ASTM C469).** Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de Elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a Compresión.
- **NTC 2871 (ASTM C78).** Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios).
- **NTC 5214 (ASTM A820).** Fibras de acero para refuerzo de concreto.
- **NTC 5541 (ASTM C 1116).** Concretos reforzados con fibra.
- **NTC 3353 (ASTM C1012).** Fibras de acero C-29
- **NTC 174 (ASTM C33)** Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto
- **NTC 4045((ASTM C330).** agregados livianos para concreto estructural.

- **NTC 30.** Cemento Portland – Clasificación y nomenclatura.
- **NTC 396(ASTM C143).** Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.
- **NTC 504(ASTM C617).** Refrentado de especímenes cilíndricos de concreto.
- **NTC 722 (ASTM C496).** Ensayo de tracción indirecta de cilindros de concreto.
- **NTC 1377 (ASTM C192).** Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo laboratorio.
- **NTC 221 (ASTM C88).** cementos. método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.
- **NTC 77 (ASTM D136).**concretos. método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
- **NTC 176 (ASTM C127).** Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
- **NTC 92 (ASTM C29M-91a).** Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
- **NTC 589.** Concretos. Método de ensayo para determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados.
- **NTC 1176 (ASTM C566-89).** Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.
- **NTC 98 (ASTM C131).** Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión e impacto de agregados gruesos menor de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles.

Capítulo 3: Diseño metodológico

La protección ambiental, es uno de los retos del presente, ya que de esto depende el futuro de todos, por lo que se debe prestar atención a toda clase de residuos que a diario se generan con las actividades del diario vivir, en especial las que producen residuos industriales peligrosos como por ejemplo los que generan el caucho, el hierro y el acero, ya que por sus propiedades son de muy difícil descomposición y generan daños irreversibles a nuestro medio ambiente.

Partiendo de esta problemática, nace la investigación “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA” para plantear una alternativa con los desechos generados a través de la ornamentación y figurado del acero, para de esta manera hacer un aporte a la construcción y al mismo tiempo al medio ambiente.

3.1 Tipo de investigación

Para determinar el tipo de investigación se basó en los criterios establecidos por (Hernández , Fernandez, y Baptista. S.f.) en su libro la metodologia de la investigacion, de donde se concluye es de tipo aplicativa y experimental, ya que un experimento es una situación de control en la cual se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables

dependientes (efectos). Y de tipo aplicada porque se interesa en la búsqueda de conocimientos o soluciones, manteniendo siempre la objetividad y la mente abierta para tomar las decisiones adecuadas.

3.2 Alcance del proyecto

Para llevar a cabo el proyecto de investigación se usarán los siguientes materiales: cemento portland tipo 1, agregado fino, agregado grueso, viruta de acero, agua, adquiriendo cada uno de estos en el municipio de Ocaña Norte de Santander, donde la población del mismo será la beneficiada con el manejo de los residuos sólidos del acero, para incentivar y comprometer al uso de materiales reciclados en el ámbito de la construcción.

3.3 Fases de desarrollo del proyecto

La recolección de información y desarrollo de esta investigación se llevará a cabo mediante las siguientes fases:

3.3.1 Fase 1: Recolección de información y materiales. La recolección de información utilizadas fueron fuentes primarias como lo es el uso de la Norma Sismo Resistente Colombiana (Título C) y las normas técnicas colombianas necesarias, también fuentes secundarias, como el internet, tesis de investigación, libros y artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones; para luego continuar con la adquisición de los materiales necesarios en el municipio de Ocaña Norte de Santander para tal fin.

3.3.2 Fase 2: Ensayos de laboratorio. En esta fase se determinará las propiedades físicas de los agregados para realizar el diseño de mezclas optimo y continuar con las propiedades mecánicas de las muestras de concreto a ensayar mediante el uso de normas establecidas en el marco legal de esta investigación con ayuda de los instrumentos presentes en los laboratorios de suelos y resistencia de materiales de la universidad francisco de Paula Santander.

3.3.3 Fase 3: Análisis de resultados: luego de tener los datos de laboratorio de cada una de las muestras ensayadas, se evalúan estas propiedades junto con las de un concreto patrón de 21.1 Mpa y de esta manera determinar cuál de las tres alternativas de porcentajes mencionados corresponde a la mejor opción para dar fin al tercer objetivo específico, llegado a este punto en el desarrollo de la investigación se procede a exponer las conclusiones

Capítulo 4: Presentación de resultados

4.1 Diseño de mezcla óptimo para el concreto con adición del 10% y 12% de viruta de acero como reemplazo del agregado fino.

Para la realización de este objetivo se estableció en la fase 2 los ensayos de laboratorio a realizar, de este modo se pudo determinar las propiedades físicas de los agregados para realizar el diseño óptimo de mezclas.

4.1.1 Ensayos de laboratorio de los agregados

4.1.1.1 Determinación del contenido de agua (humedad) de los agregados. Para la elaboración de esta práctica de laboratorio se tuvieron en cuenta los pasos a seguir en la norma técnica colombiana NTC 1776 y la I.N.V.E 122-07. Donde el contenido de agua se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o agua libre en una masa de agregados, y una masa de las partículas sólidas del agregado.

Para la realización del ensayo se llevó a cabo el siguiente procedimiento: La muestra es tomada mediante cuarteo, tal como lo indica la norma técnica colombiana NTC129 y la I.N.V.E 104-07 ver figura 5. donde se tomaron aproximadamente 500 gramos de cada material en condiciones naturales, la cual se dividió en tres partes, para de esta manera obtener tres muestras representativas de cada material (arena y triturado), ver figura 6. Luego se colocó esta muestra húmeda en un recipiente limpio, seco, de peso conocido, rápidamente se llevó al horno, manteniendo la temperatura a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) donde se secó hasta obtener peso constante

en un periodo de 24 horas, después de sacada la muestra del horno, se enfría a temperatura ambiente y se determinó el peso del recipiente y de la muestra secada en el horno usando la misma balanza que usó anteriormente, para luego proceder con los cálculos correspondientes.



Figura 5. Obtención de muestras por cuarteo.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.



Figura 6. Determinación de la humedad de los agregados.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.1.1.2 Ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Este método de ensayo se usa principalmente para determinar la gradación de los materiales propuestos para usarse como agregados, o que se están utilizando como tales.

Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de los tamaños de las partículas y los requisitos específicos de aplicación, y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de varios materiales y mezclas que contienen agregados. Los datos también pueden ser útiles en la determinación de las relaciones de porosidad y entramamiento

Para el procedimiento según la Norma NTC 77, se seleccionó una muestra representativa de material de acuerdo al método de cuarteo (NTC 129), se procedió a llevar dicha muestra al horno a temperatura de 110 ± 5 °C en un periodo aproximado de 24 horas, la norma establece que se debe realizar primero la cantidad que pasa el tamiz No. 200 por tamizado seco y luego por tamizado húmedo, siendo así se determinó la masa seca y se procedió a realizar el lavado del mismos sobre los tamices No. 200 y No. 16 armado con el de mayor abertura encima, finalmente el agregado lavado se secó en el horno y se determinó su masa.

Para determinar la granulometría del agregado fino se añadió esta muestra al resto y se procedió a seleccionar un juego de tamices adecuados para determinar el peso retenido y demás

datos importantes. Es importante decir que la muestra seca mínima para este ensayo son 300 gr.

Ver figura 7.



Figura 7. Cantidad que pasa el tamiz No. 200.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto

Para el caso de la muestra de agregado grueso después de secado, se determinó la masa según la tabla 5, de igual forma se seleccionó los tamices establecidos en la norma y se procedió a agitar y hallar el peso retenido, % retenido, % retenido acumulado y el % Pasa, se determinó el tamaño máximo (TM), tamaño máximo nominal (TMN) y módulo de finura (MF) de los agregados. Ver figura 8.

Tabla 2

Masas aproximadas del análisis Granulométrico del agregado grueso

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de ensayo
mm	(Pulg)	Kg
9,5	.(3/8)	1
12,5	.(1/2)	2
19,0	.(3/4)	5
25,0	.(1)	10
37,5	.(1 1/2)	15
50,0	.(2)	20
63,0	.(2 1/2)	35
75,0	.(3)	60
90,0	.(3 1/2)	100
100,0	.(4)	150
125,0	.(5)	300

Nota: Fuente NTC 77



Figura 8. Análisis granulométrico agregado grueso.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto

4.1.1.3 Contenido aproximado de materia orgánica en arenas. La importancia de este ensayo está en el hecho de proporcionar una advertencia sobre las impurezas orgánicas que pueden estar presentes en el material, la cual es perjudicial en la fabricación de concreto o morteros. El procedimiento de este ensayo se obtuvo siguiendo los lineamientos expuestos en la norma I.N.V.E-212-07, los cuales describimos a continuación:

Se tomó el frasco con las especificaciones establecidas y se llenó con el material hasta ocupar un volumen de 130 ml, se continuo con la adición de la solución de hidróxido de sodio (3%), hasta completar la segunda marca del frasco, ocupando en su totalidad 200 ml de su volumen, para luego dejarlo reposar por 24 horas y se comparó el color del agua que sobrenadaba en el frasco que contenía el material, con la tabla de escala de coloración de referencia. Ver figura 9.



Figura 9. Determinación del contenido de materia orgánica en arenas.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto

4.1.1.4 Ensayo de la masa unitaria de los agregados. Se realizó siguiendo los lineamientos de la NTC 92 y el procedimiento en términos generales fue el siguiente:

Masa unitaria del agregado suelto. El agregado sea grueso o fino se cuartea como anteriormente se mencionó y se selecciona la cantidad necesaria para llenar el molde cilíndrico, se toman las medidas y se toma el peso del molde vacío, posteriormente se vierte en el molde la cantidad suficiente de arena o grava para que el recipiente se llene, de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm por encima del borde además se debe enrasar la superficie, realizado este paso se vuelve a pesar el molde lleno para obtener el peso. De la relación del peso y el volumen se obtiene la masa unitaria suelta. Ver figura 10.



Figura 10. Masa unitaria suelta de los agregados.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Masa Unitaria del agregado compactado. Se utilizó el mismo molde cilíndrico, se vertió en el molde una capa del material correspondiente (grava o arena) y se realizó la compactación requerida de 25 golpes con una varilla teniendo en cuenta que los golpes aplicados sobre la primera capa fueron distribuidos uniformemente, terminado esto se procedió a echar una segunda y una tercera capa en el recipiente que donde se hizo el mismo proceso de compactación que la capa uno, terminado este procedimiento se niveló la superficie con la varilla y se determinó la masa del recipiente lleno. Ver figura 11.



Figura 11. Masa unitaria compacta de los agregados.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto

4.1.1.5 Gravedad específica y absorción de agregados finos. Con este método se determina la gravedad específica bulk y la aparente como están definidas en la norma INVE-223, la gravedad específica bulk basada en la masa saturada y superficialmente seca del agregado, y la absorción como está definida en la norma INVE-223.

Los pasos a seguir los mencionamos a continuación tal como se expresa en la norma INVE- 222-07: Por medio de cuarteo manual, se tomaron aproximadamente 1000 gramos de

material y se sumergió en agua por un periodo de 24 horas a una temperatura ambiente, después del periodo de inmersión, se decantó cuidadosamente el agua y se extendió la muestra sobre una superficie no absorbente, para secar la superficie de las partículas mediante una corriente moderada de aire caliente, luego se comprobó que estuviera superficialmente seca, ya que se formó una torre y se presentó desmoronamiento parcialmente superficial, lo que nos demostró que el material estaba listo para continuar, por esta razón se escogieron 350 gramos del material, se introdujeron en el picnómetro y se agregó agua hasta completar un volumen del 90% de su capacidad, se agito para eliminar el aire atrapado, se ajusta la temperatura del picnómetro con la muestra, introduciéndolo en un baño a maría y se determinó su peso total (picnómetro, muestra y agua) después se retiró el material para determinar el peso del picnómetro llenado con agua hasta la marca descrita anteriormente. Ver figura 12.



Figura 12. Determinación de la gravedad específica y la absorción del agregado fino.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.1.1.6 Gravedad específica y absorción de agregados gruesos. Con este método se determina la relación entre la masa de un volumen de sólidos y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida, además de lograr determinar la masa del agua que llena los poros permeables de las partículas sin incluir el agua adherida a la superficie de las mismas. Según la norma técnica colombiana NTC 176, La densidad aparente es la característica usada generalmente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diferentes tipos de mezclas y los valores de la absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida por los poros saturables, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente como para colmar la mayoría de su potencial de absorción.

Los pasos a seguir los mencionamos a continuación tal como se expresan en las normas INVE- 223-07 y NTC 176: Se tomaron aproximadamente 3000 gramos del material por el método del cuarteo, y se dejó sumergido en agua durante 24 horas a una temperatura ambiente, Pasado este tiempo de inmersión, se secaron las partículas rodándolas sobre un paño absorbente hasta que se eliminó el agua superficial visible , posteriormente se colocó la muestra en la canastillas metálica y se determinó su masa, para proceder a sumergir la canastilla y tomar su masa sumergida a la temperatura de 23°C, luego se secó el material en el horno a 110 ±5°C hasta masa constante anotando este valor para continuar con los cálculos pertinentes. Ver figura 13.



Figura 13. Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.1.1.7 Ensayo para determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados. Este método de ensayo es de importancia fundamental en la aceptabilidad de los agregados con respecto a la NTC 174.

Agregado fino: La muestra inicial fue de 500 gr, la fracción retenida en el tamiz No.16 según la norma no debe ser menor a 25gr en este caso fue de 183 gr, se extendió una capa delgada sobre el fondo del recipiente y se cubrió con agua destilada durante 24 horas. Al día siguiente se rodó y se desintegró las partículas tratando de reducir las partículas, como siguiente paso se realizó tamizado húmedo sobre el tamiz No.20, se dejó secar en el horno y se determinó su masa. Ver figura 14

Agregado grueso: Las muestras de agregado grueso se deben separar en diferentes tamaños empleando los tamices No.4, No. (3/8"), No. (3/4"). No. (1 1/2") según la norma y no debe pesar menos de lo que indica la tabla 3.

Tabla 3

Masa de la muestra de ensayo para agregado grueso

Tamaño de las partículas entre los tamices de:	Masa mínima de la muestra de ensayo (gr)
4,75 - 9,5 mm (No. 4-3/8")	1000
9,5- 19,0 mm (3/8"-3/4")	2000
19,0- 37,5 mm (3/4"- 1 1/2")	3000
Mayores de 37,5 mm (1 1/2")	5000

Nota. Fuente: NTC 589

Obtenida la muestra a ensayar, se dejó en agua destilada y pasadas las 24 horas, se desintegró en partículas más finas usando el pulgar y el índice tratando de rodar el material, las partículas que puedan romperse con los dedos se clasificaron como terrones de arcilla o partículas deleznales, para realizar el tamizado húmedo se usó el tamiz que indica en la tabla 4 según la abertura del mismo.

Por último, el material retenido en cada tamiz, se secó hasta masa constante a una temperatura de 110°, se dejó enfriar y se determinó su masa.

Tabla 4*Tamices para hacer el lavado de la muestra*

Intervalos de tamaños de las partículas que forman la muestra	Tamaño del tamiz para remover el residuo de terrones de arcilla y partículas deleznales
Agregado fino retenido sobre el tamiz de 1,18 mm (No.16)	850 um (No.20)
4,75 - 9,5 mm (No. 4-3/8")	2,36 mm (No.8)
9,5- 19,0 mm (3/8"-3/4")	4,75 mm (No. 4)
19,0- 37,5 mm (3/4"- 1 1/2")	4,75 mm (No. 4)
Mayores de 37,5 mm (1 1/2")	4,75 mm (No. 4)

Nota. Fuente: NTC 589.

Figura 14. Determinación de los terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto

4.1.1.8. Determinación del peso específico del cemento. Este ensayo de laboratorio se realiza con los lineamientos de la norma NTC 221, para determinar la relación entre el peso de un volumen dado de material a cierta temperatura, al peso de un volumen igual de agua a esa

misma temperatura, la principal utilidad que tiene el peso específico del cemento está relacionada con el diseño y control de mezclas de concreto.

A continuación, se describe el procedimiento realizado: Se tomó un frasco Le Chatelier y se verifico que esté limpio y seco en su interior, luego se adicionó kerosene libre de agua hasta completar la marca de 0 ml del frasco, luego es sumergido en baño a maría hasta verificar que contengan la misma temperatura los líquidos fuera y dentro del franco para poder depositar 64 gramos de cemento Cemex tipo 1. Por último, se tapó el frasco, se giró inclinándolo sobre una superficie lisa, para sacar el aire atrapado en el cemento y se tomó la lectura final que representa el volumen de líquido desplazado por el peso del cemento. Ver figura 15.



Figura 15. Determinación del peso específico del cemento.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto

4.1.2 Resultados de los ensayos en los agregados

4.1.2.1 Determinación del contenido de agua (humedad) de los agregados. En la tabla 5 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para el contenido de humedad realizado al agregado fino, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 5

Humedad del agregado fino

		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA		
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"				
ESTUDIANTES		LABORATORIO No. 1		
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062		DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL AGREGADO FINO. I.N.V.E -		
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067		122 -07		
MUESTRA No.	1	2	3	
Peso del recipiente (gr)	85,11	80,98	83,76	
peso del recipiente + agregado húmedo (gr)	198,03	208,01	228,31	
peso del recipiente + agregado seco (gr)	193,9	203,4	223,4	
peso del suelo húmedo (gr)	112,92	127,03	144,55	
peso del suelo seco (gr)	108,79	122,42	139,64	
peso del agua (gr)	4,13	4,61	4,91	
contenido de humedad (%)	3,80%	3,77%	3,52%	
contenido de humedad promedio (%)			3,69%	
fecha		19 de septiembre de 2016		

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

El contenido de agua de la muestra se calcula con la siguiente ecuación:

$$w = \left[\frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_c} \right] \times 100 \quad (7)$$

Dónde:

w = Contenido de agua %

W1= Peso del recipiente y del espécimen húmedo, g.

W2= Peso del recipiente y del espécimen seco, g.

Wc= Peso del recipiente, g.

De esta manera se logra obtener un valor promedio entre las tres muestras ensayadas de 3,69 %, valor que luego emplearemos para la realización del diseño de mezclas.

Humedad del agregado grueso. En la tabla 6 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para el contenido de humedad realizado al agregado grueso, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 6*Humedad del agregado grueso*

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA			
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA "			
ESTUDIANTES		LABORATORIO No. 1	
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062		DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL AGREGADO	
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067		GRUESO. I.N.V.E -122 -07	
MUESTRA No.	1	2	3
Peso del recipiente (gr)	87,34	81,52	80,2
peso del recipiente + agregado humedo (gr)	249,81	247,36	241,83
peso del recipiente + agregado seco (gr)	247,7	245,1	239,5
peso del suelo humedo (gr)	162,47	165,84	161,63
peso del suelo seco (gr)	160,36	163,58	159,3
peso del agua (gr)	2,11	2,26	2,33
contenido de humedad (%)	1,32%	1,38%	1,46%
contenido de humedad promedio (%)			1,39%
fecha		19 de septiembre de 2016	

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

El procedimiento para el cálculo de la humedad es idéntico al usado en el agregado fino. De esta manera se logra obtener un valor promedio entre las tres muestras ensayadas de 1.39%, valor que luego emplearemos para la realización del diseño de mezclas.

