	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	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(150)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	EZEQUIEL MADARIAGA GONZALEZ ALVARO JOSÉ ROBLES CORDERO
FACULTAD	FACULTAD DE IGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR	LEANDRO OVALLOS MANOSALVA
TÍTULO DE LA TESIS	CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICA DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGA

RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

EL CONCRETO ES UNO DE LOS MATERIALES MÁS UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES, LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ES SU CARACTERÍSTICA PRINCIPAL, PERO ES BAJA A FLEXIÓN, YA QUE EN LOS ELEMENTOS FLEXIONADOS SE GENERAN FISURAS, PERMITIENDO CORROSIÓN EN LOS ACEROS, LA IMPLEMENTACIÓN DE FIBRAS, EN ESTE CASO FIBRA DE POLIPROPILENO QUE AYUDEN A MEJORAR SU RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y MITIGAR LAS FISURAS, PARA OBTENER UN CONCRETO DE MEJOR CALIDAD.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 150	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 50	CD-ROM:1
--------------	---------	-------------------	----------

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICA DEL CONCRETO
REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGA

AUTORES

EZEQUIEL MADARIAGA GONZALEZ

ALVARO JOSE ROBLES CORDERO

Trabajo de grado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil

Director

LEANDRO OVALLOS MANOSALVA

Esp. En Práctica Docente Universitaria

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANATANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Enero, 2018

DEDICATORIA

Este gran logro se lo dedico a Dios que me ha impulsado para luchar cada día sin darme por vencido, a él doy gracias por estar presente acompañándome en cada etapa de mi vida siendo el único ser que siempre me ayudo a no perder la fe y seguir cumpliendo las metas que me proponga en la vida.

A mi madre por brindarme su apoyo incondicional, dándome el valor y la resistencia necesaria para valorar cada día incesante para dar por cumplido y lograr el sueño de ser un profesional.

A mis hermanos por estar siempre a mi lado, por brindarme su apoyo incondicional y de alguna manera u otras por ser las personas más influyentes en las decisiones de mi vida.

A mi familia entera por creer en mí y en mis capacidades para culminar esta carrera, ya que siempre estuvieron presentes en los mejores y peores momentos de mi vida.

EZEQUIEL MADARIAGA GONZALEZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a Dios por darme la vida, por permitir llegar a esta instancia de mi vida el ser un gran profesional. A la virgen María mi madre espiritual, que me ha guiado en el camino del Señor Jesucristo.

A mis padres Álvaro Robles Padilla y Danith Cordero Trespacios que con sus esfuerzos me han dado la oportunidad y facilidad para realizarme como el profesional en esta hermosa carrea de Ingeniero Civil.

A mis hermanos porque a pesar de todo siempre han estado a mi lado, brindándome siempre su apoyo incondicional.

A todas las personas que estuvieron presentes y fueron parte del difícil proceso que fue necesario para dar por cumplido mis estudios de ingeniero civil.

ALVARO JOSÉ ROBLES CORDERO

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo este gran logro se lo agradecemos a Dios ante toda las cosas por ser ese ser omnipotente que permite que todos los sueños cuando se persevera y se lucha, se hagan realidad.

A nuestros padres agradecemos la compañía, el apoyo incondicional para culminar esta etapa de la vida. A ellos agradecemos la oportunidad de estudiar y permitarnos formarnos como profesionales.

Agradecemos a la Universidad Francisco de Paula Santander por permitarnos formarnos como ingenieros civiles, a los profesores que nos han dado las herramientas para enfrentarnos al mundo laboral que nos espera.

Agradecemos también a los operarios de los laboratorios de la universidad francisco de paula Santander que nos permitieron hacer un buen uso de los instrumentos de laboratorio y dar por terminado esta importante investigación para el desarrollo de la ingeniería.

Agradecemos a todas aquellas personas que fueron participe de esta gran etapa de la vida en la que nos forjamos como profesionales para hacer algo mejor del mundo en el que vivimos.

EZEQUIEL MADARIAGA GONZALEZ

ALVARO JOSÉ ROBLES CORDERO

Índice

	Pág.
Capítulo 1. Caracterización de las propiedades físico-mecánica del concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno en viga.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general..	2
1.3.2 Objetivos específicos..	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitaciones.....	4
1.5.1 Delimitación operativa.	4
1.5.2. Delimitación conceptual.	4
1.5.3. Delimitación geográfica.	4
1.5.4. Delimitación temporal.	5
Capítulo 2. Marco referencial.....	6
2.1 Marco histórico	6
2.1.1 Antecedentes a nivel mundial.....	6
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional..	7
2.3 Marco Teórico	8
2.3.1 Dosificación de mezclas de concreto.....	9
2.3.2 Comportamiento y modos de falla de elementos sujetos a flexión.	14
2.3.3 Control de la fisuración en miembros flexionados.....	16
2.3.4 Hormigón reforzado con fibras.....	17
2.4 Marco conceptual	17

2.4.1 Resistencia a la flexión.....	18
2.4.2 Asentamiento del concreto.. ..	19
2.4.3 Fibra de polipropileno.	19
2.4.4 Módulo de elasticidad.....	19
2.4.5 Módulo de rotura.	20
2.4.6 Durabilidad.. ..	20
2.4.7 Corrosión.	20
2.5 Marco contextual.....	21
2.6 Marco legal.....	22
Capítulo 3. Diseño metodológico	25
3.1 Metodología	25
3.2 Tipos de investigación.....	26
3.3 Población.....	26
3.4 Muestra.....	27
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	27
3.6 Procesamiento de la información	27
Capítulo 4. Administración del proyecto	28
4.1 Recursos humanos.....	28
4.3 Recursos financieros	29
4.4 Cronograma de actividades	30
Capítulo 5. Resultados de la investigación.....	32
5.1 Diseño de la mezcla de concreto, para contenidos porcentuales de 2 Kg/m ³ , 4 Kg/m ³ y 6 Kg/m ³ de fibra de polipropileno, para ser evaluadas en los ensayos de laboratorio.	32
5.1.1 Determinación del contenido de humedad de los agregados.....	32
5.1.2 Ensayo para análisis por tamizado, agregados grueso y fino.	33