4.1.2.2 Cantidad que pasa el tamiz No. 200. En la tabla 7 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la cantidad que pasa el tamiz 200, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 7

Cantidad que pasa el tamiz No. 200

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA-COLOMBIA	
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"	
ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 2
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062	CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ No. 200 EN LOS AGREGADOS
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067	
Peso inicial :	500,01 gr
Peso retenido :	487,2 gr
$A = \frac{B - C}{B} \times 100$	A: % material que pasas el tamiz No. 200 B: masa original de la muestra seca (gr)
A = 2,56	C: masa de la muestra seca, despues de lavada (gr)
fecha	20 de septiembre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Para calcular el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 se utilizó la fórmula establecida en el formato y se obtuvo un valor del 2,56%. Además esta muestra se adiciono al agregado fino para realizar el análisis granulométrico seco.

4.1.2.3 Análisis granulométrico del agregado fino. En la tabla 8 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para el análisis granulométrico, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 8

Análisis granulométrico del agregado fino

Abertura del tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Especificaciones	
mm	pulg					Ls	Li
12,7	N. 1/2	0	0	0	100	100	100
9,5	N. 3/8	2,42	0,43	0,43	99,57	100	95
4,8	4	13,31	2,34	2,76	97,24	100	80
2,4	8	35,76	6,28	9,05	90,95	85	50
1,2	16	93,21	16,38	25,43	74,57	60	25
0,6	30	209,58	36,83	62,26	37,74	30	10
0,3	50	128,74	22,62	84,89	15,11	10	2
0,15	100	77,59	13,64	98,52	1,48		
0,08	200	6,81	1,20	99,72	0,28		
Fondo		1,6	0,28	100,00	0,00		
Total		569,02	100,00				
ESTUDIANTES				LABORATORIO No. 3			
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062				ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO NTC 77			
Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067							
fecha				19 de septiembre del 2016			

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

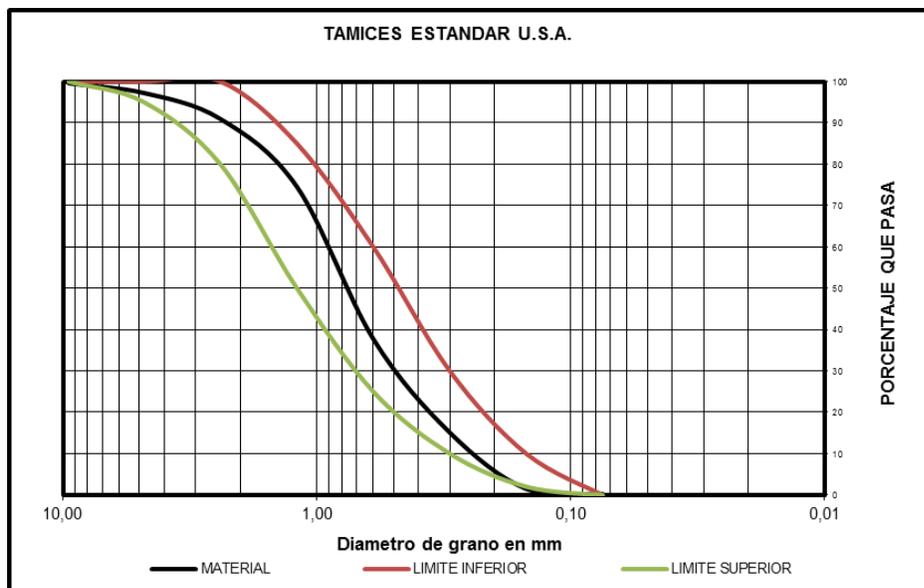


Figura 16. Granulometría agregado fino.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Para el cálculo del módulo de finura se tiene en cuenta la siguiente formula:

$$mf = \frac{\sum \% \text{ ret acumulado (No. 3/8 + No. 4 + \dots + No. 100)}}{100} \quad (8)$$

$$mf = 2,83$$

MODULO DE FINURA

Ideal 2,3 – 3,1

Del análisis granulométrico se considera que la arena presenta un módulo de finura ideal para la fabricación de concreto, debido a que se encuentra en el rango establecido. NTC 174

4.1.2.4 Análisis granulométrico del agregado grueso. En la tabla 9 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para el análisis granulométrico, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 9

Análisis granulométrico del agregado grueso

Abertura del tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Especificaciones	
mm	pulg					Ls	Li
25,4	1	0	0	0,00	100,00	100	100
19	N. 3/4	63	1,26	1,26	98,74	100	90
12,7	N. 1/2	2559,77	51,20	52,46	47,54		
9,5	N. 3/8	1594,28	31,89	84,34	15,66	55	25
4,8	4	672,94	13,46	97,80	2,20	10	0
2,4	8	17,91	0,36	98,16	1,84	5	0
1,2	16	7,5	0,15	98,31	1,69		
Fondo		84,6	1,69	100,00	0,00		
Total		5000	100,00				

fecha	19 de septiembre de 2016
-------	--------------------------

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

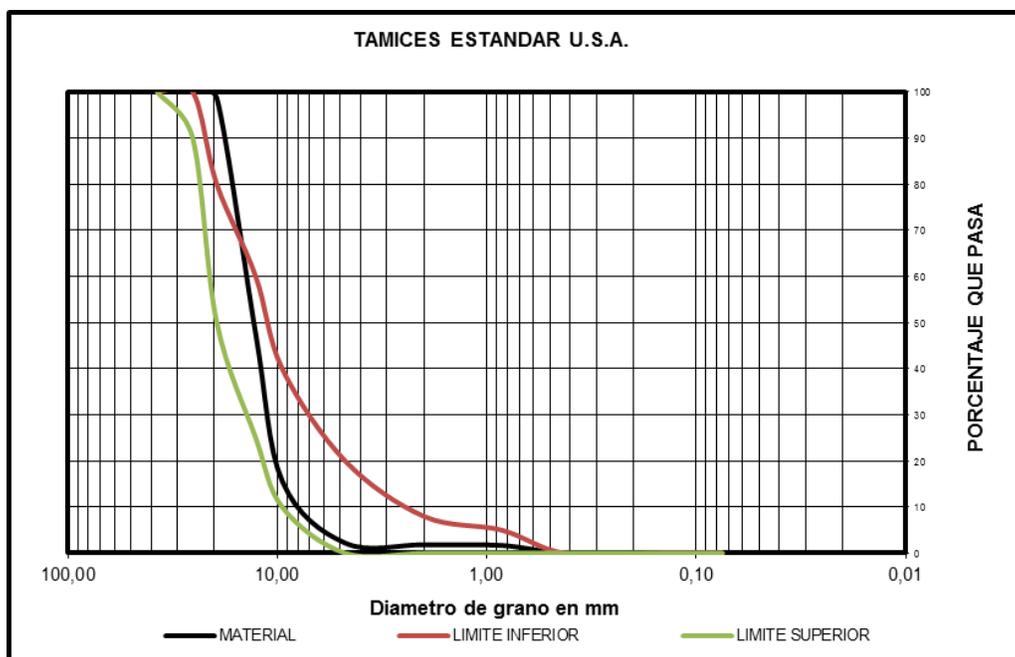


Figura 17. Granulometría agregado grueso.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

De acuerdo con el ensayo de granulometría al agregado grueso se obtuvo:

- Tamaño Máximo (TM) de 1" y Tamaño Máximo Nominal (TMN) igual a $\frac{3}{4}$ ".

Según Niño Hernández, J.R (2010), los resultados de la clasificación de los agregados atendiendo a los parámetros de tamaño máximo y tamaño máximo nominal se hallaron de acuerdo a los siguientes conceptos:

El tamaño máximo corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie de tamices que permite el paso del 100% del material y el tamaño máximo nominal es el de la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

4.1.2.5 Contenido aproximado de materia orgánica en arenas. En la tabla 10 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para el contenido de materia orgánica, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 10

Contenido aproximado de materia orgánica

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA	
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"	
ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 1
Paula Andrea Angarita Pinzón cod. 172062 Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067	CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGANICA EN ARENAS I.N.V.E-212-07
Peso de la muestra (gr)	246,02 gramos = 130 ml
hidroxido de sodio al 3% (ml)	100 ml
No. Correspondiente en la placa organica	2
fecha	20 de septiembre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Los resultados implantados con la comparación en la placa orgánica, arrojan como resultado la placa número dos, de donde, se interpreta que es una arena confiable que tiene materia orgánica tolerable, ya que se considera que la arena contiene componentes orgánicos posiblemente perjudiciales, cuando el color que sobrenada por encima de la muestra es más oscuro que el color normal de referencia o que la placa orgánica No. 3 (color normal estándar).

4.1.2.6 Ensayo de la masa unitaria del agregado Fino. En la tabla 11 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la masa unitaria del agregado, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 11

Masa unitaria del agregado fino

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA						
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"						
ESTUDIANTES			LABORATORIO No. 5			
Paula Andrea Angarita Pinzón cod. 172062			MASA UNITARIA DEL AGREGADO FINO			
Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067			NTC 92			
Peso del recipiente (gr)	7645					
Altura del recipiente:	17,4 cm					
Diametro:	15,4 cm					
Volumen del molde (cm^3)	3241, 01					
	(MUC) Compacta			(MUS) Suelta		
MUESTRA No.	1	2	3	1	2	3
Peso del recipiente + agregado (gr)	12337	12530	12440	11530	11545	11550
Peso Promedio (gr)	12435,67			11541,67		
Peso del agregado (gr)	4790,67			3896,67		
Masa unitaria (gr/cm^3)	1,48			1,2		
$Mu = \frac{\text{Peso del agregado}}{\text{Volumen del molde}}$						
fecha			19 de septiembre de 2016			

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

La masa unitaria compacta obtenida con el ensayo para agregado fino es de 1,48 gr/cm³ y de 1,2 gr/cm³ para masa unitaria suelta, estos valores son admitidos por las especificaciones para concretos NTC 174.

4.1.2.7 Ensayo de la masa unitaria del agregado grueso. En la tabla 12 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la masa unitaria del agregado, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 12

Masa unitaria del agregado grueso

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA						
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"						
ESTUDIANTES				LABORATORIO No. 5		
Paula Andrea Angarita Pinzón cod. 172062				MASA UNITARIA DEL AGREGADO GRUESO		
Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067				NTC 92		
Peso del recipiente (gr)	7645					
Altura del recipiente:	17,4 cm					
Diametro:	15,4 cm					
Volumen del molde (cm^3)	3241, 01					
	(MUC) Compacta			(MUS) Suelta		
MUESTRA No.	1	2	3	1	2	3
Peso del recipiente + agregado (gr)	12792	12803	12760	12317	12355	12403
Peso Promedio (gr)	12785			12358,33		
Peso del agregado (gr)	5140			4713,33		
Masa unitaria (gr/cm^3)	1,59			1,45		
$\text{Mu} = \frac{\text{Peso del agregado}}{\text{Volumen del molde}}$						
fecha				19 de septiembre de 2016		

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

La masa unitaria compacta obtenida con el ensayo para agregado grueso es de 1,59 gr/cm^3 y de 1,45 gr/cm^3 para masa unitaria suelta, estos valores son admitidos por las especificaciones para concretos NTC 174.

4.1.2.8 Gravedad específica y absorción del agregado fino. En la tabla 13 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la gravedad específica y absorción, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 13

Gravedad específica y absorción de agregados finos

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA	
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"	
ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 1
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062	DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCION PARA A GREGADO FINO INVE-
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067	222-07
Agregado saturado con superficie seca (gr)= a	350
peso del picnometro + muestra+ agua (gr) = b	835,6
peso del picnometro lleno de agua (gr)= c	628,6
Muestra seca en el horno (gr) =d	337,1
Gravedad especifica aparente =Gsa (gr/cm ³)	2,59
Gravedad especifica bulk = Gsb (gr/cm ³)	2,36
Gravedad especifica bulk sss = Gsb sss(gr/cm ³)	2,45
absorcion (%)	3,83%
formulas $Gsa = d / (c + d - b)$ $Gsb = d / (c + a - b)$ $Gsb\ sss = a / (c + a - b)$ $Absorcion = ((a - d) / d) * 100$	
fecha	20 de septiembre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Primero se calcula la gravedad específica aparente, 23/23°c definida en la norma INVE 223 de la siguiente forma:

$$G_{sa} = \frac{d}{(c + d - b)} \quad (9)$$

Dónde:

b=peso del picnómetro + muestra+ agua (gr)

c=peso del picnómetro lleno de agua (gr)

d=Muestra seca en el horno (gr)

Luego, se calcula la gravedad específica bulk, 23/23°c de la siguiente forma:

$$G_{sb} = \frac{d}{(c + a - b)} \quad (10)$$

Dónde:

a=Agregado saturado con superficie seca (gr)

b=peso del picnómetro + muestra+ agua (gr)

c=peso del picnómetro lleno de agua (gr)

d=Muestra seca en el horno (gr)

Se calcula la gravedad específica bulk saturada y superficialmente seca, 23/23°C de la siguiente forma:

$$G_{sb\ sss} = \frac{a}{(c + a - b)} \quad (11)$$

Dónde:

a=Agregado saturado con superficie seca (gr)

b=peso del picnómetro + muestra+ agua (gr)

c=peso del picnómetro lleno de agua (gr)

Y terminamos calculando la absorción con la siguiente formula:

$$\% \text{ absorcion} = \frac{a - d}{d} * 100 \quad (12)$$

Dónde:

a=Agregado saturado con superficie seca (gr)

d=Muestra seca en el horno (gr)

De esta manera se calcula el porcentaje de Absorción arrojando como resultado 3,83 %, donde nos damos cuenta que el material cumple con los límites permitidos en la norma NTC-174, donde en su numeral 5 plantea un límite máximo permitido de 5%. En cuanto a la densidad cumple con los parámetros establecidos dentro del rango de valores de 2,3 a 2,8 g/cm³.

4.1.2.9 Gravedad específica y absorción del agregado grueso. En la tabla 14 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la gravedad específica y absorción, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 14

Gravedad específica y absorción de agregados gruesos

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA	
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"	
ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 6
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062	DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067	PARA AGREGADO GRUESO NTC 176
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (gr)	
= a	3000
Peso de la muestra sumergida en agua (gr) =b	1885
Peso de la muestra seca (gr) =c	2940,8
Gravedad especifica aparente =Gsa (gr/cm ³)	2,79
Gravedad especifica bulk = Gsb (gr/cm ³)	2,64
Gravedad especifica bulk sss = Gsb sss(gr/cm ³)	2,69
absorción (%)	2,013
formulas $Gsb=c/(a-b)$ $Gsb\ sss=a/(a-b)$ $Gsa=c/(c-b)$ $abs=((a-c)/c)*100$	
fecha	20 de septiembre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Primero se calcula la gravedad específica bulk, 23/23°C definida en la norma INVE 223 de la siguiente forma:

$$Gsb = \frac{c}{(a - b)} \quad (13)$$

Dónde:

a= peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)

b= peso de la muestra saturada sumergida en agua (gr)

c=Muestra seca en el horno (gr)

Luego, se calcula la gravedad específica bulk saturada, 23/23°C de la siguiente forma:

$$Gsb \text{ sss} = \frac{a}{(a - b)} \quad (14)$$

Dónde:

a= peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)

b= peso de la muestra saturada sumergida en agua (gr)

Se calcula la gravedad específica aparente, 23/23°C de la siguiente forma:

$$Gsa = \frac{c}{(c - b)} \quad (15)$$

Dónde:

b= peso de la muestra saturada sumergida en agua (gr)

c= Muestra seca en el horno (gr)

y terminamos calculando la absorción con la siguiente formula:

$$\% \text{ absorcion} = \frac{a - c}{c} * 100 \quad (16)$$

Dónde:

a=Agregado saturado con superficie seca (gr)

c=Muestra seca en el horno (gr)

De esta manera se calcula el porcentaje de Absorción arrojando como resultado 2,01 %, donde nos damos cuenta que el material cumple con los límites permitidos en la norma NTC-174, donde en su numeral 11 plantea un límite máximo permitido de 5%. En cuanto a la densidad cumple con los parámetros establecidos dentro del rango de valores de 2,3 a 2,8 g/cm³.

4.1.2.10 Ensayo para determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados. En la tabla 15 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la gravedad específica y absorción, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 15

Terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA	
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"	
ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 7
Paula Andrea Angarita Pinzón cod. 172062	DETERMINACION DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS NTC 589
Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067	
AGREGADO FINO	
Muestra inicial:	500 gr
Masa ret. En el tamiz No. 16:	183 gr
Masa ret. En el tamiz No. 20:	181,9 gr
% (TA y PD):	0,6
AGREGADO GRUESO	
Muestra inicial:	3000 gr
Masa retenida en:	
Tamiz No. 1 (1/2): 0 gr	Tamiz No. 4: 0 gr % (TA y PD): 0
Tamiz No. (3/4): 64 gr	Tamiz No. 4: 43,5 gr % (TA y PD): 1,14
Tamiz No. (3/8): 2500 gr	Tamiz No. 4: 2486,3 gr % (TA y PD): 0,55
Tamiz No. 4: 400 gr	Tamiz No. 8: 393,9 gr % (TA y PD): 1,55
	Promedio: 1,08 %
fecha	20 de septiembre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Para el cálculo de porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales (%TA y PD), en los agregados finos o en los tamaños individuales de los agregados gruesos, se hace con la siguiente formula:

$$P = \left[\frac{M - R}{R} \right] \times 100 \quad (17)$$

P= porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales

M = masa de la muestra de ensayo. Para los agregados finos, corresponde a la masa de la porción más gruesa que el tamiz de 1,18 mm (No. 16), para agregados gruesos, corresponde a la masa de la fracción respectiva.

R = masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado.

Para los agregados gruesos el (%TA y PD) es un promedio de los diferentes porcentajes en cada fracción. Siendo así, para agregado fino el (%TA y PD) es del 0.6% y para agregado grueso es del 1.08%, valores aceptados según los numerales 5 y 11 de la NTC 174.

4.1.2.11 Determinación del peso específico del cemento. En la tabla 16 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la gravedad específica y absorción, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 16

Peso específico del cemento

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA			
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"			
ESTUDIANTES		LABORATORIO No. 8	
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062		DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO. ASTM C 188-95 Y AASTHO T-133	
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067			
Cemento a utilizar		cemex	
Peso inicial de la muestra		64	
Sustancia empleada		kerosene	
Volumen inicial (ml)	0	Temperatura (°c)	22
Volumen final (ml)	20	Temperatura (°c)	22
Densidad del cemento (gr/cm ³)		3,2	
Peso específico del cemento		3,2 gr/ cm ³	
fecha		20 de septiembre de 2016	

Nota: Fuente: Autoras de proyecto.

El peso específico del cemento se calculó con la siguiente formula:

$$\rho_c = \frac{\text{peso de la muestra}}{V_f - V_i} \quad (18)$$

El peso específico del Cemento Portland Cemex Tipo I utilizado para el desarrollo de esta

Investigación es de 3.2 g/cm³, lo que demuestra que es un cemento con densidad normal, pues se encuentra entre el rango de 3,1 a 3,2 gr/cm³.

4.1.3 Diseño de las mezclas de concreto. Luego de conocer cada una de las propiedades de los materiales a emplear en el diseño de mezclas, se procedió con el cumplimiento en secuencia de cada uno de los pasos expuestos por Niño Hernández (2010) en su libro tecnología del concreto tomo 1 capítulo 11 diseño de mezclas de concreto de peso normal.

El método empleado en el siguiente diseño tiene como base los procedimientos del American Concrete Institute elaborado por el comité ACI 211 y el de la Road Note Laboratory (RNL). El método americano ACI es el más conocido y ampliamente usado; se fundamenta en el principio básico de la relación agua/ cemento desarrollado por Abrams, el cual consiste en seguir en una forma ordenada una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para 1m^3 de concreto. Sin embargo, cuando los agregados no cumplan con las recomendaciones granulométricas de la norma ASTM C33; se puede emplear el procedimiento alternativo propuesto por la RNL de la Gran Bretaña, que consiste en hacer una optimización granulométrica. (Niño Hernández, 2010).

El procedimiento realizado para el diseño y la elaboración de las mezclas de concreto es el siguiente:

4.1.3.1 Elección del asentamiento. El asentamiento nos determina el control de calidad, cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto, para la determinación de este se hizo uso de la tabla No. 17, donde se tienen en cuenta parámetros como consistencia, grado de trabajabilidad, tipo de estructura y condición de colocación.

En este caso se eligió un rango de 5- 10 con un grado de trabajabilidad y una consistencia igual a media, ya que este es el rango utilizado en estructuras como vigas, fundaciones, muros.

Tabla 17.

Asentamientos

Asentamiento (cm)	Consistencia (tipo de concreto)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condición de colocación
0-2,0	Muy Seca	Muy Pequeño	vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleta
2,0-3,5	Seca	Pequeño	pavimento vibrado con maquina mecánica
3,5-5,0	Semi-Seca	Pequeño	construcciones en masas voluminosas, losas medianamente reforzadas con vibración, fundaciones en concreto simple, pavimentos con vibraciones normales
5,0-10	Media	Medio	losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano, columnas, vigas, fundaciones y muros con vibración
10,0- 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo, trabajos dónde la colocación sea difícil, revestimiento de túneles, no recomendable para compactarlo con demasiada vibración.

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.1.

4.1.3.2 Elección del tamaño máximo nominal. El tamaño máximo nominal está limitado por las dimensiones de la estructura a construir, y se obtuvo mediante el ensayo de granulometría realizado al triturado, además lo corroboramos con ayuda de la tabla No. 18 y se obtuvo un valor de $\frac{3}{4}$ " lo que equivale a 19 mm.

Tabla 18*Tamaño máximo nominal*

Dimensión mínima del elemento	Tamaño máximo nominal en mm (pulgadas)			
	Muros Reforzados, Vigas Y Columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6-15	12 (1/2") - 19 (3/4")	19 (3/4")	19 (3/4")- 25 (1")	19 (3/4")- 38 (1 1/2")
19- 29	19 (3/4")- 38 (1 1/2")	38 (1 1/2")	38 (1 1/2")- 76 (3")	
30- 74	3/8 (1 1/2")- 76 (3")	76 (3")	38 (1 1/2")- 76 (3")	76 (3")
75 o mas	3/8 (1 1/2")- 76 (3")	152 (6")	38 (1 1/2")- 76 (3")	76 (3")- 152(6")

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.2.

4.1.3.3 Estimación del contenido de aire. El aire incluido, beneficia en la manejabilidad y cohesión de la mezcla, y es muy importante anotar cuando la estructura no estará expuesta a ambientes severos como es nuestro caso, donde estimaremos un contenido de aire atrapado con ayuda de la tabla No. 19, donde se enseñan los valores que recomienda el ACI 318 S-08 para varios grados de exposición. El valor alcanzado para nuestro trabajo es de 2

Tabla 19*Contenido aproximado de aire*

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulgadas	mm		Suave	Mediano	Severo
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,1	2,0	3,5	5,0	6,0

1	25,4	1,5	3,0	4,5	6,0
1 ½	38,1	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.3.

4.1.3.4 Estimación de la cantidad de agua de mezclado. La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir un asentamiento dado, depende del tamaño máximo del agregado, la forma y textura de las partículas, así como de la gradación de los agregados, de la cantidad de aire incluido y de los productos reductores de agua cuando estos son usados.

En la tabla No. 20 se muestran los valores en función del asentamiento, tamaño máximo nominal de los agregados y el contenido de aire de la mezcla, donde recalcamos que a este valor obtenido hay que sumarle el agua de absorción de los agregados o restarle el agua libre de los mismos. En nuestro caso se trabaja con un valor de $201,8 \text{ kg/m}^3$ el cual se obtiene de la interpolación de los dos rangos mostrados en la tabla No 12 para un TMN igual a $\frac{3}{4}$ " (19mm), con un asentamiento máximo de 10 cm y considerando que el concreto no tiene aire incluido.

Tabla 20*Agua de mezclado*

condición del contenido de aire	asentamiento (cm)	Agua en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicado							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	
	Cantidad aproximado de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	2	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	
		Cantidad recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.4.

4.1.3.5 Estimación de la relación agua/ cemento. La relación agua / cemento, medida en peso, es uno de los factores más importantes en el diseño de mezclas de concreto y por lo tanto se le debe prestar mucha atención a su escogencia, la relación a/c requerida se determina básicamente por requisitos de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado.

Con ayuda de la figura 11.3 curvas de resistencia a la compresión vs. Relación agua/cemento descrita en el capítulo 11 del libro tecnología del concreto por Niño Hernández y el tabla No. 21 (relación a/c) para una resistencia de 210 Kg/cm² o 3000 Psi como se ha mencionado desde el principio, además de saber que es un concreto sin inductor de aire se obtiene un valor de 0,58 para la relación a/c de nuestro diseño de mezclas.

Tabla 21

Relación agua /cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días en Kg/cm ³ (psi)	Concreto sin inductor de aire. Relación absoluta por peso	Concreto con inductor de aire. Relación absoluta por peso
175 (2 500)	0,65	0,56
210 (3 000)	0,58	0,50
245 (3 500)	0,52	0,46
280 (4 000)	0,47	0,42
315 (4 500)	0,43	0,38
350 (5 000)	0,40	0,35

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.5.

4.1.3.6 Calculo del contenido del cemento. El contenido del cemento se realiza mediante la relación entre el agua de mezclado la relación agua/cemento ya determinadas anteriormente, según la siguiente ecuación tenemos:

$$C = \frac{a}{\frac{a}{c}} \quad (19)$$

$$C = \frac{201,8 \text{ kg/m}^3}{0,58}$$

$$C = 347,93 \text{ kg/m}^3$$

En la figura 18, se muestra la secuencia de los pasos para la dosificación de las mezclas de concreto, con un resumen de los datos obtenidos con los cálculos realizados anteriormente, para una mejor apreciación.

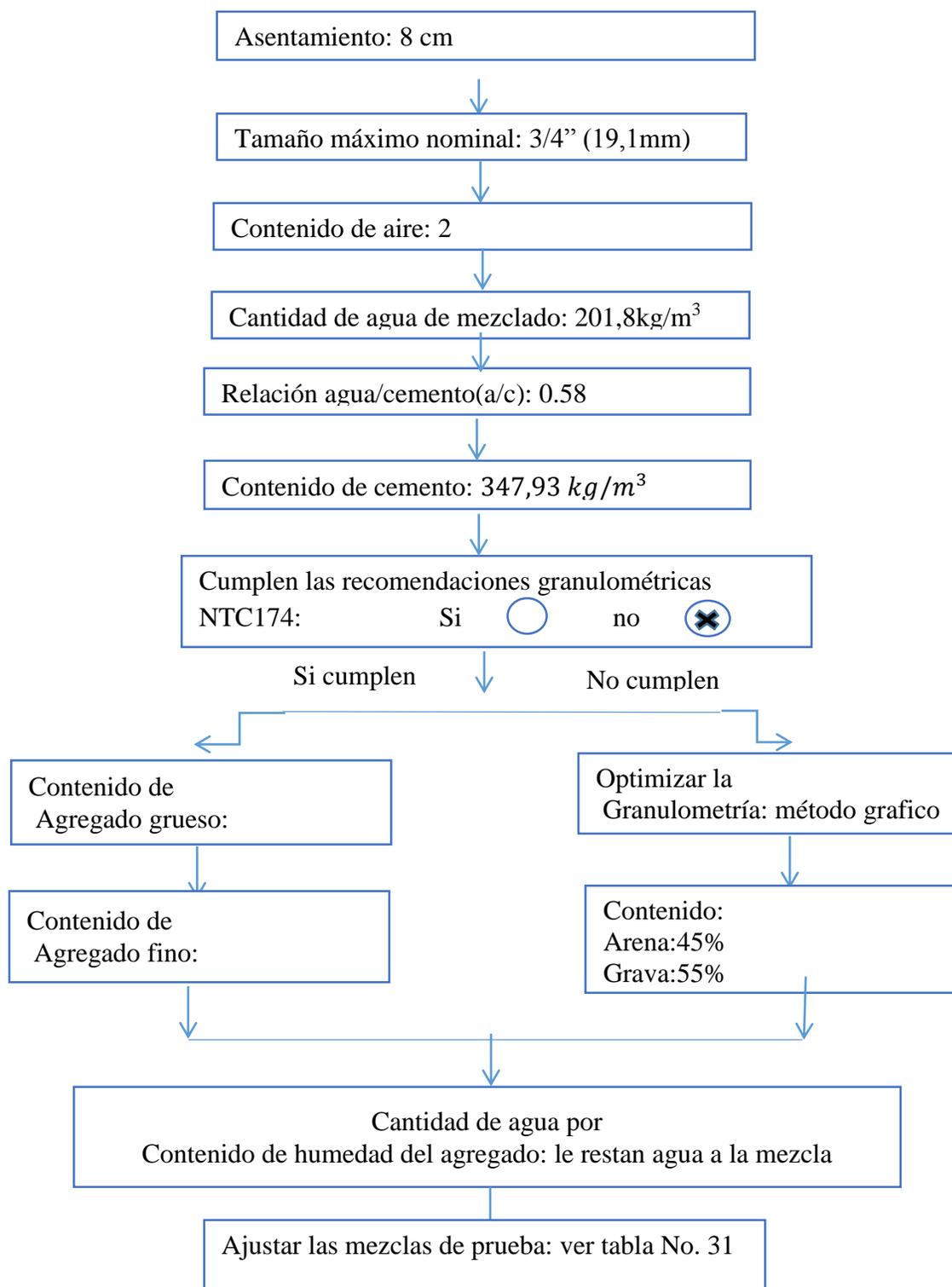


Figura 18. Secuencia de pasos para la dosificación de mezclas.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.1.3.7 Verificación de las especificaciones granulométricas. Con ayuda de las tablas No.22 (recomendaciones granulométricas para agregado fino ASTM C33) y la tabla No. 23 (recomendaciones granulométricas recomendadas para agregado grueso ASTM C33) comprobamos que los agregados no cumplen con las especificaciones recomendadas en la norma ASTM C33 (NTC 174) como se aprecia en la tabla No. 24 (verificación de las especificaciones granulométricas para el agregado fino) y tabla No. 25 (verificación de las especificaciones granulométricas para el agregado grueso), por esta razón no se puede hacer uso del método ACI ya que este solo se utiliza si los agregados cumplen con todas las recomendaciones granulométricas ASTM C33. Por lo que hacemos uso del método de la Road Note Laboratory (RNL), donde hacemos una optimización mezclando la arena y la grava, para lograr relaciones entre el agregado grueso y el agregado fino conveniente. Ver figura 19. Esta combinación se obtiene con ayuda del rango granulométrico recomendado en la tabla No. 26. (Rango granulométrico recomendado)

Tabla 22

Recomendaciones granulométricas para agregado fino ASTM C33

Tamiz		% Pasa	
mm	pulgadas	Límite inferior	Límite superior
9,51	3/8	100	100
4,76	No.4	95	100
2,38	No. 8	80	100
1,19	No. 16	50	85
0,595	No. 30	25	60
0,297	No. 50	10	30
0,149	No. 100	2	10

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.8.

Tabla 23*Recomendaciones granulométricas para agregado grueso ASTM C33*

Agregado	Tamaño Normal mm	Material que pasa cada uno de los siguientes tamices (porcentajes)												
		101,60 mm 4"	90,50 mm 3 1/2"	76,10 mm 3"	64,00 mm 2 1/2"	50,30 mm 2"	38,10 mm 1 1/2"	25,40 mm 1"	19,00 mm 3/4"	12,70 mm 1/2"	9,51 mm 3/8"	4,76 mm No.4	2,38 mm No. 8	1,19 mm No. 16
0	90,50 a 38,10	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
1	64,0 a 38,10			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
2	50,80 a 4,76				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
3	38,10 a 4,76					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
4	25,40 a 4,76						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
5	19,0 a 4,76							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
6	12,70 a 4,76								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
7	9,51 a 2,38									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
8	50,80 a 25,40				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
9	38,10 a 19,0					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5				

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.7.

Tabla 24

Verificación de las especificaciones granulométricas para el agregado fino

Agregado fino					
Abertura del tamiz		% Pasa	Especificaciones		
Mm	pulg		Ls	Li	
12,7	N. 1/2	100	100	100	ok
9,5	N. 3/8	99,57	100	100	x
4,8	4	97,24	100	95	ok
2,4	8	90,95	100	80	ok
1,2	16	74,57	85	50	ok
0,6	30	37,74	60	25	ok
0,3	50	15,11	30	10	ok
0,15	100	1,48	10	2	x
0,08	200	0,28			
Fondo		0,00			

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 25

Verificación de las especificaciones granulométricas para el agregado grueso.

Agregado grueso					
Abertura del tamiz		% Pasa	Especificaciones		
Mm	pulg		Ls	Li	
25,4	1	100,00	100	100	ok
19	N. 3/4	98,74	100	90	ok
12,7	N. 1/2	47,54			
9,5	N. 3/8	15,66	55	20	x
4,8	4	2,20	10	0	ok
2,4	8	1,84	5	0	ok
1,2	16	1,69			
Fondo		0,00			

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 26*Rango granulométrico recomendado*

Tamiz		Límite de los porcentajes que pasan los siguientes tamaños máximos								
pulg	mm	90,6 mm 3 1/2"	76,10 mm 3"	64,00 mm 2 1/2"	50,30 mm 2"	38,10 mm 1 1/2"	25,40 mm 1"	19,00 mm 3/4"	12,70 mm 1/2"	9,51 mm 3/8"
3 1/2	90,60	100								
3	76,10	94 91	100							
2 1/2	64,00	89 83	94 91	100						
2	50,80	82 73	87 80	92 85	100					
1 1/2	38,10	74 62	78 68	83 75	90 85	100				
1	25,40	64 50	68 55	72 60	78 68	87 80	100			
3/4	19,00	58 42	62 47	65 51	71 58	78 68	90 85	100		
1/2	12,70	50 34	53 37	57 41	62 47	68 55	78 68	87 80	100	
3/8	9,51	45 29	48 32	51 35	56 40	62 47	71 58	78 68	90 85	100
No. 4	4,76	36 20	38 22	40 24	44 27	48 32	56 40	62 47	71 58	78 68
No. 8	2,36	28 13	30 15	32 16	34 18	38 22	44 27	48 32	55 40	61 46
No. 16	1,18	22 9	23 10	25 11	27 13	30 15	34 18	38 22	44 27	48 32
No. 30	600u	17 6	18 7	20 8	21 9	23 10	27 13	30 15	34 19	38 22
No. 50	300u	14 4	14 4	15 5	17 8	18 7	21 9	23 10	27 13	30 15
No. 100	150u	11 3	11 3	12 4	13 4	14 5	17 6	18 7	21 9	23 10

Nota. Fuente: Niño Hernández (2010). Tecnología del concreto tomo 1. Capítulo 11: diseño de mezclas de concreto de peso normal, tabla 11.12.

Escogida la especificación granulométrica según el tamaño máximo, se optimiza la granulometría determinando cual es la mejor mezcla de arena y grava para lograr un concreto de buenas propiedades de manejabilidad y resistencia para un contenido de cemento dado. En la práctica, el método más utilizado es el grafico, el cual consiste en dibujar un cuadro de 10 divisiones en ordenadas y 10 divisiones en abscisas. Como se aprecia en la figura 30. Para obtener de esta manera los porcentajes de 45% de agregado fino y 55% de agregado grueso.