5.1.3 Ensayo de la masa unitaria de los agregados.....	34
5.1.4 Ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados grueso.	36
5.1.5 Gravedad específica y absorción de los agregados finos.	37
5.1.6 Resultados de los ensayos de agregados.....	39
5.1.7 Diseño de mezcla de concreto..	49
5.2 Determinación el comportamiento del concreto ante la acción de cargas con y sin la adición de fibra de polipropileno, siguiendo lo establecido por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2871.	70
5.2.1 Descripción del procedimiento para la construcción de las probetas a ensayar.	70
5.2.2 Construcción de la armadura..	73
5.2.3 Procedimiento de colocación del concreto y curado..	74
5.2.4 Resistencia a la compresión de los cilindros ensayados de concreto.	78
5.3 Realización de las comparaciones de los resultados obtenidos de resistencia a la flexión, con las vigas de concreto reforzadas con y sin la adición de fibra de polipropileno, para valorar la influencia de la fibra en el concreto.	81
5.3.1 Resultados de ensayo a flexión de vigas reforzadas con porcentajes de adición de 0 kg/m ³ , 2 kg/m ³ , 4kg/m ³ y 6 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	81
5.4 Análisis el comportamiento de las fisuras en las vigas de concreto reforzado con y sin adición de fibra de polipropileno para diferentes cargas.....	96
5.4.1 Comportamiento de fisuras en cilindros.	96
5.4.2 Comportamiento de fisuras en vigas.	97
Conclusiones.....	100
Recomendaciones.....	102
Referencias.....	103
Apéndices.....	105

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Estimación del asentamiento.....	29
Tabla 2. Estimación del asentamiento.....	30
Tabla 3. Estimación del asentamiento.....	50
Tabla 4. Tamaño máximo nominal en mm (pulgadas).....	51
Tabla 5. Contenido aproximado de aire.....	51
Tabla 6. Agua de mezclado.....	52
Tabla 7. Relación agua/cemento.....	53
Tabla 8. Recomendaciones granulométricas para agregado fino ASTM C33.....	56
Tabla 9. Verificación de las especificaciones granulométricas agregado fino.....	56
Tabla 10. Verificación de las especificaciones granulométricas agregado grueso.....	57
Tabla 11. Optimización de los agregados.....	60
Tabla 12. Propiedades de los agregados.....	60
Tabla 13. Proporciones de los materiales de la mezcla de concreto.....	61
Tabla 14. Proporciones de los materiales de la mezcla de concreto con el ajuste del agua de mezclado.....	64
Tabla 15. Proporciones de los materiales de la mezcla de concreto con todos los ajustes pertinentes.....	65
Tabla 16. Dosificación del concreto.....	65
Tabla 17. Proporciones de materiales para 0,07 m ³ de concreto sin adición de fibra de polipropileno.....	67
Tabla 18. Proporciones de materiales para 0,07 m ³ de concreto con %2 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	68

Tabla 19. Proporciones de materiales para 0,07 m ³ de concreto con %4 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	68
Tabla 20. Proporciones de materiales para 0,07 m ³ de concreto con %6 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	69
Tabla 21. Diseño a flexión de las vigas de ensayo.....	71
Tabla 22. Dimensiones de la viga.....	73
Tabla 23. Despiece del acero de refuerzo para vigas de ensayo.....	73
Tabla 24. Resistencia a la compresión cilindros con % 0 Kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	79
Tabla 25. Resistencia a la compresión cilindros con % 4 Kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	79
Tabla 26. Módulo de elasticidad.....	80
Tabla 27. Valores máximo de carga en vigas de % 0 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	82
Tabla 28. Valores máximo de carga en vigas de % 2 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	83
Tabla 29. Valores máximo de carga en vigas de % 4 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	84
Tabla 30. Valores máximo de carga en vigas de % 6 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	85
Tabla 31. Resumen de las cargas máximas con diferentes % de fibra de polipropileno.....	86
Tabla 32. Deformación máxima en viga con % 0 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	87
Tabla 33. Deformación máxima en viga con % 2 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	87
Tabla 34. Deformación máxima en viga con % 4 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	88
Tabla 35. Deformación máxima en viga con % 6 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	88
Tabla 36. Deformación máxima con diferentes % de fibra de polipropileno.....	89
Tabla 37. Deformación a los 22 KN.....	91
Tabla 38. Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 0 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	92
Tabla 39. Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 2 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	92
Tabla 40. Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 4 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	93
Tabla 41. Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 6 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	93
Tabla 42. Esfuerzo de vigas reforzadas para los diferentes % de fibra en kg/m ³	95

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Determinación de contenido de agua.....	11
Figura 2. Curva actual de la resistencia a los 28 días vs. Contenido de cemento.....	11
Figura 3. Determinación del porcentaje óptimo de arena y grava.....	12
Figura 4. Mecanismo de falla de un elemento de concreto con refuerzo de tensión.....	14
Figura 5. Agrietamiento en la falla de vigas sujetas a flexión.....	16
Figura 6. Localización de Ocaña Norte de Santander.....	21
Figura 7. Obtención de muestras, agregado fino y agregado grueso.....	33
Figura 8. Muestras de agregados.....	33
Figura 9. Tamizados de agregados.....	34
Figura 10. Muestras de agregado grueso.....	35
Figura 11. Muestra de agregado grueso.....	37
Figura 12. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado fino.....	39
Figura 13. Contenido de humedad del agregado grueso.....	40
Figura 14. Contenido de humedad del agregado fino.....	41
Figura 15. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	42
Figura 16. Curva granulométrica del agregado grueso.....	42
Figura 17. Análisis granulométrico del agregado fino.....	43
Figura 18. Curva granulometría del agregado fino.....	44
Figura 19. Resultados del ensayo de masa unitaria del agregado grueso.....	45
Figura 20. Resultados del ensayo de masa unitaria del agregado fino.....	46
Figura 21. Resultados del ensayo de peso específico y % de absorción del agregado grueso.....	47