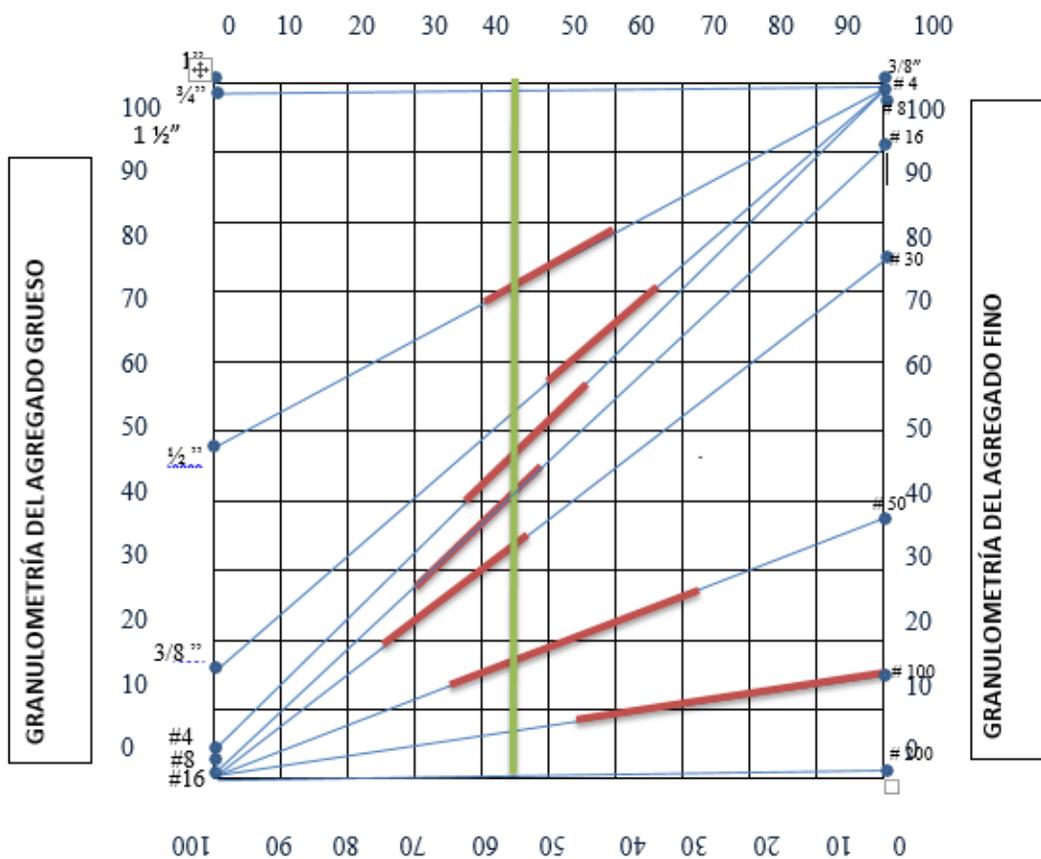


Figura 19. Optimización granulométrica de los agregados

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

De acuerdo con lo anterior, la mezcla óptima de agregados estará compuesta de 45% de arena y 55% de triturado, el valor correspondiente a cada tamiz del material combinado se muestra en la tabla No 31. (Optimización de granulometrías)

Tabla 27*Optimización de granulometrías*

Abertura del tamiz		Grava 55%	Arena 45%	Material combinado
mm	pulg			
25,4	1	100,00	100	100,00
19	N. 3/4	98,74	100	99,31
12,7	N. 1/2	47,54	100	71,15
9,5	N. 3/8	15,66	99,57	53,42
4,8	4	2,20	97,24	44,97
2,4	8	1,84	90,95	41,94
1,2	16	1,69	74,57	34,49
0,6	30	0,00	37,74	16,98
0,3	50	0	15,11	6,80
0,15	100	0	1,48	0,67
0,08	200	0	0,28	0,13
Fondo		0	0,00	0,00

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

- **Propiedades de los agregados**

Tabla 28*Propiedades de los agregados*

Propiedad	Agregado Grueso	Agregado Fino	Unidades
Masa unitaria compacta	1590	1480	Kg/m ³
Masa unitaria suelta	1450	1200	Kg/m ³
Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable	1,08	0,6	%
Densidad aparente	2,79	2,59	Gr/cm ³
Absorción	2,013	3,83	%
Humedad	1,39	3,71	%
Ensayo colorimétrico		2	
Módulo de finura		2,83	

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

- **Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m³ de concreto:**

El procedimiento se basa en la definición de densidad (d).

$$d = \frac{\text{peso de la masa}}{\text{volumen}}$$

El volumen de agregados para un metro cubico de concreto será:

$$\text{volumen de los agregados} = 1\text{m}^3 - (V \text{ agua} + V \text{ aire} + V \text{ cemento}) \quad (20)$$

$$\text{volumen de los agregados} = 1\text{m}^3 - (0,2\text{m}^3 + 0,02\text{m}^3 + 0,11\text{m}^3)$$

$$\text{volumen de los agregados} = 0,67\text{m}^3$$

Este valor es multiplicado por los porcentajes obtenidos del método grafico de 45% y 55% para arena y grava respectivamente, para luego determinar su peso en kilogramos por medio de la densidad aparente. Ver tabla 29.

Tabla 29

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

Material	Peso W (Kg/m3)	Densidad aparente (Kg/m3)	Volumen (m3)	volumen de los materiales sin agregados	volumen de los agregados
Agua	201,80	1000,00	0,20		
Aire	0,00	0,00	0,02	0,33	0,67
Cemento	347,93	3200,00	0,11		

Agregado grueso	1027,30	2790,00	0,37
Agregado fino	780,27	2590,00	0,30
total			1

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Pero estos valores no son los definitivos, aclarando que se deben ajustar de acuerdo a su absorción y humedad, determinando si aportan o le restan agua a la mezcla de concreto.

/4.1.3.8 Diferencia entre absorción y humedad

Agregado Grueso

$$\Delta = \%w - \%abs \quad (21)$$

$$\Delta = 1,39 - 2,13$$

$$\Delta = 0,74 \text{ le resta agua a la mezcla}$$

$$A = m(h \pm abs)(4)$$

$$A = 1027,30 * (-1,39\% + 2,13\%)$$

$$a = 7,60$$

Dónde:

A: sobrante o faltante de agua

m: peso de la muestra en kilogramos

h: % de humedad del agregado

abs: % absorción del agregado

Agregado Fino

$$\Delta = \%w - \%abs \quad (22)$$

$$\Delta = 3,71 - 3,83$$

$\Delta = 0,12$ le resta agua a la mezcla

$$a = m(h \pm abs) \quad (23)$$

$$a = 780,27 * (+3,71\% - 3,83\%)$$

$$a = 0,94$$

Dónde:

A: sobrante o faltante de agua

m: peso de la muestra en kilogramos

h: % de humedad del agregado

abs: % absorción del agregado

Ambos agregados restan agua a la mezcla

$$\Sigma a = 7,60 + 0,94 \quad (24)$$

$$\Sigma a = 8,54$$

El nuevo contenido de agua es:

$$agua = 201,8 \text{ kg} + 8,54 \quad (25)$$

$$agua = 210,34 \text{ kg}$$

4.1.3.9 Estimación del nuevo contenido de arena y grava. Conocido el volumen de los agregados y calculada la densidad aparente promedio de los mismos, puede determinarse la masa de la grava y de la arena.

La densidad aparente promedio de agregados es un promedio ponderado con base en los porcentajes del cuadro granulométrico, se calcula por medio de la expresión (26)

$$d \text{ prome} = (\%f)(densi \text{ fino}) + (\%g)(densi \text{ grava}) \quad (26)$$

$$d \text{ prome} = (45\%)(2590) + (55\%)(2790)$$

$$d \text{ prome} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

Dónde:

d prome: densidad promedio

%f: porcentaje de arena obtenido del método grafico

Densi fino: densidad aparente agregado fino

%g: porcentaje de grava obtenido del método grafico

Densi grava: densidad aparente agregado grueso

Con los datos anteriores, se tienen ya la totalidad de los ingredientes de la mezcla para 1 m³ de concreto, por lo que se elabora una tabla similar a la tabla No. 29. Teniéndose en cuenta que:

$$d \text{ prom} = \frac{Wt}{Vt} \quad (27)$$

Dónde:

d_{prom} : densidad promedio

W_f : masa total de agregados por m^3 de concreto

V_t : volumen total de agregados por m^3 de concreto

Ahora se determinan los pesos de los agregados

Tabla 30

Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m^3 de concreto con el ajuste del agua de mezclado

Material	Peso W (Kg/m ³)	Densidad aparente (Kg/m ³)	Volumen (m ³)	volumen de los materiales sin agregados	volumen de los agregados
Agua	210,34	1000,00	0,21		
Aire	0,00	0,00	0,02		
Cemento	347,93	3200,00	0,11		
Agregado grueso	1014,20	2790,00	0,36	0,34	0,66
Agregado fino	770,32	2590,00	0,30		
total			1		

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Con la ecuación anterior, se obtiene:

$$W_t = d_{prom} * V_t * \%g \text{ o } \%f \quad (28)$$

Agregado Grueso

$$w_g = d_{promedio} * (\text{volumen de agregados}) * (\%g)$$

$$wg = 2700 * (0.66) * (55\%)$$

$$wg = 980,1kg$$

Agregado Fino

$$wg = d \text{ promedio} * (\text{volumen de agregados}) * (\% g)$$

$$wg = 2700 * (0.66) * (45\%)$$

$$wg = 801,9kg$$

Con estos nuevos ajustes, como el que se hizo al agua de mezclado y a la cantidad de agregados se obtiene la siguiente tabla de resumen con las cantidades de material necesario para la elaboración de 1 m³ de concreto.

Tabla 31

Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m³ de concreto con todos los ajustes pertinentes.

Material	Peso W (Kg/m3)	Densidad aparente (Kg/m3)	Volumen (m3)	volumen de los materiales sin agregados	volumen de los agregados
Agua	210,34	1000,00	0,21		
Aire	0,00	0,00	0,02		
Cemento	347,93	3200,00	0,11		
Agregado grueso	980,10	2700,00	0,36	0,34	0,66
Agregado fino	801,90	2700,00	0,30		
total			1		

Dosificación			
Agua	Cemento	Agregado grueso	Agregado fino
0,60	1,00	2,82	2,30

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Ahora bien, como se sabe se desea realizar este diseño de mezclas para un volumen específico inferior a 1 m^3 del mismo, por lo que se realiza una simple regla de tres para obtener los valores deseados como también los porcentajes de viruta a utilizar. Observar las siguientes tablas con las proporciones de los materiales necesarios para nuestro caso.

- **Determinación del volumen a emplear:**

Volumen Del Cilindro:

$$volumen\ cilindro = \pi * r^2 * h \quad (29)$$

$$volumen\ cilindro = \pi * (0,075m)^2 * 0,3\ m$$

$$volumen\ cilindro = 0,0053\ m^3$$

Dónde:

r: radio del cilindro

h: altura del cilindro

Volumen De La Viga

$$\text{volumen de la viga} = b * h * l \quad (30)$$

$$\text{volumen de la viga} = 0,15m * 0,15m * 0,5 m$$

$$\text{volumen de la viga} = 0,011m^3$$

Dónde:

b: base de la viga

h: altura de la viga

l: largo de la viga

Para los ensayos que se realizaran, se necesitaron 27 unidades de vigas y 27 unidades de cilindros, y de esta manera lograr realizar nuestra investigación, por lo que tenemos un volumen total de concreto igual a:

$$\begin{aligned} &\text{volumen total de concreto} \\ &= ((\text{volumen de viga} * 27 \text{ unidades}) \\ &+ (\text{volumen de cilindro} * 27 \text{ unidades})) \quad (31) \end{aligned}$$

$$\text{volumen total de concreto} = (0,0053 m^3 * 27) + (0,011m^3 * 27)$$

$$\text{volumen total de concreto} = (0,44 \text{ m}^3)$$

A esto se le debe adicionar un 5% del desperdicio.

$$\text{volumen total de concreto} = (0,46 \text{ m}^3)$$

Aclarando que se realizaran 9 vigas y 9 cilindros con cada porcentaje de adición de viruta, por ensayo de laboratorio, puesto que se ensayan a las edades de 7, 14 y 28 días, por esta razón el volumen disminuye para cada diseño de mezcla.

Tabla 32

Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 0,15m³ de concreto sin adición de viruta de acero

Material	Peso W (Kg)	Densidad aparente (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	32,39	1000,00	0,03
Aire	0,00	0,00	0,02
Cemento	53,58	3200,00	0,02
Agregado grueso	150,94	2700,00	0,05
Agregado fino	123,49	2700,00	0,04
Total			0,15

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 33

Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 0,15m³ de concreto con adición del 10% de viruta de acero

Material	Peso W (Kg)	Densidad aparente (Kg/m3)	Volumen (m3)
Agua	32,39	1000,00	0,03
Aire	0,00	0,00	0,02
Cemento	53,58	3200,00	0,02
Agregado grueso	150,94	2700,00	0,05
Agregado fino	111,14	2700,00	0,04
viruta	12,35		
Total			0,15

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 34

Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 0,15m³ de concreto con adición del 12% de viruta de acero.

Material	Peso W (Kg)	Densidad aparente (Kg/m3)	Volumen (m3)
Agua	32,39	1000,00	0,03
Aire	0,00	0,00	0,02
Cemento	53,58	3200,00	0,02
Agregado grueso	150,94	2700,00	0,05
Agregado fino	108,67	2700,00	0,04
viruta	14,82		
Total			0,15

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.2. Propiedades mecánicas de las muestras de concreto con cada adición de viruta de acero a las diferentes edades.

4.2.1 Elaboración y ensayos de las mezclas de concreto. De acuerdo con la norma NTC 1377 y la INVE 402 -07 la mezcla se realizó de siguiente forma: primeramente se obtuvieron los pesos necesarios establecidos en el diseño de mezclas, incluyendo en este la viruta del acero, la cual se obtuvo por medio de los ornamentadores del acero en la ciudad de Ocaña, y se preparó de manera manual con ayuda de unas tijeras cortadoras de metal logrando obtener partículas iguales e inferiores a 7 mm para luego pasarlo por el tamiz de 3/8" y obtener el peso deseado, ver figura 20.

Otra aclaración es que se usó una mezcladora eléctrica, donde procedimos a introducir el agregado grueso con una pequeña parte del agua a utilizar, se puso en funcionamiento solo unas cuantas revoluciones, se adicionó el agregado fino, el cemento y el agua restante con la mezcladora en funcionamiento, seguidamente se mezcló el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estuvieron en la mezcladora, luego se apagó durante otros 3 minutos y previamente se puso nuevamente en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final. Ver figura 21.



Figura 20. Preparación de la viruta de acero.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.



Figura 21. Elaboración de las mezclas de concreto.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Posteriormente, se procedió con el cálculo del asentamiento y del peso unitario del concreto fresco, los cuales se mencionarán posteriormente, y después continuamos con la colocación del concreto en los moldes con ayuda de un palustre, los cuales ya se encontraban listos y engrasados con aceite para vehículos.

La colocación del concreto se hizo por medio de capas, tres y dos capas para cilindros y vigas respectivamente, adicionalmente cada capa se apisono con una varilla metálica con su punta redondeada veinticinco veces y se golpeaba con una porra de caucho los orillos del molde para liberar el aire atrapado. Ver figura 22.



Figura 22. Preparación de cilindros y vigas

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Luego de tener el concreto en los moldes, se procedió a cubrirlos con un plástico humedecido, para evitar que este le quitara agua a la mezcla, se esperaron 24 horas y se retiraron

los moldes y se introdujeron en agua para el respectivo curado de las muestras y poder ensayarlos a las edades ya mencionadas. Ver figura 23.



Figura 23. Curado de las muestras.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.2.2 Ensayos de concreto Fresco. Para la elaboración de ensayos en estado fresco se tuvo en cuenta el tiempo después de realizada la mezcla, ya que se debía realizar en el menor tiempo posible para evitar pérdida de humedad y alterar sus resultados.

4.2.2.1. Asentamiento del concreto (SLUMP). De acuerdo con la norma INVE 404-07, humedecimos el molde (cono de abrams) y se colocó sobre una superficie horizontal y no absorbente. Se sujetó firmemente con los pies y se llenó con la muestra de concreto en tres capas,

cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente. Cada capa se apisono con 25 golpes con la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal, después que la última capa ha sido compactada se pulió a ras la superficie del concreto. Inmediatamente el molde se retira mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se imparta movimiento lateral o de torsión al concreto. Inmediatamente después, se midió el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen. Ver figura 24.



Figura 24. Asentamiento del concreto.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.2.2.2 Peso unitario y rendimiento del hormigón fresco. De acuerdo con la norma ASTM C 138 primeramente se pesó el molde y procedimos a Colocar el hormigón dentro del recipiente, en tres capas de aproximadamente igual volumen, cada capa se compacto penetrando 25 veces con la varilla, distribuyendo las penetraciones uniformemente en toda la sección transversal del recipiente, además golpeamos firmemente de 10 a 15 veces los lados del

recipiente con el mazo, cada una de las tres capas, para así llenar los vacíos y eliminar las burbujas de aire que podrían quedar atrapadas en el concreto, y por ultimo obtuvimos el peso del molde más la muestra y procedimos a realizar los cálculos pertinentes para determinar el peso unitario del concreto fresco. Ver figura 25.



Figura 25. Determinación peso unitario del concreto fresco.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.2.3. Ensayos de concreto endurecido.

4.2.3.1 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Según la norma INVE 410-07 y la NTC 673 El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. Por lo que una vez cumplidas las edades de 7, 14 y 28 días de curadas las muestras, se realizó el ensayo inmediatamente después de que se removieron del lugar de curado, para cada uno de los especímenes el procedimiento fue el siguiente:

Después de tomar las dimensiones y el respectivo peso para cada uno de los especímenes, Se colocó el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior. Se limpiaron con un paño las superficies de los bloques superior e inferior, se colocó el espécimen sobre el bloque inferior. Se alineo cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior; luego con ayuda del software se introducen los datos de cada muestra y el respectivo asentamiento de la mezcla, además se determina la velocidad con la que se aplicara la fuerza, en este caso se usó una velocidad de 0,25 Mpa y se le da inicio al ensayo, aplicando la carga hasta que el indicador señalo un decrecimiento de manera continua y el cilindro muestra un patrón de falla bien definido. Se registró la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anotó el patrón de falla de acuerdo con los modelos presentes en las normas ya mencionadas, procediendo por ultimo a realizar los cálculos pertinentes. Ver figura 26. En el caso de la adición de viruta en el porcentaje del 12% la resistencia medida es muy inferior a la esperada, por lo que se examinó el cilindro para detectar zonas con vacíos o con evidencias de segregación, llegando al punto de realizar nuevos cilindros como testigos de estos resultados.



Figura 26. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.2.3.2 Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión. Proporciona una relación de esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado establecido además estos valores se pueden utilizar en el dimensionamiento de elementos estructurales reforzados y no reforzados para establecer cantidades de acero de refuerzo.

Para realizar este ensayo fue necesario la elaboración de cilindros de concreto con el diseño de mezclas óptimo, se realizaron 27 cilindros 9 de ellos con cada adición de viruta y la muestra patrón. El procedimiento realizado fue el siguiente: se tomó un espécimen moldeado cilíndricamente según la NTC 673 antes del ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días, se

tomaron las medidas del mismo antes del ensayo, se colocó el espécimen en el equipo de medición, se le instaló un deformímetro longitudinal y otro transversal, se le aplicó carga, se registraron tres lecturas y se determinó el valor de la deformación en el 40% de la carga última.

Ver figura 27.



Figura 27. Ensayo módulo de elasticidad y relación de poisson.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.2.3.3 Ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). Los resultados de este ensayo se calculan y reportan como módulo de rotura y se pueden usar para determinar el cumplimiento con las especificaciones.

La NTC 2871 establece un diagrama de un aparato de carga que se debe cumplir para la realización del ensayo, ya que garantiza que las fuerzas aplicadas a la viga son perpendicularmente.