Figura 22. Resultados del ensayo de peso específico y % de absorción del agregado fino.....	48
Figura 23. Secuencia de pasos para la dosificación de mezclas.....	55
Figura 24. Recomendaciones granulométricas para el agregado grueso ASTM C33.....	57
Figura 25. Rango granulométrico recomendado.....	58
Figura 26. Optimización granulométrica de los agregados.....	59
Figura 27. Asentamiento de la mezcla de concreto.....	69
Figura 28. Procedimiento del cálculo de asentamiento (slump).....	70
Figura 29. Diagramas de cortante, momento y despiece.....	71
Figura 30. Armadura principal de la viga.....	74
Figura 31. Encoframiento empleado para las vigas de ensayo.....	76
Figura 32. Fibra de polipropileno para mezclar con concreto.....	76
Figura 33. Elaboración de viga de concreto reforzada.....	77
Figura 34. Cilindro de concreto ensayados en laboratorio.....	78
Figura 35. Grafica de resistencia a la compresión de cilindros.....	79
Figura 36. Módulo de elasticidad en cilindro con % de fibra de polipropileno 0 Kg/m ³ y 4 Kg/m ³	81
Figura 37. Carga máxima de vigas reforzada con % 0 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	82
Figura 38. Carga máxima de vigas reforzada con % 2 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	83
Figura 39. Carga máxima de vigas reforzada con % 4 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	84
Figura 40. Carga máxima vigas reforzada con % 6 kg/m ³ de fibra de polipropileno.....	85
Figura 41. Caga máxima según la adición de fibra de polipropileno.....	86
Figura 42. Deformación máxima para vigas reforzadas.....	89
Figura 43. Deformación máxima según la adición de fibra de polipropileno.....	90
Figura 44. Deformación con carga de 22 KN.....	91
Figura 45. Esfuerzo máximo en vigas reforzadas con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno.....	94

Figura 46. Grafica de esfuerzo máximo.....	95
Figura 47. Falla de los cilindros ensayados a compresion sin fibra de polipropileno.....	96
Figura 48. Falla de los cilindros ensayados a compresion con fibra de polipropileno.....	97
Figura 49. Falla caracteristica de la viga reforzada sin adición de fibra de polipropileno.....	98
Figura 50. Falla caracteristica de la viga reforzada con adición fibra de polipropileno.....	98

Resumen

El concreto es uno de los materiales más utilizado debido a su sencillez de fabricación, manejabilidad, resistencia y la capacidad de adoptar cualquier forma imaginable. El siguiente trabajo de grado se realizó con el fin de caracterizar las propiedades físico-mecánicas del concreto reforzado en vigas con adición de fibra de polipropileno, en donde se desea aportar datos importantes para determinar la resistencia a la flexión y el comportamiento de la fibra de polipropileno en el concreto reforzado. En este documento se plasma el análisis de la fibra de polipropileno en el concreto reforzado de vigas, como también en probetas o cilindros de ensayos de laboratorio, basándose en la realización de 6 cilindros o probetas de ensayo, de las cuales 3 sin fibra de polipropileno y 3 con porcentajes para 4 kg/m³ de fibra de polipropileno. Además, se realizaron 12 vigas reforzadas, con porcentajes para 2 kg/m³, 4 kg/m³ y 6 kg/m³ de fibra de polipropileno, los cuales fueron ensayados a los 28 días, para comprobar y comparar el análisis de la fibra de polipropileno en vigas reforzadas. Por último se realiza un análisis para diferenciar el tipo de fisura generada en las vigas y cilindros ensayados en el laboratorio.

Introducción

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en construcción debido a su sencillez de fabricación, manejo, durabilidad y resistencia. Pero al estar expuesto a acciones químicas y físico- mecánicas, las estructuras presentan un deterioro a través del tiempo, haciendo que su vida útil se reduzca. La corrosión y las fisuras en el concreto son unos de los daños más frecuentes que se presentan en el hormigón armado.

La implementación de nuevas alternativas que permitan el control o disminución de fisuras, utilizando fibras de polipropileno, un material que mezclado con el concreto tiene un reforzamiento tridimensional mejorando su resistencia y reduciendo las fisuras. Utilizando la fibra de polipropileno para mejorar sus propiedades mecánicas del concreto y su calidad para que las estructuras no tengan que estar en constante mantenimiento.

Para comprobar el comportamiento de la fibra de polipropileno en concreto reforzado de vigas y el concreto de probetas de ensayo o cilindros de laboratorio, es necesario de realizar distintas muestras con diferentes dosificaciones para demostrar por medio de prueba y error la capacidad que ofrece la fibra de polipropileno en el concreto, por lo que a continuación se esbozan los procedimientos utilizados para dar a conocer la resistencia máxima que ofrece la fibra de polipropileno en el concreto reforzado de vigas en total 12, las cuales fueron ensayadas en los laboratorios de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, además también se realizaron pruebas de cilindros de concreto con y sin fibra de polipropileno para analizar su comportamiento.

Capítulo 1. Caracterización de las propiedades físico-mecánica del concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno en viga

1.1 Planteamiento del problema

El concreto es uno de los materiales más utilizados en las obras civiles. Su alta resistencia a la compresión es la característica principal. Conociendo que la resistencia a la flexión en el hormigón es baja, es necesario tener cuidado con este tipo de comportamiento ya que en los elementos flexionados se generan fisuras, permitiendo que agentes químicos penetren y aceleren el proceso de corrosión en el acero de la estructura, reduciendo la vida de servicio del concreto. No obstante, es importante tener en cuenta el recubrimiento y la calidad del concreto para protegerlo de la corrosión.

El problema a la flexión, con relación a la aparición de fisuras y durabilidad del concreto en condiciones normales presentadas en estructuras como: edificios, pavimentos, pisos industriales, etc. Han llevado a la necesidad de que se generen nuevas alternativas para mejorar su resistencia a la flexión, implementando fibras de otros materiales, las cuales ayudan al concreto a mejorar su comportamiento y resistencia.

En los últimos años el uso de concreto reforzado con adición de fibras, a nivel mundial vienen en aumento, utilizados en obras como pavimentos, edificaciones, concretos proyectados en sostenimiento de túneles, taludes, piscinas; etc.

En Colombia el uso de fibras en el concreto se está dando a conocer, como una nueva tecnología de aplicación, pero su uso más común es en las industrias y la minería. Las ventajas que tiene el uso del polipropileno en el concreto son: el concreto soporta una gran cantidad de carga, fibras que se pueden mezclar con facilidad ofreciendo una distribución de esfuerzos, reduciendo daños a futuro de corrosión, controla y mitiga la retracción y fisuración por retracción plástica.

En cuestión, la implementación de fibras en el concreto es una nueva tecnología que requiere de ardua investigación para comprobar el buen manejo que representa su utilidad, por lo que en este proyecto se plantea la utilización de fibras de polipropileno en vigas de concreto reforzado de distintas dosificaciones para comprobar las mejoras que se obtienen en su comportamiento al ser ensayadas en laboratorio y evaluadas hasta su punto de falla.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo contribuirá la adición de fibra de polipropileno en el comportamiento mecánico del concreto reforzado en vigas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Caracterizar las propiedades físico mecánicas de un concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno en vigas.

1.3.2 Objetivos específicos. Diseñar la mezcla de concreto, para contenidos porcentuales de 2 Kg/m³, 4 Kg/m³ y 6 Kg/m³ de fibra de polipropileno, para ser evaluadas en los ensayos de laboratorio.

Determinar el comportamiento del concreto ante la acción de cargas con y sin la adición de fibra de polipropileno, siguiendo lo establecido por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2871.

Realizar comparaciones de los resultados obtenidos de resistencia a la flexión, con las vigas de concreto reforzadas con y sin la adición de fibra de polipropileno, para valorar la influencia de la fibra en el concreto.

Analizar el comportamiento de las fisuras en las vigas de concreto reforzado con y sin adición de fibra de polipropileno para diferentes cargas.

1.4 Justificación

Hoy en día el concreto es uno de los materiales de construcción más importante a nivel mundial pues cabe resaltar que después del agua es el material más usado en todo el mundo, actualmente los problemas que se presentan como agrietamientos o fisuración en el concreto son debido a su baja resistencia a la flexión, generando corrosión en los aceros de refuerzo, debido a la carbonatación, provocando que las estructuras se deterioren y tengan que estar en constante mantenimiento.

Esta investigación se realizará con la finalidad de estudiar la fluencia de la incorporación de fibra de polipropileno en el hormigón, conociendo el porcentaje óptimo de fibra de polipropileno necesario para el hormigón en distintas resistencias, de tal manera que no altere su calidad y función. Por medio del diseño de mezcla del concreto y el ensayo de laboratorio de resistencia a la flexión, determinando las propiedades físico-mecánica del concreto reforzados en vigas con adición de fibra de polipropileno.

La implementación de nuevos materiales como fibras, para reforzar el concreto, será una ayuda necesaria para mejorar sus propiedades mecánicas y con ello lograr mayor resistencia y reducción de fisuración que mejore la calidad del concreto.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación operativa. El proyecto se realizará en los laboratorio de geotecnia y de resistencia de materiales, de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1.5.2. Delimitación conceptual. Para determinar la caracterización de las propiedades físico-mecánica del concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno se debe tener los conocimientos de: resistencia a la flexión, asentamiento del concreto, fibra de polipropileno, módulo de elasticidad, módulo de rotura, cortante, durabilidad, corrosión.

1.5.3. Delimitación geográfica. El proyecto se realizará en la ciudad de Ocaña en las instalaciones de la universidad francisco de Paula Santander Ocaña.

1.5.4. Delimitación temporal. El proyecto investigativo se llevará a cabo en un tiempo de 5 meses los cuales se desarrollarán las actividades necesarias que necesita para cumplir los objetivos planteados.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

La idea de reforzar con materiales fibrosos resistentes, pero de elevada fragilidad se remonta a muchos años atrás; en el antiguo Egipto se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después de la cocción al sol.

Existen otros ejemplos históricos: revoques reforzados con crin de caballo, o también con paja en las construcciones más precarias, para evitar fisuras antiestéticas de retiro, contra pisos en yeso armado con esteras de caña, conglomerados de cemento fibroreforzados con amianto etc.

La orientación científica al problema del fibrorefuerzo es indudablemente más reciente.

Son de los años '50 los primeros estudios sobre la utilización de fibras en acero y en vidrio en el hormigón; en los años '60 en cambio aparecen los primeros estudios sobre hormigones fibroreforzados con fibras sintéticas. (MACCAFERRI, 2007).

2.1.1 Antecedentes a nivel mundial. Según Santos Cortes L., (2006), en su tesis para optar el título de maestro en ingeniería estructural, denominada “contribución de fibras pp provenientes de plásticos reciclados en el agrietamiento y resistencia del concreto en pavimentos portuarios de Veracruz” concluye que en los ensayos a flexión las fibras PP evitaron que las vigas presentaran una falla súbita y que finalmente colapsaran manteniendo la pieza unida, a diferencia del comportamiento de la mezcla sin fibra donde la pieza se separa al llegar a la falla con mucha facilidad.

Ruano Sandoval G., (2013), menciona en su tesis de maestría estructural titulada “refuerzo de elementos estructurales de hormigón con hormigón reforzado con fibras”. La reparación y el refuerzo de estructuras son actividades que se han venido desarrollando cada vez más dentro de la industria de la construcción. Una de las tipologías más usadas son las estructuras de hormigón

armado y en determinadas circunstancias pueden necesitar refuerzo o reparación. Entre los distintos materiales que se pueden usar para refuerzo, el hormigón reforzado con fibras presenta propiedades mecánicas y de durabilidad que lo hacen atractivo para estas actividades.