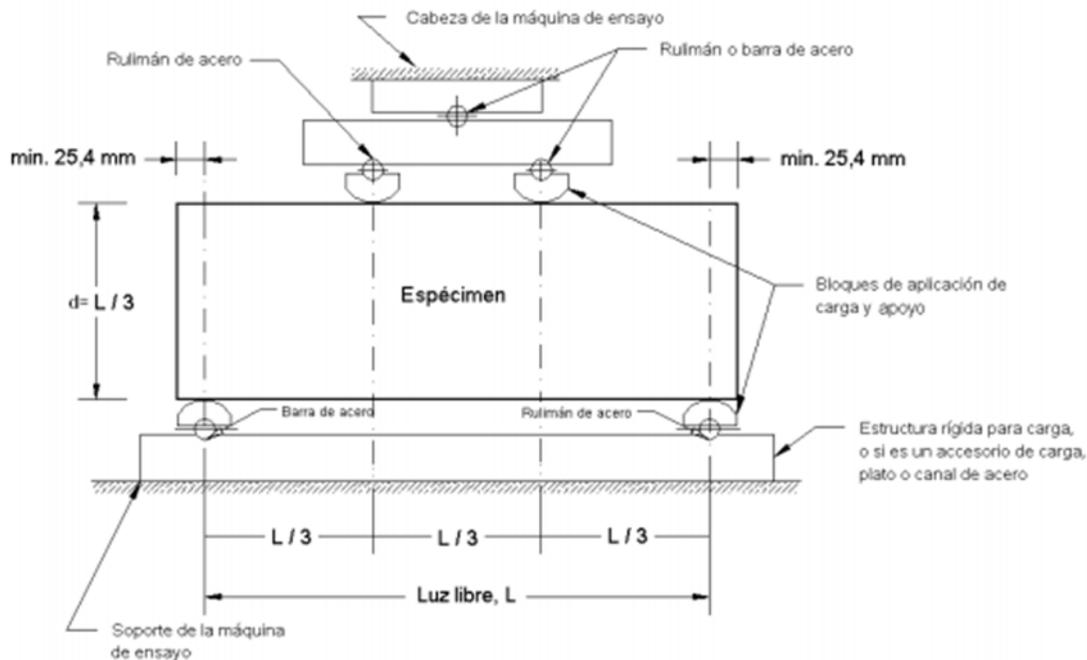


Figura 28. Vista esquemática apropiada para la determinación de la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso del método de carga en los tercios medios.

Fuente: NTC 2871.

El ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes curados en ambiente húmedo fue el siguiente, luego de sacar las muestras de la pileta se procedió a prepararlo según la figura anterior, tomar las correspondientes medidas tales como ancho, alto y largo, inmediatamente se colocó lateralmente en la posición que se fundió y se centró en los bloques de soporte, se procedió a aplicar carga constante hasta el punto de rotura, figura 29. Finalmente después del ensayo se determinó las dimensiones de las probetas fracturadas, se tomaron tres mediciones para cada dirección, y se obtuvo el ancho y la altura promedio. Ver figura 30.



Figura 29. Preparación de la viga de concreto

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.



Figura 30. Viga fracturada

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.2.4 Resultados de los ensayos del concreto fresco y endurecido

4.2.4.1 Asentamiento del concreto (slump). En la tabla 35 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para la asentamiento del concreto o slump, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas.

Tabla 35

Asentamiento del concreto (slump)

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA	
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"	
ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 9
Paula Andrea Angarita Pinzón cod. 172062 Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP) INVE 404-07
No. De capas	3
No. De golpes	25
Asentamiento (cm)	8
fecha	11 de octubre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Debido a que se realizaron tres clases de mezclas, por causa de los diferentes porcentajes de viruta adicionada, este ensayo se le realizó a cada una de estas, arrojando siempre como resultado 8 cm, el cual es el valor esperado, por lo que no fue necesario realizar el ajuste por asentamiento.

4.2.4.2 Peso unitario y rendimiento del hormigón fresco. En la tabla 36 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para determinar el peso unitario y rendimiento del hormigón fresco, determinándose el resultado necesario para posterior análisis.

Tabla 36

Peso unitario y rendimiento del hormigón fresco

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA	
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"	
ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 10
Paula Andrea Angarita Pinzón cod. 172062	PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO DEL HORMIGON FRESCO ASTM C138
Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067	
Peso del molde (kg)	8,56
Diametro del molde (m)	0,15
Altura del molde (m)	0,3
Volumen del molde (m3)	0,01
materiales necesario para el ensayo	
Agua (kg)	4,20
Cemento (kg)	6,95
Grava (kg)	19,60
Arena (kg)	16,00
Peso del material dosificado (kg)	46,75
Peso del molde + muestra (kg)	21,43
Densidad (Peso unitario) (kg/m3)	2427,71
Densidad (Peso unitario) (kg/m3)	0,02
fecha	11 de octubre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

En este caso, para la determinación del peso unitario y el rendimiento se hicieron uso de las siguientes ecuaciones presentes en la norma ASTM C138:

$$D = \frac{Mc - Mm}{Vm} \quad (32)$$

Dónde:

D= densidad o peso unitario del concreto fresco

Mc= peso del molde más muestra de concreto

Mm= peso del molde

Vm= volumen del molde

Al mismo tiempo se determinó el rendimiento, con el fin de usarse para el ajuste por asentamiento y lograr determinar las nuevas cantidades para un metro cubico de concreto en el diseño de mezclas, pero como se mencionó anteriormente, esto no fue necesario, debido a que el resultado del asentamiento fue el esperado.

$$y = \frac{P1}{P2} \quad (33)$$

Dónde:

Y= rendimiento del concreto

P1= peso del material dosificado

P2= peso unitario del concreto fresco

4.2.4.3 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto. En las tablas 37, 38 y 39 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión de los cilindros, determinándose el resultado necesario para posterior análisis.

Tabla 37

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto "Muestra patrón"

ESTUDIANTES		LABORATORIO No. 11						
Paula Andrea Angarita Pinzón cód.. 172062		RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCCRETO INVE 410-07						
Heyfa Jesney Rincon Gaona cód.. 172067								
MUESTRA PATRON SIN ADICION DE VIRUTA								
No. Cilindro	Edad (días)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Desarrollo (%)	Tipo de falla
Mp 1	7	152,22	303,00	18198,45	179,21	9,85	65,64	tipo 4
Mp 2	7	150,68	303,00	17832,08	181,09	10,16	67,70	tipo 6
Mp 3	7	151,05	302,00	17919,77	183,11	10,22	68,12	tipo 2
Promedio						10,07	67,15	
Mp 4	14	150,80	304,00	17860,50	218,85	12,25	61,27	tipo 3
Mp 5	14	152,31	304,00	18219,97	216,92	11,91	79,37	tipo 3
Mp 6	14	151,80	303,00	18098,16	229,60	12,69	84,58	tipo 3
Promedio						12,28	75,07	
Mp 7	28	151,52	305,00	18031,46	269,04	14,92	74,60	tipo 3
Mp 8	28	151,60	305,00	18050,50	293,47	16,09	80,44	tipo 3
Mp 9	28	151,86	305,00	18112,47	272,35	15,04	75,18	tipo 2
Promedio						15,35	76,74	
Resistencia de diseño				21,1 Mpa	fecha	8 de noviembre de 2016		

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 38

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto "Adición del 10%"



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
OCAÑA- COLOMBIA**

"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"

ESTUDIANTES	LABORATORIO No. 11
Paula Andrea Angarita Pinzón cód.. 172062	RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE
Heyfa Jesney Rincon Gaona cód.. 172067	CONCRETO INVE 410-07

MUESTRA REEMPLAZANDO 10 % DE ARENA POR VIRURA								
No. Cilindro	Edad (días)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Desarrollo (%)	Tipo de falla
10 % 1	7	152,37	303,00	18234,33	234,17	12,84	85,61	tipo 6
10 % 2	7	151,15	303,00	17943,50	242,28	13,50	90,01	tipo 6
10 % 3	7	151,57	302,00	18043,36	226,60	12,56	83,72	tipo 3
Promedio						12,97	86,45	
10 % 4	14	152,58	301,00	18284,63	258,91	14,16	70,80	tipo 3
10 % 5	14	152,17	304,00	18186,49	27,57	1,52	7,58	tipo 3
10 % 6	14	151,26	303,00	17969,63	212,70	11,84	59,18	tipo 3
Promedio						13,00	64,99	
10 % 7	28	152,60	306,00	18289,42	302,81	16,56	82,75	tipo 3
10 % 8	28	151,68	304,00	18069,56	334,12	18,49	92,50	tipo 2
10 % 9	28	151,49	306,00	18024,32	271,43	15,06	78,10	tipo 3
Promedio						16,70	84,45	

OBSERVACIONES: a la edad de 14 días, la muestra 10% 5 no se tiene en cuenta para el análisis de datos, puesto que esta muestra se realizó con el material sobrante de la mezcla y los valores no son los esperados si se comparan con los demás cilindros ensayados

Resistencia de diseño	21,1 Mpa	fecha	9 de noviembre de 2016
-----------------------	----------	-------	------------------------

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 39

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto "Adición del 12%"



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
OCAÑA- COLOMBIA**

"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"

ESTUDIANTES				LABORATORIO No. 11				
Paula Andrea Angarita Pinzón cód.. 172062				RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCCRETO INVE 410-07				
Heyfa Jesney Rincon Gaona cód.. 172067								
MUESTRA REEMPLAZANDO 12 % DE ARENA POR VIRURA								
No. Cilindro	Edad (días)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Desarrollo (%)	Tipo de falla
12 % 2	7	152,14	310,00	18179,32	72,19	3,87	15,50	tipo 3
12 % 3	7	154,03	310,00	18633,80	77,60	4,27	21,34	tipo 3
12% T 1	7	152,42	306,00	18246,30	133,57	7,32	48,80	tipo 3
Promedio						7,32	48,80	
12 % 5	14	153,04	310,00	18395,04	83,84	4,56	22,79	tipo 3
12 % 6	14	152,29	310,00	18215,19	77,83	4,27	42,73	tipo 3
12% T 2	14	153,18	301,00	18428,71	138,94	7,54	37,70	tipo 3
Promedio						7,54	37,70	
12 % 8	28	151,57	310,00	18043,36	109,76	6,08	27,65	tipo 3
12 % 9	28	151,23	310,00	17962,50	105,52	5,87	29,37	tipo 3
12% T 3	28	152,86	306,00	18351,80	168,09	9,16	45,80	tipo 3
Promedio						9,16	45,80	

OBSERVACIONES: para esta mezcla, los anlisis se haran con los valores de las muestras testigo, ya que las muestras realizadas anteriormente, no arrojan los resulatdos esperados.

Resistencia de diseño	21,1 Mpa	fecha	17 de noviembre de 2016
-----------------------	----------	-------	-------------------------

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

En este caso, se hizo uso del computador del laboratorio, el cual consta de un software que permite calcular cada uno de los paramentos descritos en la tabla, y este se basa en la siguiente ecuación:

$$F'c = \frac{P \max}{Area} \quad (34)$$

Dónde:

F'c= resistencia a la compresión

P Max= carga máxima que soporta el espécimen

Área= área de la sección transversal del espécimen

Además, cabe resaltar que para cada mezcla se ensayaron tres especímenes a cada una de las edades descritas, para luego tomar un promedio de los tres como valor absoluto en los análisis pertinentes.

Como se esperaba, se presenta un aumento en la resistencia para las mezclas con adición de viruta, aclarando que para el porcentaje de 12% de reemplazo de arena por viruta, los resultados no fueron los esperados, debido a que la arena a usar se encontraba más húmeda y se alteraron las mezclas, por lo que se decidió hacer unas muestras testigos que son los valores que tendremos en cuenta para las conclusiones.

4.2.4.4 Ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión. En las tablas 40, 41 y 42 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para determinar la

resistencia a la flexión en vigas de concreto, determinándose el resultado necesario para posterior análisis.

Tabla 40

Resistencia a la flexión del concreto "Muestra patrón"

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA					
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"					
ESTUDIANTES			LABORATORIO No. 12		
Paula Andrea Angarita Pinzón cod. 172062		Heyfa Jesney Rincón Gaona cod. 172067		Ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexion (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios) NTC 2871	
Muestra Patron (MP) sin adición de viruta					
Edad 7 días					
No.	Carga maxima (N)	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Modulo de rotura (Mpa)
Mp 1	15431	484,2	151,98	155,36	2,04
Mp 2	15330	484,2	151,73	153,91	2,07
Mp 3	17282	484,2	152,04	155,01	2,29
Promedio					2,13
Edad 14 días					
Mp 4	18074	484,2	153,26	150,28	2,53
Mp 5	18743	494,2	152,81	149,72	2,70
Mp 6	18887	494,2	155,6	151,53	2,61
Promedio					2,62
Edad 28 días					
Mp 7	23032	494,2	155,04	154,39	3,08
Mp 8	22636	494,2	148,54	153,35	3,20
Mp 9	22595	494,2	152,15	152,85	3,14
Promedio					3,14
				Fecha	8 de noviembre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 41

Resistencia a la flexión del concreto "Adición del 10%"

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA					
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"					
ESTUDIANTES			LABORATORIO No. 12		
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062			Ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexion (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios) NTC 2871		
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067					
Concreto adicionado con 10% de viruta					
Edad 7 dias					
No.	Carga maxima (N)	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Modulo de rotura (Mpa)
10% 1	17624	484,2	155,53	151,77	2,38
10% 2	16477	484,2	153,4	153,93	2,19
10% 3	15944	484,2	154,93	152,05	2,16
Promedio					2,24
Edad 14 dias					
10% 4	20430	484,2	154,44	152,92	2,74
10% 5	20294	492,2	153,27	152,1	2,82
10% 6	19283	492,2	155,41	151,53	2,66
Promedio					2,74
Edad 28 dias					
10% 7	22404	492,2	152,18	151,28	3,17
10% 8	21468	492,2	150,10	150,90	3,09
10% 9	23599	492,2	153,28	152,10	3,28
Promedio					3,18
Fecha					9 de noviembre de 2016

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 42

Resistencia a la flexión del concreto "Adición del 12%"

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA					
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"					
ESTUDIANTES			LABORATORIO No. 12		
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062			Ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios) NTC 2871		
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067					
Concreto adicionado con 12% de viruta					
Edad 7 días					
No.	Carga máxima (N)	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Modulo de rotura (Mpa)
12% 1	18716	484,2	155,58	155,46	2,41
12% 2	9409	484,2	153,88	158,15	1,18
12% 3	10303	484,2	155,16	158,14	1,29
Promedio					1,63
T1	13138	492,2	153,06	155,13	1,76
Edad 14 días					
12% 4	11226	484,2	153,63	156,07	1,45
12% 5	9191	492,2	154,55	158,16	1,17
12% 6	8228	492,2	155,64	158,82	1,03
Promedio					1,22
T2	19973	492,2	155,86	155,01	2,63
Edad 28 días					
12% 7	17938	492,2	156,40	158,57	2,25
12% 8	16572	492,2	153,23	158,74	2,11
12% 9	16545	492,2	152,73	157,18	2,16
Promedio					2,17
T3	23086	492,2	153,98	156,32	3,02

OBSERVACIONES: Se realizaron muestras testigos a los 7, 14 y 28 días para confirmar los datos obtenidos en los ensayos anteriores.

Fecha 17 de noviembre de 2016

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Para calcular cada uno de los parámetros descritos en la tabla, se hace necesario saber si la fractura se inicia en la superficie sometida a tensión dentro del tercio medio de la distancia entre apoyos, siendo así se calcula como sigue:

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (35)$$

Dónde:

R = Módulo de rotura (Mpa)

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo (N)

L = Distancia entre apoyos (mm)

b = Ancho promedio de la probeta fracturada (mm)

d = Altura promedio del espécimen en el lugar de la fractura (mm)

Y si la fractura ocurre en la superficie sometida a tensión por fuera del tercio medio en la distancia entre apoyos, en no más de un 5% de esta (Si excede el 5% no se debe tener en cuenta el resultado), el módulo se calcula así:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (36)$$

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de la viga sometida a tensión (mm)

Todas nuestras probetas se fracturaron dentro del tercio medio de la viga por lo que se hizo necesario la utilización de la primera ecuación.

4.2.4.5 Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión. En las tablas 43, 44 y 45 se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para determinar el módulo de elasticidad y relación de poisson, determinándose el resultado necesario para posterior análisis.

Tabla 43

Módulo de elasticidad y relación de poisson del concreto a compresión "Muestra patrón"

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA- COLOMBIA							
"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"							
ESTUDIANTES				LABORATORIO No. 13			
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062		Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067		Ensayo para determinar el modulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresion (NTC 4025)			
Muestra Patron (MP) sin adición de viruta							
Edad 7 días							
No.	Esfuerzo 40% = S2 (Mpa)	Esfuerzo S1 (Mpa)	Deformación E2	Mod. Elasticidad secante = E (Mpa)	Def. Transversal Et1	Def. Transversal Et2	Relacion de poisson U
Mp 1	5,86	0,00	0,00038	17679,6804	0,00	4,19287E-05	0,13
Mp 2	6,15	0,00	0,00042	16438,9638	0,00	0,000112956	0,30
Mp 3	5,97	0,00	0,00037	18949,5335	0,00	5,24109E-05	0,17
Promedio				17689,3926			0,20
Edad 14 días							
Mp 4	5,97	0,00	0,00038	17834,9889	0,00	4,71698E-05	0,14
Mp 5	5,88	0,00	0,00034	20075,2210	0,00	0,000081257	0,28
Mp 6	5,99	0,00	0,00034	20336,8615	0,00	5,24109E-05	0,18
Promedio				19415,6905			0,20
Edad 28 días							
Mp 7	5,84	0,00	0,00031	22243,7089	0,00	6,12474E-05	0,23
Mp 8	8,03	0,00	0,00043	20922,5829	0,00	5,7652E-05	0,15
Mp 9	7,98	0,00	0,00039	23665,7420	0,00	7,33753E-05	0,22
Promedio				22277,34			0,20
					Fecha	8 de noviembre de 2016	

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 44

Módulo de elasticidad y relación de poisson del concreto a compresión "Adición del 10%"

ESTUDIANTES		LABORATORIO No. 13					
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062		Ensayo para determinar el modulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresion (NTC 4025)					
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067							
Concreto adicionado con 10% de viruta							
Edad 7 días							
No.	Esfuerzo 40% = S2 (Mpa)	Esfuerzo S1 (Mpa)	Deformación E2	Mod. Elasticidad secante = E (Mpa)	Def. Transversal Et1	Def. Transversal Et2	Relacion de poisson U
10% 1	5,92	0,00	0,00034	20155,34	0,00	4,19287E-05	0,14
10% 2	5,80	0,00	0,00035	19054,94	0,00	5,24109E-05	0,17
10% 3	5,89	0,00	0,00036	18992,32	0,00	4,19287E-05	0,14
Promedio				19400,87			0,15
Edad 14 días							
10% 4	7,84	0,00	0,00042	21188,64	0,00	6,28931E-05	0,17
10% 5	x	x	x	x	x	x	x
10% 6	7,97	0,00	0,00043	20851,10	0,00	4,71698E-05	0,12
Promedio				21019,87			0,15
Edad 28 días							
10% 7	8,04	0,00	0,00041	22374,03	0,00	5,24109E-05	0,15
10% 8	8,63	0,00	0,00038	26363,03	0,00	5,7652E-05	0,18
10% 9	7,89	0,00	0,00040	22414,62	0,00	5,24109E-05	0,15
Promedio				23717,23			0,16
					Fecha	9 de noviembre de 2016	

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Tabla 45

Módulo de elasticidad y relación de poisson del concreto a compresión "Adición del 12%"



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
OCAÑA- COLOMBIA

"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ADICIONADO CON VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 10 Y 12 % RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA"

ESTUDIANTES				LABORATORIO No. 13			
Paula Andrea Angarita Pinzon cod. 172062		Ensayo para determinar el modulo de elasticidad estático y la relación de					
Heyfa Jesney Rincon Gaona cod. 172067		poisson en concreto a compresion (NTC 4025)					
Concreto adicionado con 12% de viruta							
Edad 7 días							
No.	Esfuerzo 40% = S2 (Mpa)	Esfuerzo S1 (Mpa)	Deformación E2	Mod. Elasticidad secante = E (Mpa)	Def. Transversal Et2	Def. Transversal Et2	Relacion de poisson (U)
12% 1	x	x	x	x	x	x	x
12% 2	x	x	x	x	x	x	x
12% 3	x	x	x	x	x	x	x
T1	6,05	0,00	0,0008	7820,4537	0,00	4,71698E-05	0,06
Promedio				7820,4537			
Edad 14 días							
12% 4	4,49	0,00	0,0053	861,5390	0,00	0,00091195	0,17
12% 5	x	x	x	x	x	x	x
12% 6	x	x	x	x	x	x	x
T2	5,84	0,00	0,00070	9022,3507	0,00	8,71698E-05	0,13
Promedio				9022,35			
Edad 28 días							
12% 7	x	x	x	x	x	x	x
12% 8	x	x	x	x	x	x	x
12% 9	x	x	x	x	x	x	x
T3	6,02	0,00	0,00065	10033,3333	0,00	7,71698E-05	0,13
Promedio				10033,3333			

OBSERVACIONES: Al observar que no se podía realizar el ensayo de modulo de elasticidad porque no resistian el 40% de la carga ultima, se procedió a realizar muestras testigos y ensayarlas de nuevo a las edades dadas para analizar su comportamiento

Fecha 17 de noviembre de 2016

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

En este caso, se hizo uso del computador del laboratorio, el cual consta de un software que permite calcular cada uno de los parámetros descritos en la tabla, se calculó el módulo de elasticidad, aproximado a 350 Mpa (50 000psi) como sigue:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \quad (38)$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad secante (Mpa)

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal ϵ_1 , de las 50 millonésimas, en (Mpa)

ϵ_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2

Para la relación de poisson, se calcula así:

$$\mu = \frac{(\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1})}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \quad (39)$$

Dónde:

μ = Relación de poisson

ϵ_{t2} = Deformación transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S_2 .