Según Irías Pineda A. (2013), menciona en su tesis de maestría denominada “refuerzo de elementos estructurales con hormigones con fibras y solo fibra”. Las fibras con una adecuada resistencia mecánica a la tracción, homogéneamente distribuida dentro de un hormigón, constituye una micro-armadura la cual, por un lado se muestra extremadamente eficaz para contrastar el fenómeno de la fisuración por retracción y, por otro lado, confiere al hormigón una ductilidad que puede llegar a ser considerable en la medida en que sea elevada la resistencia misma de las fibras y su cantidad, confiriendo además al hormigón en tales circunstancias una gran tenacidad.

Hidalgo Alvarado J., (2016). Menciona en su tesis “resistencia a cortante de elementos de hormigón reforzado con fibras” La utilización de fibras discretas distribuidas aleatoriamente en la masa de hormigón puede implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones, debido a que la adición de las fibras mejora su tenacidad y resistencia a flexo tracción. Pese a sus ventajas, la efectividad de las distintas fibras disponibles en el mercado puede ser muy variable. Por ello es necesario conocer el comportamiento estructural de los elementos estructurales con este tipo de fibras.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional. En lo que respecta al territorio colombiano los esfuerzos por realizar investigaciones con relación al tema de estudio son notables.

Por consiguiente algunas de esas investigaciones se destacan a continuación.

De los Ángeles Liévano M. & Gutiérrez Torres A., (2011), concluyen en su Tesis de Grado “caracterización de fisuras en vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno sometidas a flexión dinámica” que la adición de fibras de polipropileno en concretos convencionales genera un refuerzo distribuido aleatoriamente en tres direcciones el cual proporciona durabilidad en términos de propagación de fisuras a las estructuras construidas con dicho material y que el parámetro que define el estado de fisuración en las vigas para cada una de las etapas de carga es el área de afectación, de la que se concluye que para vigas con adición de fibras se tiene menor daño estructural debido a estados elevados de fractura por el aumento gradual de la carga.

Cañon Sosa L. & Aldana Calderón F., (2016), en su tesis denominada “Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno sikafiber® ad de sika y toc fibra500 deToxement,” nos dicen que:

A lo largo de la historia los ensayos al concreto se han desarrollado con el fin de analizar su comportamiento en diferentes situaciones; ya sea a tensión o a compresión teniendo en cuenta su disposición final, para mejorar la resistencia y otras debilidades del concreto en su estado puro se ha venido adicionando a la mezcla fibras sintéticas, las cuales aportan beneficios tanto en estado plástico como endurecido. El beneficio de usar fibras sintéticas se ve reflejado en la edad temprana del mismo y avanza cuando el concreto ya este endurecido; y entre estos beneficios se encuentra la mejora significativa de la capacidad para resistir las fuerzas que ocasionan rotura.

2.3 Marco Teórico

En teoría la investigación de la incorporación de la fibra de polipropileno en el concreto reforzado de vigas para la reducción de fisuras tiene como principal factor de mayor importancia la dosificación de las distintas mezclas de concreto que se pueden presentar.

2.3.1 Dosificación de mezclas de concreto. El diseño de mezclas de concreto tiene por objeto encontrar la dosificación más económica de cemento, agregado grueso y arena para producir un material con la resistencia, manejabilidad, impermeabilidad y durabilidad requeridos por el diseño de la estructura y por el método constructivo a utilizar.

Existen numerosos métodos para dosificar concretos, pero no son métodos exactos sino métodos ensayo-error, en los cuales se dosifica la mezcla, se hace una mezcla de prueba y posteriormente se hacen los ajustes por asentamiento o resistencia si son del caso. Antes de diseñar una mezcla de concreto se debe conocer:

El asentamiento requerido.

La resistencia estructural f_c para la cual se va a diseñar el concreto.

Las propiedades y características de los agregados

El espaciamiento del acero de refuerzo.

La menor dimensión de formaleta.

Característica de la obra, en cuanto al proceso del concreto, mezclado, transporte y curado.

Condiciones ambientales de trabajo.

Control de calidad, etc.

Según Gutiérrez de López, L. (2003), nos dice que:

Se especifican dos métodos: un primer método basado en las granulometrías completas del agregado grueso y del agregado fino y un segundo método recomendado por el American Concrete Institute. A.C.I.

Método I. Uso de las granulometrías completas de la arena y del agregado grueso se basa en el hecho de que para obtener un buen concreto es fundamental tener una buena granulometría

de la mezcla arena-grava. Una óptima relación de estos agregados proporciona una masa unitaria máxima, obteniendo así una porosidad mínima y por consiguiente una menor cuantía de cemento.

Esta se logra combinando la arena y la grava en porcentajes óptimos, obtenidos mediante el método para alcanzar una granulometría determinada combinando dos materiales; la curva granulométrica que se procura obtener al mezclar los dos materiales, es la conocida como Parábola de Fuller.

$$P = 100\left(\frac{d}{D}\right)^{1/2}$$

P = Porcentaje de material que pasa por el tamiz de abertura d.

D = Tamaño máximo del agregado.

La gran ventaja de esta curva es su simplicidad, pero para concretos con bajo contenido de cemento, menos de 300 kg/m³ presenta deficiencia en el contenido de arena que puede corregirse aumentando la cantidad.

Conocidas las cuantías de cemento y agua pueden determinarse las cantidades de arena y grava si se sabe que el volumen de un m³ de concreto está compuesto de:

$$V_e + V_{ar} + V_p + V_{ag} + V_{aire} = 1$$

V_e: Volumen de las partículas de cemento m³/m³.

V_{ar}: Volumen de las partículas de arena en m³/m³.

V_p: Volumen de las partículas de grava en m³/m³.

V_{ag}: Volumen de agua en 1/m³.