ϵ_{t1} = Deformación transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S_1 .

4.3. Análisis estadístico de los resultados con los establecidos en la normatividad para la muestra patrón de 21,1 Mpa y su variación de costos.

4.3.1. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto

4.3.1.1 Resistencia a la compresión a los siete (7) días: En la figura 31 se pueden apreciar los valores obtenidos para la resistencia a la compresión a una edad de siete (7) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas; esto se realiza con el fin de comparar los resultados frente a la muestra patrón y lograr determinar si existe o no un aumento en el desempeño del concreto cuando se le adiciona viruta de acero.

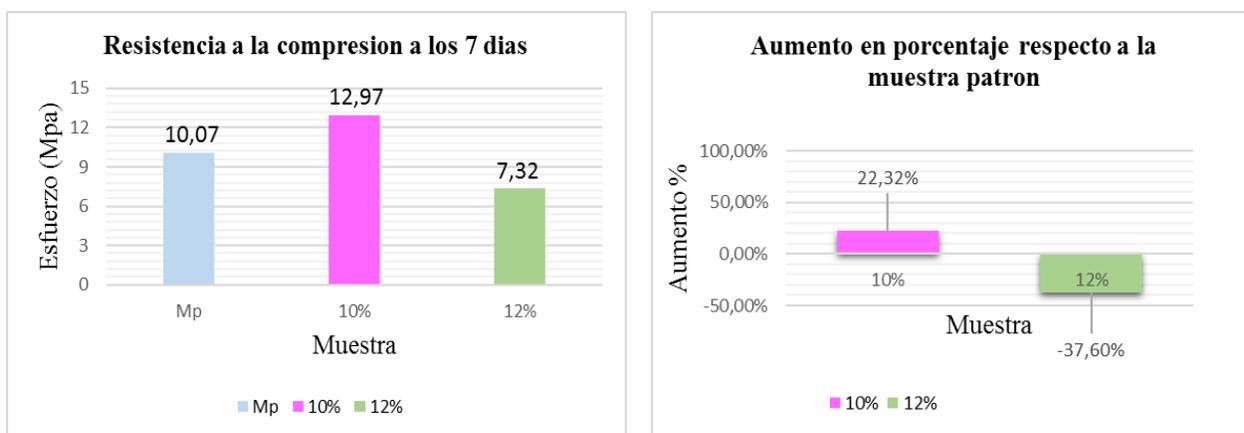


Figura 31. Resistencia a la compresión a los siete (7) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

En las gráficas presentes en la figura 31, se puede apreciar que las muestras a las que se le adiciono el 10 % de viruta de acero como reemplazo del agregado fino, alcanzaron una resistencia superior a la alcanzada por las muestras patrón ,superándola en un 22, 32%; caso

contrario a las muestras con 12 % de adición de viruta, donde la resistencia alcanzada es inferior si se compara con las demás muestras, corroborando estos valores con las muestras testigos realizadas siete (7) días después de realizadas las muestras anteriores, se presenta un decrecimiento en la resistencia de - 37,60 % respecto a la muestra patrón.

Para este tiempo, el porcentaje óptimo de adición de viruta de acero como reemplazo del agregado fino es el de 10% debido a las resistencias alcanzadas comparándose con un concreto patrón de 21,1 Mpa.

4.3.1.2 Resistencia a la compresión a los catorce (14) días. En la figura 32, se pueden apreciar los valores obtenidos para la resistencia a la compresión a una edad de catorce (14) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas.

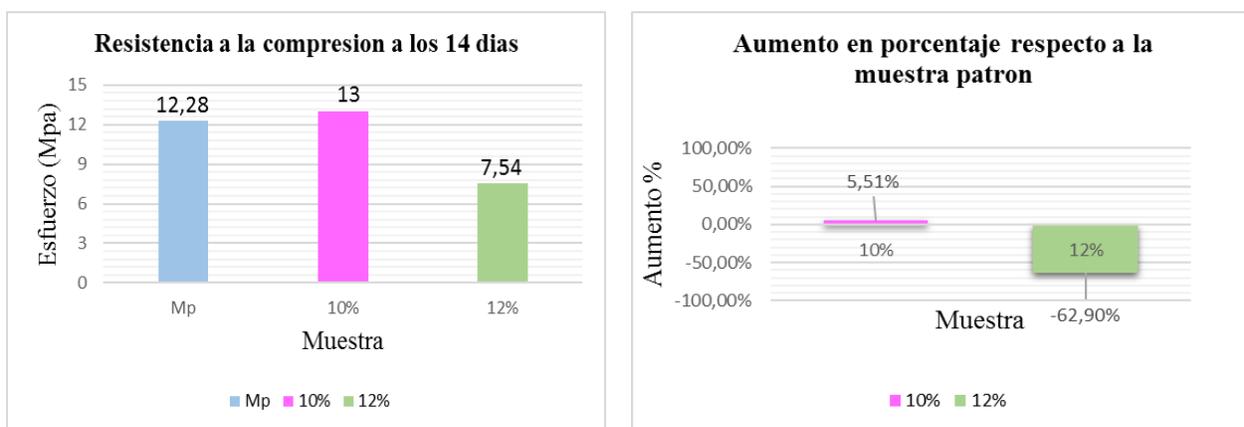


Figura 32. Resistencia a la compresión a los catorce (14) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

En las gráficas presentes en la figura 32, se aprecia el mismo comportamiento obtenido a los siete (7) días, aclarando las resistencias alcanzadas no aumentan mucho respecto a la edad anterior.

Los resultados obtenidos permiten determinar que a los 14 días de curado el porcentaje óptimo sigue siendo el del 10 % de adición de viruta de acero, pero además se nota que la muestra patrón aumenta la resistencia alcanzada en las diferentes edades, cosa contraria con las muestras adicionadas de viruta, donde la resistencia alcanzada es casi constante si se compara con la edad de curado anterior.

Las muestras con 10% de adición de viruta presenta un aumento del 5,51 % en su resistencia frente a la muestra patrón, y las muestras con 12% de adición de viruta disminuye hasta un 62,90%.

4.3.1.3 Resistencia a la compresión a los veintiocho (28) días. En la figura 33, se logra apreciar los resultados obtenidos después de ensayar las muestras a una edad de curado de veintiocho (28) días.

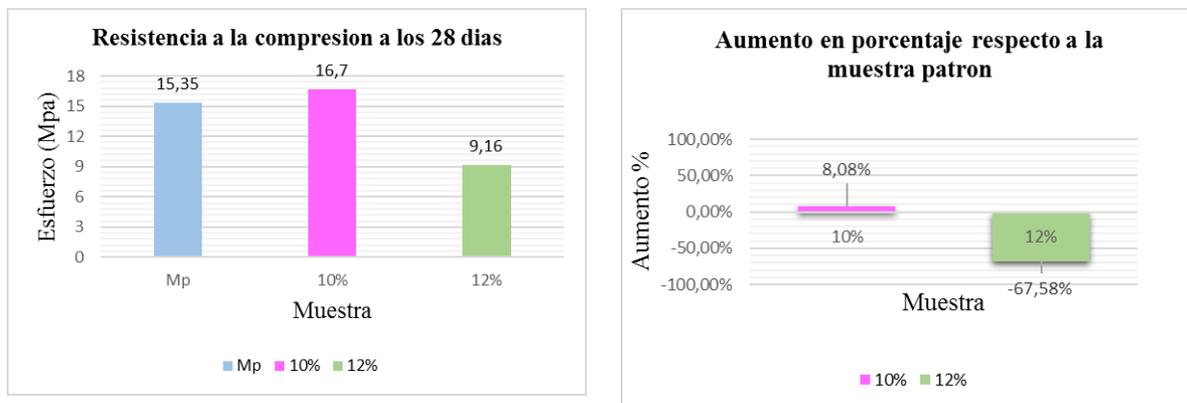


Figura 33. Resistencia a la compresión a los veintiocho (28) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Como se puede observar en la figura 33, ninguna de las mezclas alcanzó la resistencia a la compresión de diseño, por esta razón analizaremos estos datos basándonos en los obtenidos para la muestra patrón, ya que esta nos permite comparar la conducta de las muestras con adición de viruta de acero.

Si nos referimos a comportamiento, desde los siete (7) días de curado han venido portándose de la misma manera, la mezcla de 10 % de adición de viruta presenta mayor resistencia que las demás, superando a la muestra patrón en un 8,08% en su resistencia alcanzada, y las muestras con 12% de adición de viruta se encuentra por debajo hasta un -67.58% en su resistencia alcanzada respecto a la muestra patrón, a los veintiocho (28) días de curado, permitiéndonos decir que estas muestras con 12% de viruta de acero a medida que pasan los días, no presenta desarrollo en su resistencia a la compresión.

4.3.1.4 Comportamiento general en el tiempo de las tres clases de muestras ensayadas.

En la figura 34, se muestra el comportamiento de todas las muestras a través del tiempo, notando que las muestras adicionadas con 10% de viruta de acero presenta el mejor comportamiento, ya que se encuentra por encima de las otras dos mezclas ensayadas.

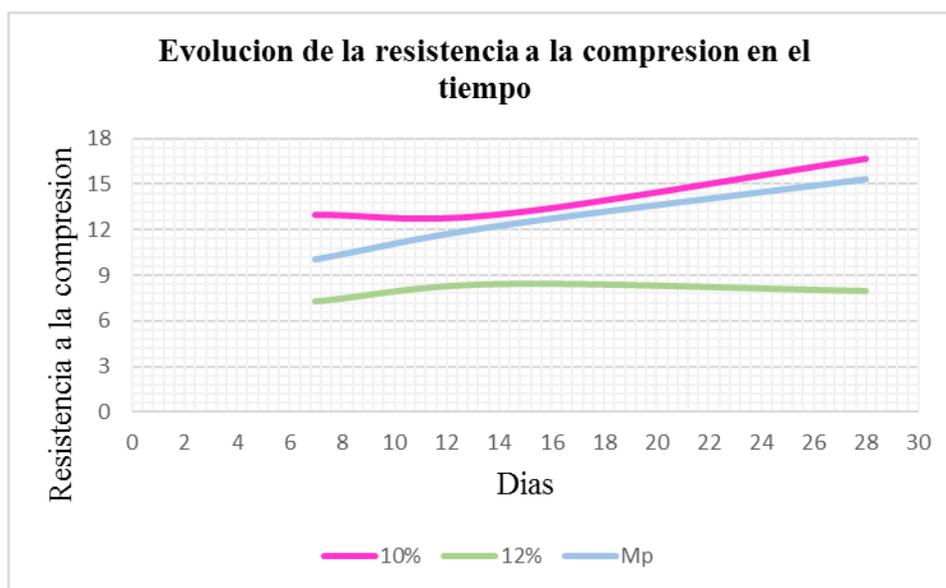


Figura 34. Evolución en el tiempo.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Como se aprecia en la gráfica, las muestras con 12% de adición de viruta, presento un comportamiento inesperado, ya que se creía que, al contener más viruta, mejor resultado arrojaría, permitiendo establecer que el 10% de adición de viruta es el porcentaje óptimo para usar en mezclas, ya que, si mejora las propiedades a compresión, frente un concreto tradicional de 21,1, Mpa.

4.3.2. Resistencia a la flexión.

4.3.2.1 Resistencia a la flexión a los siete (7) días. En la figura 35, se puede apreciar los valores obtenidos para el módulo de rotura a una edad de siete (7) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas; es necesario aclarar que la NSR-10 en su título c, establece el módulo de rotura en base a la resistencia a la compresión de la siguiente manera:

$$Fr = 0,62 \lambda \sqrt{f'c} \quad (37)$$

$\lambda = 1,0$ para concreto de peso normal.

De esta manera Fr para un concreto de 21 Mpa seria 2,84 Mpa, pero en nuestro caso la resistencia promedio a los 28 días fue de 15,35 de esta manera la resistencia a la flexión o módulo de rotura debe ser de 2,42 Mpa.

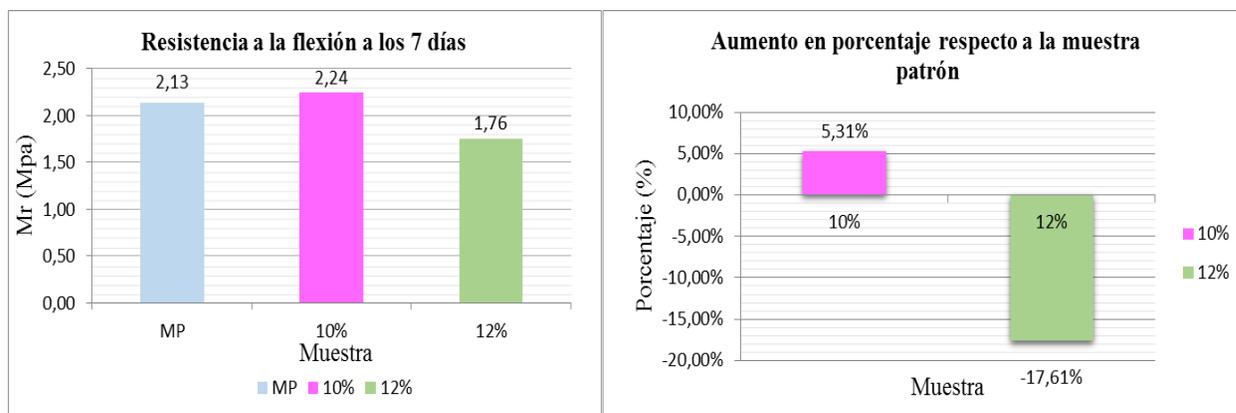


Figura 35. Resistencia a la flexión a los siete (7) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Se puede apreciar que las muestras a las que se le adiciono el 10 % de viruta de acero como reemplazo del agregado fino, alcanzó una resistencia superior a la alcanzada por las muestras patrón, superándola en un 5,31%; caso contrario a las muestras con 12 % de adición de viruta, donde la resistencia alcanzada es inferior si se compara con las demás muestras, se presenta un decrecimiento en la resistencia de - 17.61 % respecto a la muestra patrón. El porcentaje óptimo para esta edad es el 10%.

4.3.2.2 Resistencia a la flexión a los catorce (14) días. En la figura 36, se pueden apreciar los valores obtenidos para la resistencia a la flexión a una edad de catorce (14) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas.

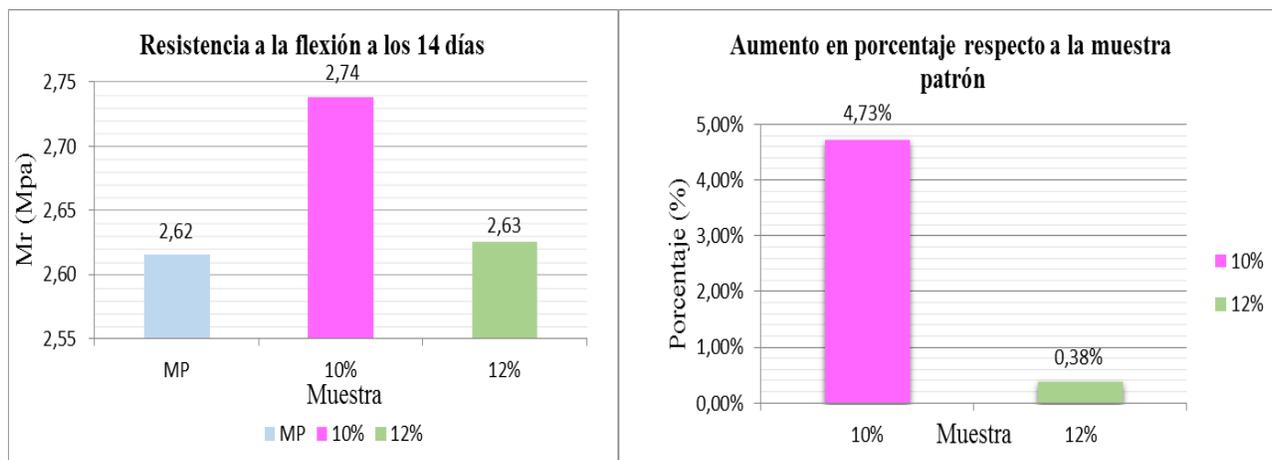


Figura 36. Resistencia a la Flexión a los catorce (14) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

En las gráficas presentes en la figura 36, se aprecia que a los 14 días, la muestra patrón sobrepasa el módulo de rotura de diseño 2,42 Mpa en un 8,26 %, así mismo los demás porcentajes de viruta en 13,22% y 8,67% para 10% y 12% respectivamente.