V_{aire}: Volumen del aire incluido dentro de la masa del concreto en m³/m³ de concreto el cual tiene un valor de 1,5% del volumen total, cuando no se usan aditivos inclusores de aire.

$$V(ar + p) = 1 - (V_e + V_{ag} + V_{aire})$$

Conocido el volumen de las partículas de arena y agregado grueso por m³ de concreto, se puede determinar la masa de cada uno de los dos materiales si se encuentra la mezcla óptima de los mismos, la cual se logra cuando se obtiene la masa unitaria máxima. El procedimiento gráfico es el más práctico. El cual se puede apreciar en las siguientes figuras, en donde la figura 1, las convenciones son las siguientes:

Línea continua = agregado liso

Línea de rayas = agregado angular

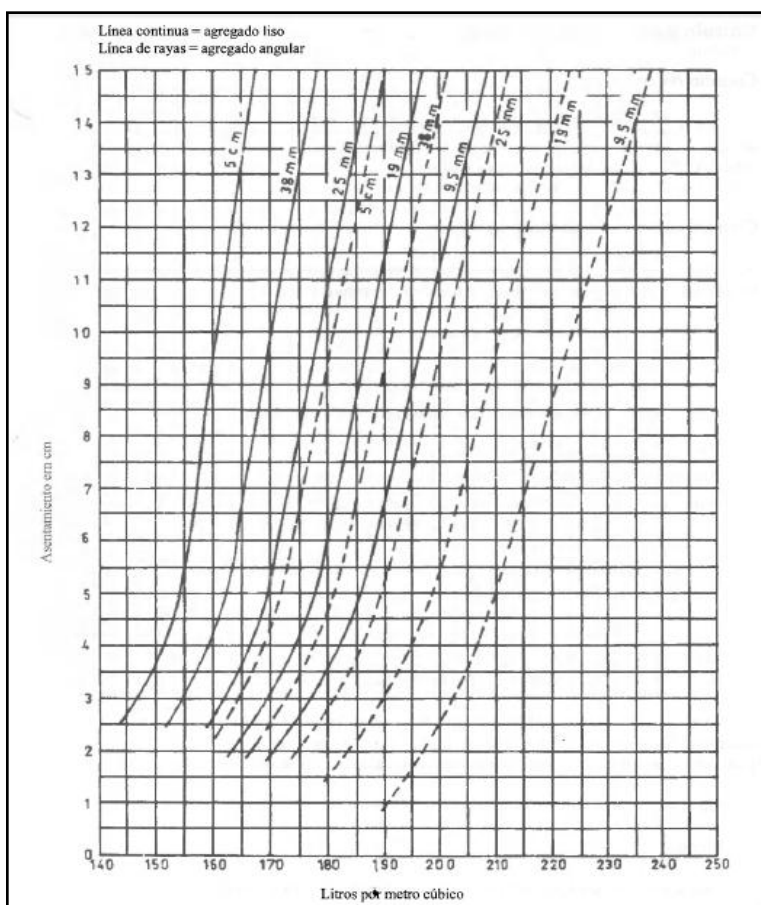


Figura 1. Determinación de contenido de agua. Fuente: Gutiérrez de López, (2003).

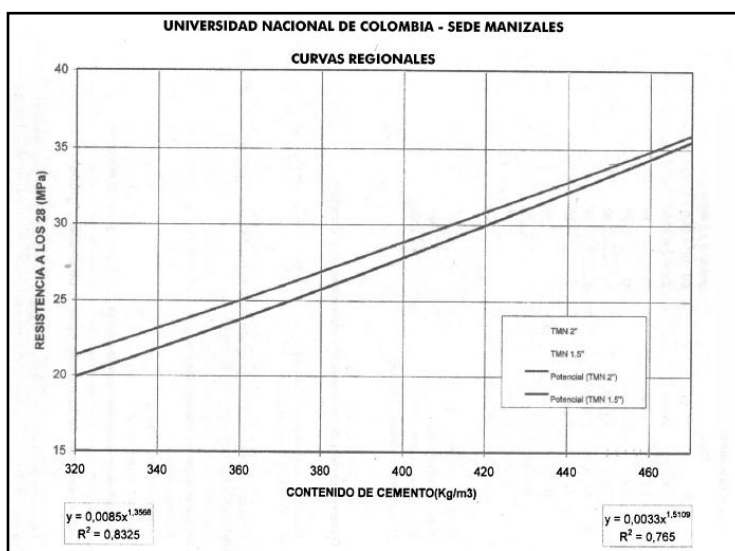


Figura 2. Curva actual de la resistencia a los 28 días vs. Contenido de cemento. Fuente: Gutiérrez de López, (2003).

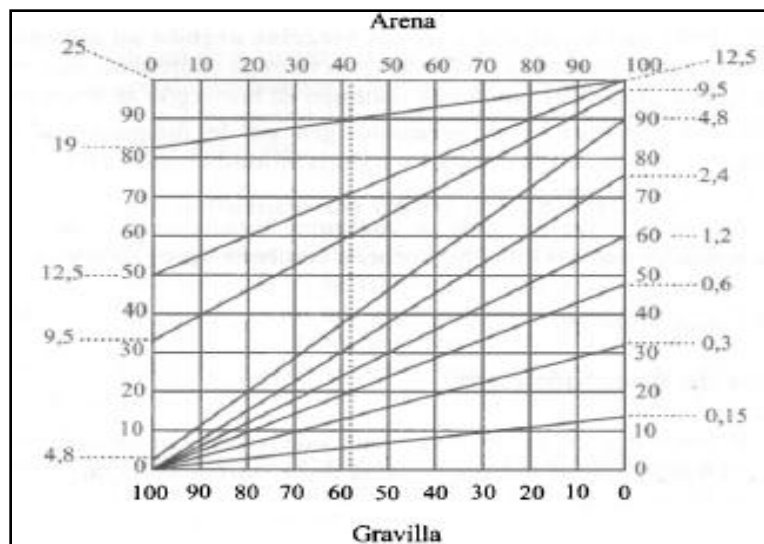


Figura 3. Determinación del porcentaje óptimo de arena y grava. Fuente: Gutiérrez de López, (2003).

El segundo método según Gutiérrez de López, L. (2003) es el siguiente:

El comité ACI 211 recomienda un método para calcular las proporciones en que deben entrar los componentes del concreto para obtener un material con las características deseadas por el calculista de la obra y por las necesidades de la construcción. El método, además del principio básico de la relación agua-cemento, se basa fundamentalmente en las siguientes suposiciones:

La trabajabilidad y la consistencia de las mezclas usando un agregado dado quedarán aproximadamente constantes entre los límites prácticos de contenidos de cemento, si a la vez el agua y el agregado grueso por unidad de volumen de hormigón se mantienen constantes.

Las mezclas con diferentes tipos de agregados gruesos del mismo tamaño máximo, tendrán también el mismo grado de plasticidad y trabajabilidad cuando ellas contengan el mismo volumen compactado de agregado grueso.

El volumen resultante, o rendimiento de cualquier hormigón es la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales componentes: cemento, agregados y agua. El método comprende 11 pasos:

Paso 1. Selección de Asentamiento. El asentamiento depende del tipo de obra a construir y de la terminación del concreto con vibración o sin ella; éste nos da la trabajabilidad o manejabilidad de la mezcla; en la figura 4 se dan algunos asentamientos para obras específicas.

Paso 2. Selección del tamaño máximo del agregado. El tamaño máximo debe ser el mayor económicamente disponible y compatible en el tamaño del elemento a construir. En ningún caso podrá exceder de un quinto de la menor dimensión entre los lados de la formaleta, de un tercio del espesor de la losa, ni de las tres cuartas partes del espaciamiento libre entre varillas individuales de refuerzo, haces de varilla o cables pretensados.

Paso 3. Estimación del contenido de agua (A) en litros. La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiera para lograr un asentamiento requerido, depende del tamaño máximo del agregado y la forma de las partículas y de la gradación de los agregados. La tabla 2, proporciona una estimación del agua necesaria en función del tamaño máximo del agregado y del asentamiento dado, pero según la textura de los agregados, la demanda del agua en la mezcla puede ser mayor o menor, por lo que es necesario primero hacer una mezcla de prueba con el agua tabulada.

Paso 4. Determinación de la Resistencia de Diseño. El concreto debe dosificarse y producirse para lograr una resistencia de diseño f'_c dada por el calculista. Dada la variabilidad del concreto por la cantidad de parámetros que se involucran en su fabricación, es necesario dosificarlo para una resistencia f'_c mayor que la f'_c especificada.

Paso 5: Selección de la relación agua - cemento (A/C). La relación agua-cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por los factores como durabilidad y propiedades para el acabado.

Paso 6. Cálculo del contenido de cemento La cantidad de cemento (C) en kilogramo por unidad de volumen de concreto se obtiene de dividir el contenido de agua A entre la relación agua-cemento.

Paso 7. Estimación del contenido de agregado grueso. Los agregados que tengan esencialmente la misma granulometría y tamaño máximo, producirán un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen determinado de agregado grueso, seco y compactado por un volumen unitario de concreto.

Paso 8. Estimación del contenido del agregado fino. La cantidad de agregado fino se determina por la diferencia entre el volumen total de la mezcla (1m^3) y la suma de los volúmenes de cemento-agua y agregado grueso.

Paso 9. Cálculo de las proporciones iniciales. El método más utilizado para expresar las proporciones de una mezcla de concreto es el indicarlos en forma de relaciones por peso de cemento, agregado fino y agregado grueso, tomado como unidad el cemento, se considera además conveniente colocar antes de las proporciones la relación agua - cemento.

Paso 10. Ajuste por humedad de los agregados. Debe tenerse en cuenta la humedad de los agregados para pesarlos correctamente. Generalmente, los agregados están húmedos y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficial.

Paso 11. Ajustes a las mezclas de prueba. Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse por medio de ensayos de asentamiento y resistencia hechos en muestras tomadas de la mezcla de prueba en el laboratorio o en el campo; cuando no se cumple con el asentamiento o resistencia requerida, debe hacerse los ajustes necesarios.

2.3.2 Comportamiento y modos de falla de elementos sujetos a flexión. Para poder entender el mecanismo de falla de un elemento de concreto con refuerzo de tensión; en la figura 4 se muestra la gráfica y el esquema de flexión de un elemento con un porcentaje de acero usual en la práctica. Al empezar a cargar el comportamiento de la pieza es esencialmente elástico y toda la sección contribuye a resistir el momento exterior.

Cuando la tensión en la fibra más esforzada de alguna sección excede la resistencia del concreto a tensión, empieza aparecer grietas. A medida que se incrementa la carga, estas grietas aumentan en número, en longitud y en abertura. Se puede observar muy claramente la zona de la pieza sujeta a tensión, en la que se presentan las grietas y la zona sujeta a compresión.

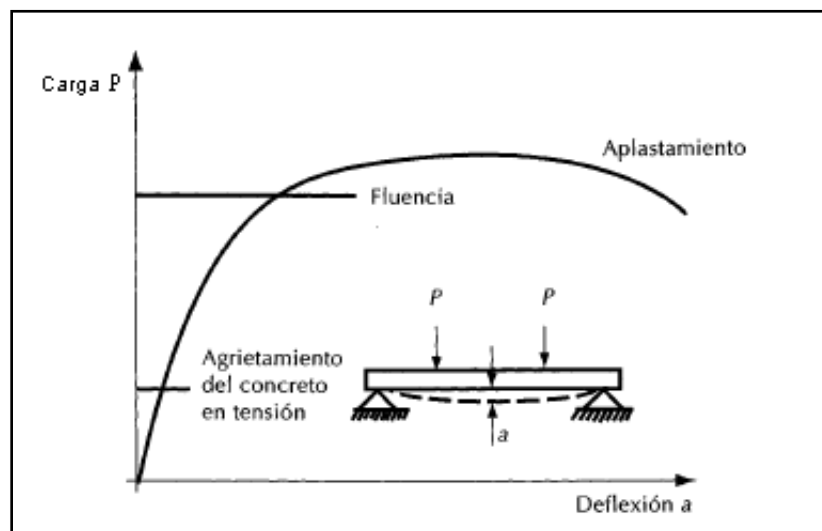


Figura 4. Mecanismo de falla de un elemento de concreto con refuerzo de tensión. Fuente: González Cuevas & Robles Fernández, (2005).