Las muestras con 10% de adición de viruta presenta un aumento del 4,73 % frente a la muestra patrón, y las muestras con 12% de adición de viruta presenta un aumento del 0.38%. Siendo para esta edad el porcentaje óptimo de viruta del 10%, igual que la edad anterior.

4.3.2.3 Resistencia a la flexión a los veintiocho (28) días. En la figura 37. Se logra apreciar los resultados obtenidos después de ensayar las muestras a una edad de curado de veintiocho (28) días.

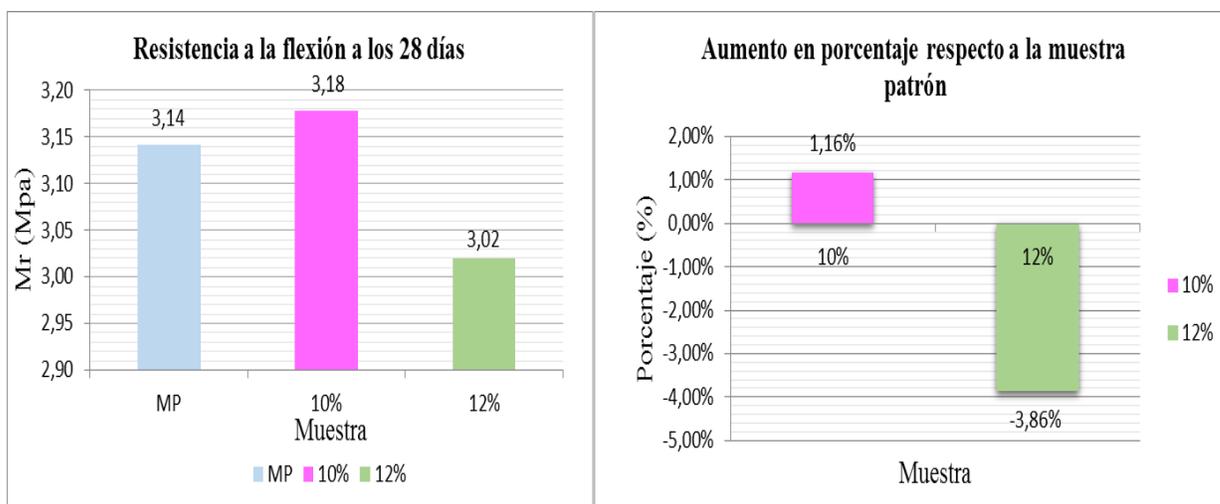


Figura 37. Resistencia a la Flexión a los veintiocho (28) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Según datos obtenidos, el comportamiento ha seguido el mismo patrón en el transcurso de los días, el porcentaje de aumento con respecto al módulo de rotura de diseño es del 29,75%, 31.40% y 24,79%, para Mp, 10% y 12% respectivamente, y en cuanto a comparar la muestra

patrón con los porcentajes de viruta se evidencia un aumento del 1,16% y -3.86%, lo que muestra un aumento para el porcentaje del 10% y un decremento para el 12%. De esta manera, el porcentaje óptimo de viruta de acero es del 10%.

4.3.2.4 Comportamiento general en el tiempo de las tres clases de muestras ensayadas.

En la figura 38, se muestra el comportamiento de todas las muestras a través del tiempo, notando que las muestras adicionadas con 10% de viruta de acero presenta el mejor comportamiento, ya que se encuentra por encima de las otras dos mezclas ensayadas.

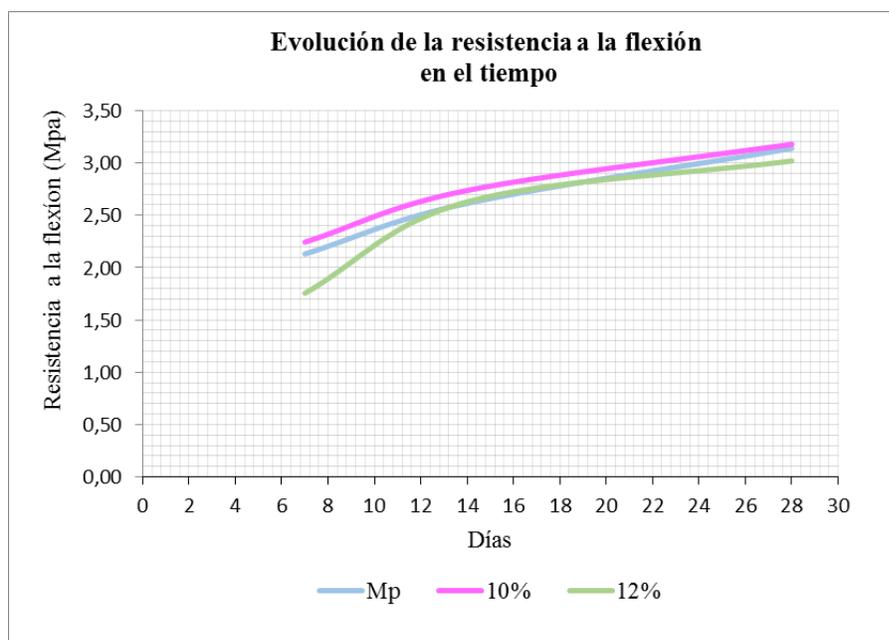


Figura 38. Evolución en el tiempo.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.3.3. Módulo de elasticidad.

4.3.3.1 Módulo de elasticidad a los siete (7) días. En la figura 39, se puede apreciar los valores obtenidos para el módulo de elasticidad a una edad de siete (7) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas; es necesario aclarar que la NSR-10 en su título c, establece el módulo de elasticidad en base a la resistencia a la compresión de la siguiente manera:

$$E = 4700 \sqrt{f'c} \quad (40)$$

De esta manera el módulo de elasticidad para un concreto de 21 Mpa, sería igual a 21538.10 Mpa.

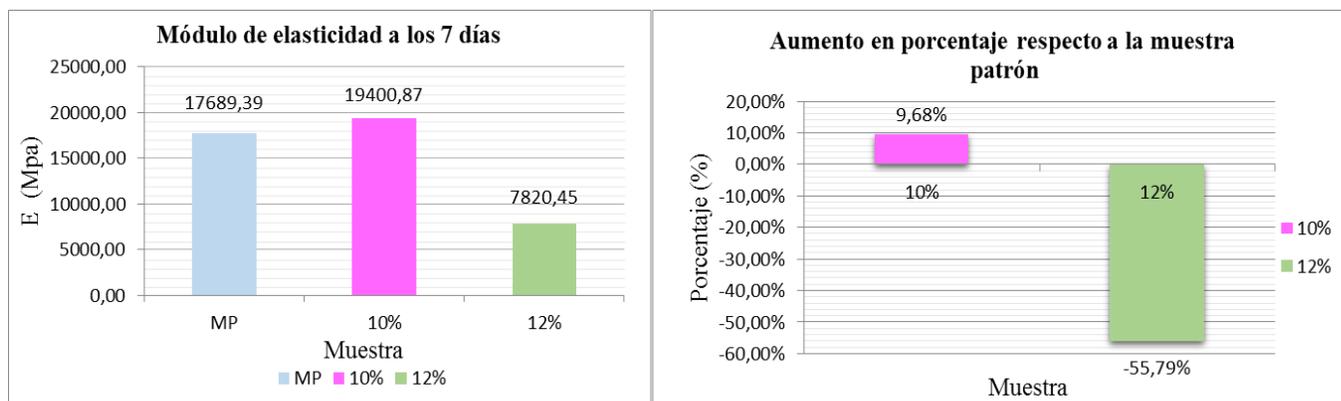


Figura 39. Módulo de elasticidad a los siete (7) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Según la figura anterior, se aprecia que la muestra que se le adiciono el 10% de viruta de acero presenta un módulo de elasticidad superior en un 9,68% a la muestra patrón, caso contrario a la adición del 12% de viruta de acero que presentó un decremento del -55,79%, siendo así el porcentaje optimo del 10% para módulo de elasticidad.

4.3.3.2 Módulo de elasticidad a los catorce (14) días. Se puede apreciar los valores obtenidos para el módulo de elasticidad a una edad de catorce (14) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas. Ver figura 40.

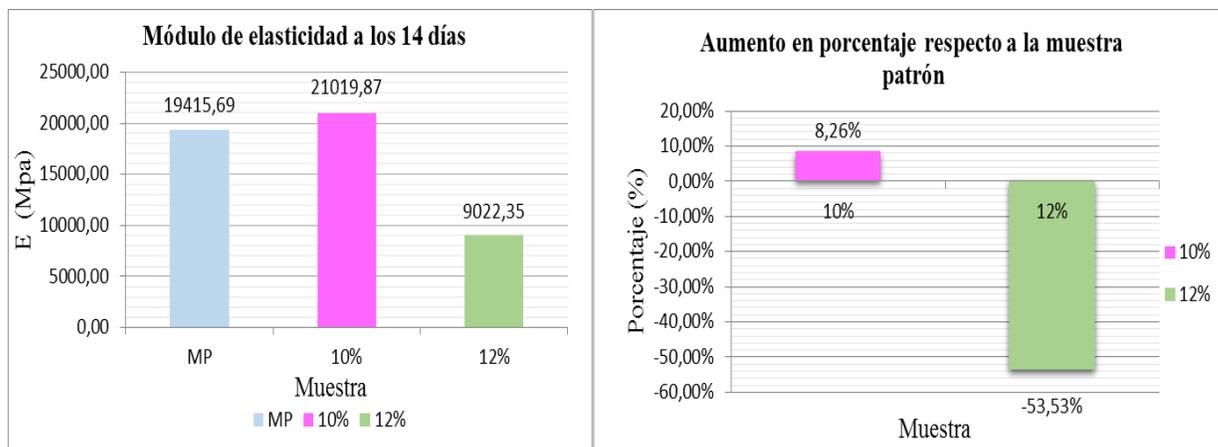


Figura 40. Módulo de elasticidad a los catorce (14) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Cabe resaltar que para esta edad, la muestra 10% (5) no se pudo realizar porque no soporto el 40% de la carga ultima, por esta razón se promediaron dos datos, los resultados obtenidos permiten determinar que a los 14 días de curado el porcentaje óptimo sigue siendo el del 10 % de adición de viruta de acero, las muestras con 10% de adición de viruta presenta un aumento del 8,26 % en su resistencia frente a la muestra patrón, y las muestras con 12% de adición de viruta disminuyen hasta un -55,33%.

4.3.3.3 Módulo de elasticidad a los veintiocho (28) días. Se puede apreciar los valores obtenidos para el módulo de elasticidad a una edad de veintiocho (28) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas. Ver figura 41.

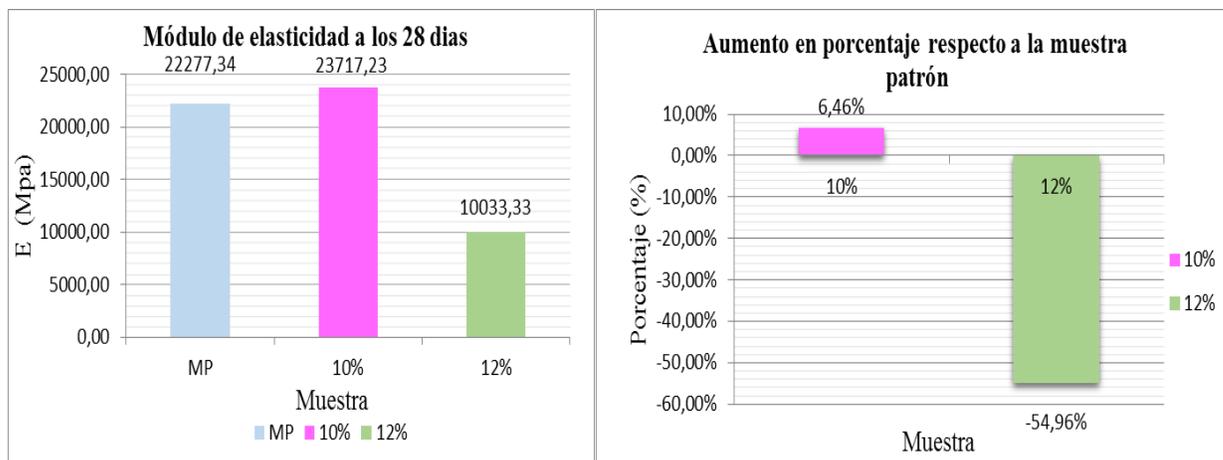


Figura 41. Módulo de elasticidad a los veintiocho (28) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Las muestras con 12% de viruta no pudieron ensayarse, porque estas presentaron un mal comportamiento puesto que no resistían el 40% de la carga última, fue así como se procedió a realizar muestras testigos y ensayarlas a los 7, 14 y 28 días y comparar estos últimos resultados con la muestra patrón permitiéndonos decir que estas muestras con 12% de viruta de acero a medida que pasan los días, no presenta desarrollo en cuanto a módulo de elasticidad.

En cuanto al comportamiento las muestras han mostrado la misma secuencia, la mezcla de 10 % de adición de viruta presenta mayor módulo de elasticidad que las demás, superando a la

muestra patrón en un 6,46% en su resistencia alcanzada, y las muestra con 12% de adición de viruta se encuentra por debajo hasta un -54.96% en su módulo de elasticidad alcanzada respecto a la muestra patrón, a los veintiocho (28) días de curado.

4.3.3.4 Comportamiento general en el tiempo de las tres clases de muestras ensayadas.

Se observa el comportamiento de las muestras ensayadas a través del tiempo, analizando que la muestra del 10% de adición de viruta presenta una mejor evolución, comprobando que su módulo de elasticidad es mayor. Ver figura 42

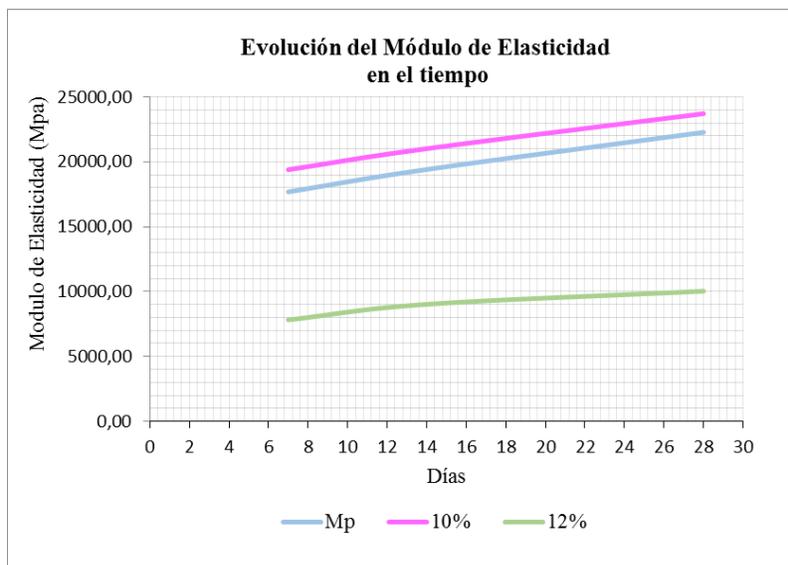


Figura 42. Evolución en el tiempo.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

En cuanto a la adición del 12% de viruta se observa unos valores muy por debajo de la muestra patrón (Mp), con lo que se puede decir que con este porcentaje no resulta viable la inclusión de viruta en esta proporción.

4.3.4 Relación de Poisson.

4.3.4.1 Relación de Poisson a los siete (7) días. Se puede apreciar los valores obtenidos para la relación de Poisson a una edad de siete (7) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas. Ver figura 43.

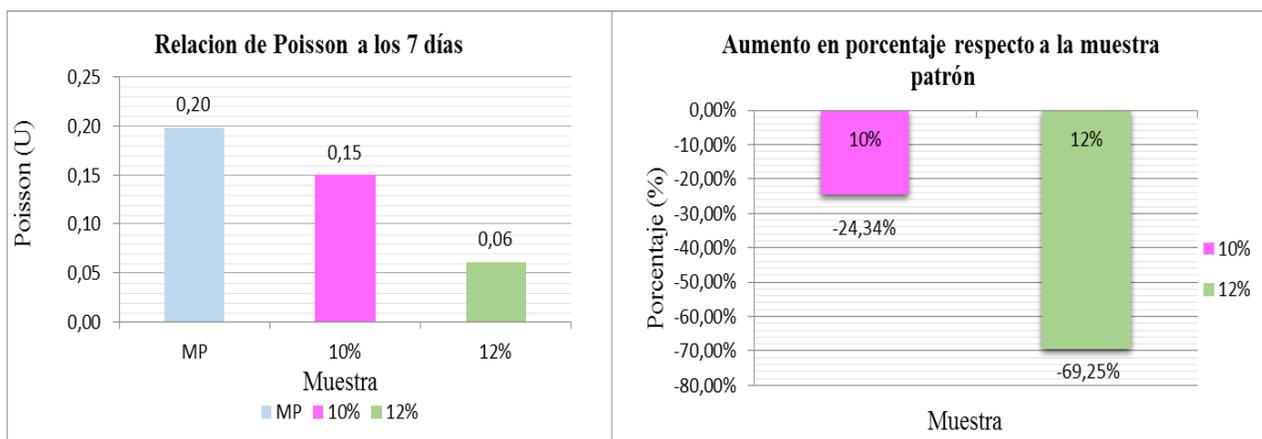


Figura 43. Relación de Poisson a los siete (7) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Según la figura anterior, se aprecia que la muestra que se le adiciono el 10% de viruta de acero presenta una relación de poisson inferior en un -24.34 % a la muestra patrón, al igual que a la adición del 12% de viruta de acero que presentó un decremento del -69,25%.

4.3.3.2 Relación de Poisson a los catorce (14) días. Se puede apreciar los valores obtenidos para la relación de Poisson a una edad de catorce (14) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas. Ver figura 44.

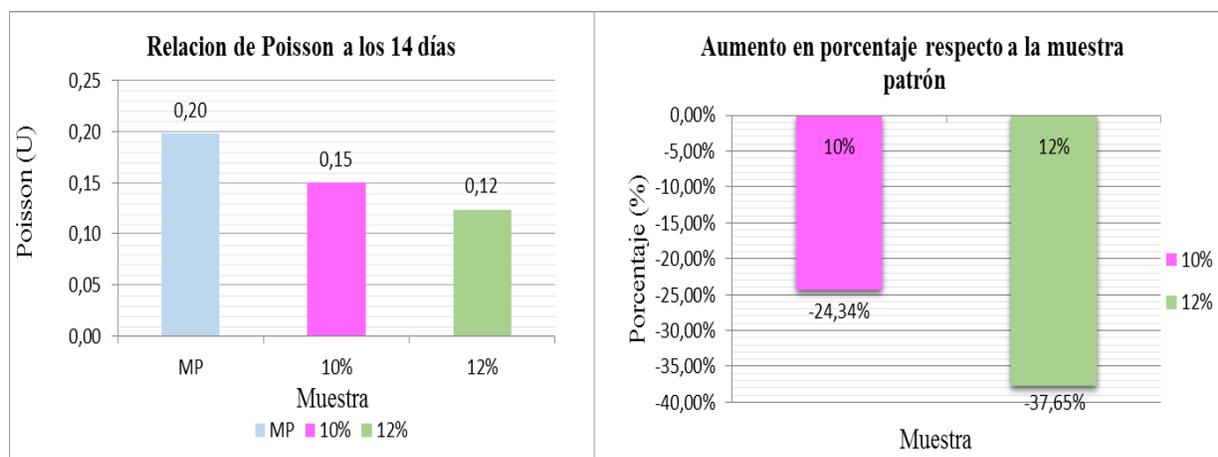


Figura 44. Relación de Poisson a los catorce (14) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Se aprecia que la muestra que se le adiciono el 10% de viruta de acero presenta una relación de poisson inferior en un -24.34 % a la muestra patrón manteniéndose constante con respecto a la edad anterior, igualmente a la adición del 12% de viruta de acero que presentó un disminución del 37.65%.

4.3.3.3 Relación de Poisson a los veintiocho (28) días. Se puede apreciar los valores obtenidos para la relación de Poisson a una edad de veintiocho (28) días de curado para cada una de las tres mezclas realizadas. Ver figura 45.

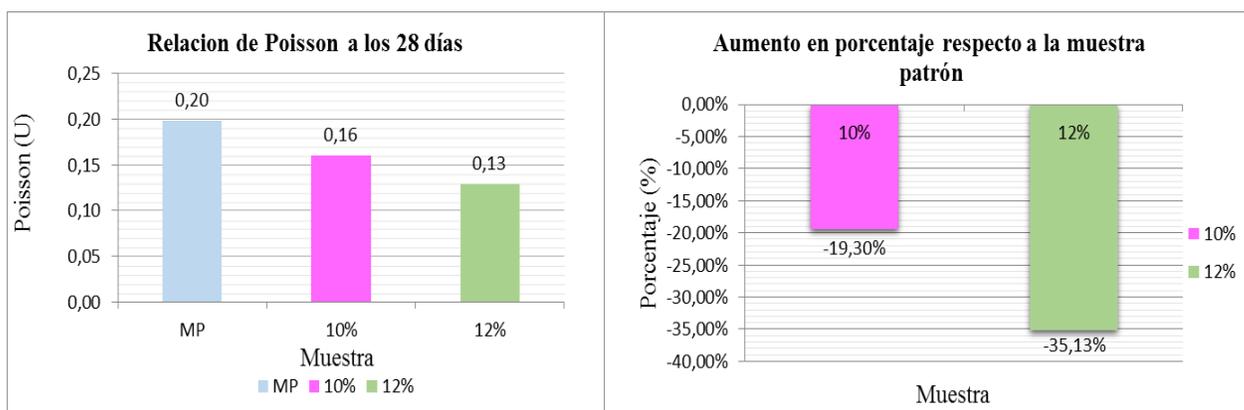


Figura 45. Relación de Poisson a los veintiocho (28) días.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

Según la figura anterior, se aprecia que la muestra patrón mantiene una relación de poisson constante de 0,20 a lo largo del tiempo, así mismo la muestra del 10% casi es constante pasando de 0,15 a 0,16 a los veintiocho (28) días, así mismo presenta una disminución del -19.30% respecto a la muestra patrón, al igual que a la adición del 12% de viruta de acero que presentó un decremento del -35.13%.

La NSR-10 establece que el valor de relación de poisson varía entre 0,15 y 0,20, lo que permite decir que para la muestra patrón y la adición del 10% cumple con el rango de valores, pero no para el caso del 12% de adición de viruta.

4.3.3.4 Comportamiento general en el tiempo de las tres clases de muestras ensayadas.

En la figura 46, se muestra el comportamiento de todas las muestras a través del tiempo, notando que la muestra patrón al igual que la adicionadas con 10% de viruta de acero presenta un comportamiento constante y que la muestra adicionada con el 12% de viruta de acero tiende a aumentar en el primer tiempo.

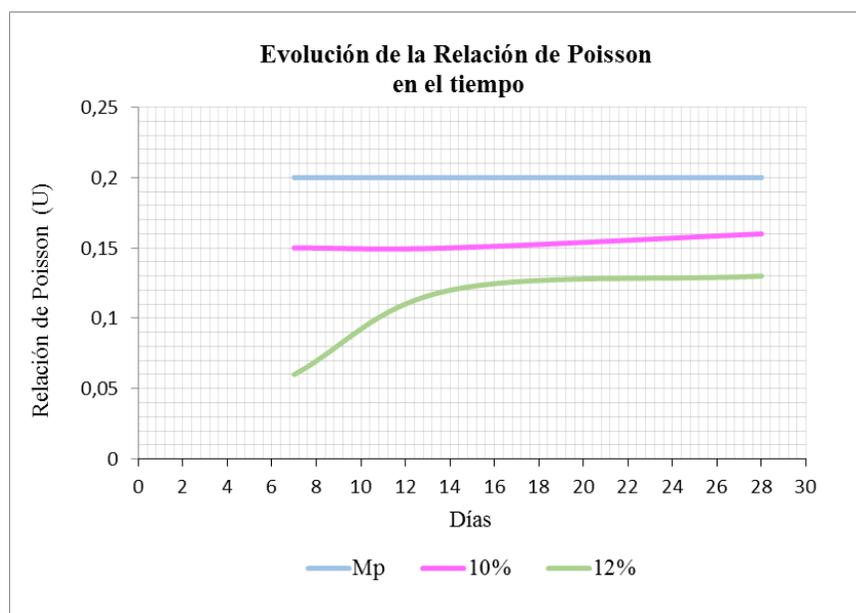


Figura 46. Evolución en el tiempo.

Nota. Fuente: Autoras del proyecto.

4.3.5 Medición y Comparación De Costos. Con el propósito de evaluar la viabilidad económica en la producción de concretos utilizando viruta de acero como remplazo parcial del agregado fino, se realizó el presupuesto para un metro cubico de concreto tanto con adición de viruta como el concreto patrón.

En la tabla 46, se muestra el análisis de costos para los concretos realizados en esta investigación. El valor de costo por metro cúbico de concreto con materiales convencionales llamándolo a este como concreto patrón es de \$208.949; el concreto con 10% de adición de viruta de acero como reemplazo del agregado fino en cuanto a costos se refiere, desciende a \$207.299 y el concreto con 12% de adición de viruta desciende en sus costos a \$206.969.

De lo anterior se deduce que la preparación de concretos con adición de viruta de acero como reemplazo del agregado fino, representa una economía del orden de 0,79% y 0,95% respectivamente para los porcentajes de 10% y 12% de adición de viruta, además de aportar benéficamente al medio ambiente, ya que son desechos que no representan ningún bienestar pues no tiene un uso específico y además su producción en grandes cantidades genera complicaciones de contaminación si no se eliminan de la forma correcta.

Tabla 46*Costos de preparación de concreto*

ANALISIS DE COSTOS PARA UN METRO CUBICO DE CONCRETO. (1 M3)			
CONCRETO PATRON DE 21,1 Mpa			
MATERIALES	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	347,43	\$450	\$156.344
Agregado grueso (M3)	0,36	\$100.000	\$36.000
Agregado fino (M3)	0,3	\$55.000	\$16.500
Agua (M3)	0,21	\$500	\$105
TOTAL			\$208.949
CONCRETO CON 10 % ADICION DE VIRUTA DE ACERO			
MATERIALES	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	347,43	\$450	\$156.344
Agregado grueso (M3)	0,36	\$100.000	\$36.000
Agregado fino (M3)	0,27	\$55.000	\$14.850
Agua (M3)	0,21	\$500	\$105
Viruta de acero (Kg)	80	\$0	\$0
TOTAL			\$207.299
CONCRETO CON 12 % ADICION DE VIRUTA DE ACERO			
MATERIALES	CANTIDAD	COSTO	VALOR TOTAL
Cemento (kg)	347,43	\$450	\$156.344
Agregado grueso (M3)	0,36	\$100.000	\$36.000
Agregado fino (M3)	0,264	\$55.000	\$14.520
Agua (M3)	0,21	\$500	\$105
Viruta de acero (Kg)	96,3	\$0	\$0
TOTAL			\$206.969

Nota: Fuente: Autoras del proyecto.

Capítulo 5: Conclusiones

El diseño de mezclas óptimo tanto para el concreto patrón como el de las adiciones se logró determinar mediante ensayos de los agregados y siguiendo los lineamientos del método RNL (Road Note Laboratory), debido a que los agregados no cumplieron con las granulometrías recomendadas en el método ACI (American Concrete Institute), de esta manera se consigue el asentamiento esperado, manteniéndose la trabajabilidad de la mezcla en cada caso.

En cuanto a las propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión alcanzó valores de 15,35 Mpa, 16,7 Mpa y 9,16 Mpa; la resistencia a la flexión de 3,14 Mpa, 3,18 Mpa y 3,02 Mpa; módulo de elasticidad de 22277,34 Mpa, 23717,23 Mpa y 10033,33 Mpa; y relación de poisson de 0,2, 0,16, 0,13 para la muestra patrón, adición del 10% y adición del 12% respectivamente a una edad de curado de 28 días. Donde se evidencia notoriamente una disminución de estas en las mezclas de concreto con adición del 12%, lo que pudo verse afectado por la textura de la viruta de acero en comparación con los otros agregados, donde las partículas no pudieron acomodarse disminuyendo la cohesión y aumentando la fisuración de las muestras ensayadas. Tal lo afirma (Fernández Canovas, 2005) donde expresa que “la adherencia mecánica que permite la unión a escala macroscópica depende del estado superficial de los agregados. Es mayor cuanto más rugosa es la superficie”.

Respecto a la evolución en el tiempo, la resistencia a la compresión presentó mejor comportamiento para las mezclas del 10% de adición, superando a la muestra patrón en todas las

edades de curado hasta en un 8,08%, caso contrario con las mezclas del 12% de adición, las cuales no lograron alcanzar la muestra patrón, encontrándose por debajo hasta en un 67,58%, continuando con la resistencia a la flexión las muestras adicionadas con un 12%, presentaron una disminución del 3.86%, respecto a la muestra patrón a los 28 días y las adicionadas con 10%, alcanzaron un aumento del 1,16% valor que supera lo establecido en la NSR-10 con respecto al módulo de rotura, resultando útil para la disminución de espesores en losas de pavimentos. De otro lado, tenemos para el módulo de elasticidad un aumento del 6,46% en cuanto a la adición del 10%, mientras que la adición del 12%, presenta una disminución del 54.96%. Logrando con esta propiedad la mayor absorción de energía durante la rotura ya que permite pocas deformaciones a grandes cargas dentro de su límite elástico, haciendo referencia a la adición del 10%, puesto que superó lo establecido en la NSR-10 referente al módulo de elasticidad $E = 4700 \sqrt{f'c}$. También cabe mencionar que la relación de poisson arrojó valores dentro del rango que establece la NSR-10 de (0,15 a 0,20). En ultimas, la preparación de concretos con adición de viruta de acero como reemplazo del agregado fino, representa una economía del orden de 0,79% y 0,95% respectivamente para los porcentajes de 10% y 12% de adición, valor que no equivale a un sobre costo ni a un ahorro económico significativo pero si aporta benéficamente al medio ambiente, ya que son desechos que no representan ningún bienestar pues no tiene un uso específico y además su producción en grandes cantidades genera complicaciones de contaminación si no se eliminan de la forma correcta.

Capítulo 6: Recomendaciones

Esta investigación es el primer paso para motivar a demás estudiantes en el avance de la tecnología del concreto, donde prime la utilización de nuevos componentes para analizar y mejorar las propiedades del mismo, en donde se beneficie la región donde viven y se mejore la calidad de vida contribuyendo con el medio ambiente y al mismo tiempo incentivar en el manejo de materiales reciclables, puesto que se minimizan los residuos de difícil descomposición, también sería de gran utilidad usar aditivos en estas mezclas de concreto ya que estos permitirán una mayor cohesión entre las partículas del concreto.

Lo más importante es continuar con la investigación, debido a que se aconseja probar nuevos porcentajes y muchas más edades avanzadas como 90 y 100 días, como lo expresa (Hernández, I, 2010) , para llegar a un porcentaje óptimo posible de usar en estructuras que trabajen a flexión como vigas y losas de pavimentos.

Se recomienda realizar estudios con los mismos porcentajes de sustitución de viruta de acero, pero alterando la relación a/c, para lograr concretos con particularidades similares, buscando disminuir el impacto negativo en los resultados de los ensayos, llegando a arrojar mejores resultados y finalmente se recomienda elegir una manera eficiente de cortar la viruta de acero para mejorar rendimientos y tiempos de preparación de la muestra.

Referencias

- Adebar, P., Mindess, S., Pierr, D., y Olund, B (1997). Shear Tests of Fiber Concrete Beams Without Stirrups ACI Structural Journal, 94 (1) (1997), pp. 68–76
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR 2010.
- Ávila, J. C., Olague Caballero, C., Almeraya Calderón, F., Gaona Tiburcio, C., y Martínez Villafañe, A. (2000). Análisis Comparativo Entre El Concreto Hidráulico Simple Y El Reforzado Con Fibras De Acero. Revista Ingeniería de Construcción Volumen 15 N°1 México, 20-27. Recuperado de: <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/viewFile/209/20>.
- Batson, G., Terry, T., y Change, M., (1984). Fiber Reinforced Concrete Beams Subjected to Combined Bending and Torsion International Symposium of Fiber Reinforced Concrete, Publicación SP- 81, American Concrete Institute, Detroit, EUA (1984), pp. 51–68
- Berrío, M. I. (3 de abril de 2015). BLOG 360° en Concreto. Recuperado de <http://blog.360gradosenconcreto.com/ntc-121-especificacion-de-desempeno-para-cemento-hidraulico/>
- Cárdenas Ramírez, J. (s.f.). Fibras de acero para reforzar concreto. En construcción metálica 18 (págs. 66-70). Universidad nacional de Colombia. Recuperado de: https://issuu.com/legissa/docs/metal17_pags66a69
- Carrillo, J., Gónzales, G., y Aperador, W. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Revista de ingeniería, investigación y tecnología*, 435-450. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431372256X>
- Carrillo, J., Cárdenas Pulido, J., y Aperador Chaparro, W. (2015). Efecto del ion cloruro sobre las propiedades mecánicas a compresión del concreto reforzado con fibras de acero RC-65/35-BN. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, Vol 33, No 2, recuperado de: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/>.
- Craig, R., (1987). Flexural Behavior and Design of Reinforced Fiber Concrete Members, Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications, American Concrete Institute, Detroit, EUA (1987), pp. 517–563. Publicación SP-105
- Cortes Gómez, E. A., y Perilla Sastoque, J. E. (2014). Estudio Comparativo De Las Características Físico- Mecánicas De Cuatro Cementos Comerciales Portland Tipo I.(Tesis de pregrado): Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.

- Departamento de Norte de Santander. Toda Colombia.com Recuperado de <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/norte-de-santander.html>
- Duran Herrera, N.P., Amado Velásquez, N., (2016). Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar. (Tesis de pregrado). Universidad francisco de paula Santander, Colombia.
- García Badillo, A., (2008). Mejoramiento del concreto con adición de viruta de acero a porcentajes de 12 y 14% respecto al agregado fino de la mezcla. (Tesis de pregrado) Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia.
- Gallo, Arciniegas, L., Gonzáles Peñuela, G., y Carillo León , J. (2013). Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero zp-306 sometido a esfuerzos de compresión. *Revista Scielo*. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702013000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Gutiérrez de López, L., (2003) El concreto y otros materiales para la construcción. Manizales Colombia: Editorial universidad nacional de Colombia
- Hernández, Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (s.f.). Metodología de la investigación 5° edición. Mc Graw Hill
- Jindal, R., (1984). Shear Moment Capacities of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams International Symposium of Fiber Reinforced Concrete, Publicación SP-81, American Concrete Institute, Detroit, EUA (1984), pp. 1–16
- Laura Huanca, S. (2006). Diseño de Mezclas de Concreto. Universidad Nacional del Altiplano. Perú. Recuperado de: <http://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20mezclas.pdf>
- Municipio de Ocaña. Ciudad Ocaña. Recuperado de <http://www.ciudadocana.com/ocana-datos-generales/>
- Municipio de Ocaña. Cúcuta Nuestra. Recuperado de http://www.cucutanuestra.com/temas/geografia/Norte_mapas_datos/ocana.htm
- Narayana, R., Darwish, I., (1987). Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement ACI Structural Journal, 84 (3) (1987), pp. 216–227
- Niño Hernandez, J. R. Tecnología del concreto – Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. Tercera edición. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, Asocreto, 2010. ISBN 978-958-8564-03-6.
- Norma Técnica Colombiana.

- República de Colombia. Toda Colombia.com. Recuperado de <http://www.todacolombia.com/informacion-de-colombia/info-colombia.html>
- Sarmiento Gutiérrez, J., y García Córdoba, H. (2008). Mejoramiento de un concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla. (Tesis de pregrado): universidad pontificia bolivariana. Bucaramanga
- Salvador, Gil., Introducción a la Teoría de la Elasticidad. Universidad de San Martín y Universidad de Buenos Aires. Argentina. Recuperado de http://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Docencia/elasticidad1.pdf
- Segura Franco, J. I. (2011). Estructuras de concreto I. Bogotá. Colombia: derechos editoriales reservados.
- Serrano, M. F., Pérez, D. D., Barajas, C. A., y Oquendo, D. C. (2012). Beneficios del uso de agregados no convencionales en mezclas de concreto. Revista técnica cemento hormigón. No. 951 46-51 Recuperado de: <http://www.cemento-hormigon.com/>
- Silva, O.J., (2015). Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezcla del concreto. Blog de 360° en concreto. Recuperado de <http://blog.360gradosenconcreto.com/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-el-diseno-de-mezcla-del-concreto/>
- Sika, (2016). Concreto reforzado con Fibras. Recuperado de: <http://col.sika.com/es/produccion-de-concreto/sika-concrete-technology/noticias/concreto-reforzado-con-fibras.html>
- Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Reseña Histórica. Recuperado de <https://ufpso.edu.co/Historia>
- Valencia Castro, P.A., Quintana Cruz, C.D., (2016). Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia.
- Vizcardo, Otero, Tiffany., y Trinidad, Santos, Ludwig (2014). Agregados para la construcción (Piedra y arena). Universidad Nacional Federico Villareal. Recuperado de <http://es.slideshare.net/ludwigtrinidad/agregados-para-la-construccin>