Según González Cuevas & Robles Fernández, (2005), nos dice que:

A partir de la aparición de las primeras grietas el comportamiento espécimen ya no es elástico y las deflexiones no son proporcionales a las cargas. En las regiones agrietadas, el acero toma prácticamente toda la tensión. En esta etapa, el esfuerzo en el acero aumenta hasta que alcanza su valor de fluencia. Desde el momento en que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que apenas aumente la carga. Esto es, la resistencia del elemento es solo ligeramente mayor que la carga que produce la fluencia del acero. Los primeros síntomas de la fluencia del acero son un incremento notable en la abertura longitud de las grietas y un quiebre marcado en la curva carga-deflexión.

A medida que aumenta la longitud de las grietas, la zona de compresión se va reduciendo hasta que concreto en esta zona es incapaz de tomar la compresión y se aplasta. El primer indicio del aplastamiento es el desprendimiento de escamas en zona de compresión. Cuando esto ocurre, la carga disminuye con mayor o menor rapidez, dependiendo de la rigidez del sistema de aplicación de la carga, hasta que se produce colapso final.

Según cantidad de acero longitudinal con que está reforzada la pieza, éste puede fluir no antes de que se alcance la carga máxima.

Cuando el acero fluye, el comportamiento del miembro es dúctil; es decir, se producen deflexiones considerables antes del colapso final, tal como se muestra en la figura 10. En este caso se dice que el elemento es sub reforzado. Por otra parte, si la cantidad de acero longitudinal de tensión es grande, éste no fluye antes del aplastamiento y se dice entonces que elemento es sobre forzado; si el elemento alcanza su resistencia precisamente cuando acero, empieza fluir se dice que el elemento es balanceado (falla balanceada).

En la figura 5 se pueden apreciar los esquemas de agrietamiento correspondientes a vigas con diferentes porcentajes de acero. En el caso de un elemento sobre reforzado, la zona de aplastamiento del concreto es mayor que en caso de otro sub reforzado. Las grietas del primero son de longitud y abertura menores.

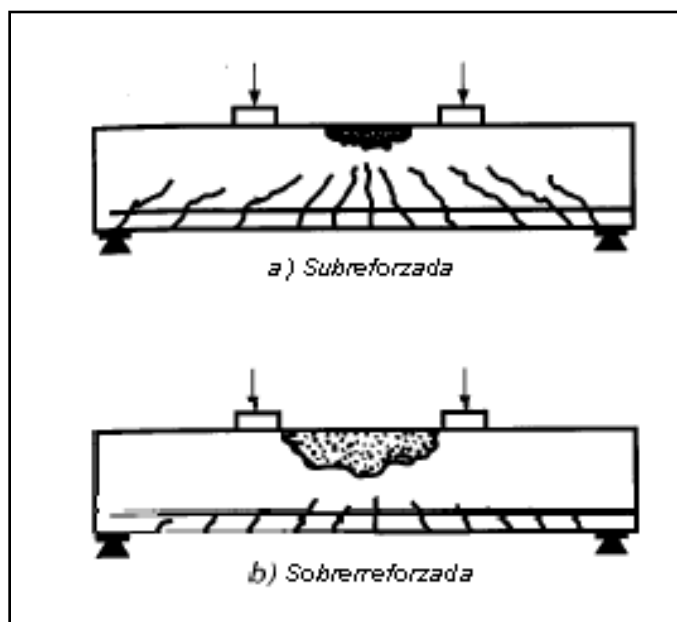


Figura 5. Agrietamiento en la falla de vigas sujetas a flexión. Fuente: González Cuevas & Robles Fernández, (2005).

2.3.3 Control de la fisuración en miembros flexionados. Según el informe técnico del

Comité ACI 224 (2001) nos dice que:

En los miembros flexionados el control de la fisuración puede ser tan importante como el control de la deflexión. La fisuración de la zona traccionada de una viga armada comienza con niveles de tensión muy bajos en la armadura, tan bajos como 20 Mpa (3000 psi). Para las superficies de hormigón expuestas el control de la fisuración también es importante desde el punto de vista estético.

El papel que desempeñan las fisuras en la corrosión de las armaduras es un tema controvertido (ACI 222R). Un punto de vista es que las fisuras reducen la vida de servicio de las estructuras porque permiten que la carbonatación penetre más rápidamente y que los iones cloruro, la humedad y el oxígeno lleguen hasta el acero de las armaduras. Otro punto de vista es que, aunque las fisuras aceleran el inicio de la corrosión, la corrosión es localizada. Con el tiempo los cloruros y el agua penetran el hormigón no fisurado e inician una corrosión más generalizada. En consecuencia, luego de algunos años de servicio hay poca diferencia entre la cantidad de corrosión en el hormigón fisurado y el no fisurado. Los parámetros más importantes para la protección contra la corrosión son el recubrimiento de hormigón y la calidad del hormigón.

2.3.4 Hormigón reforzado con fibras. Según las investigaciones realizadas por Pujadas Álvarez P. (2009) en su segundo capítulo de su libro titulado “Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno” nos dice que:

Se ha observado que la incorporación de fibras al hormigón mejora la respuesta frente a la fisuración y reduce la fragilidad del mismo. Esto también se puede interpretar como un aumento de la tenacidad del material (habilidad que tiene el material para absorber energía durante la deformación plástica sin que se produzca la fractura), resultando el hormigón con fibras especialmente adecuado para sobrellevar acciones dinámicas o prevenir situaciones donde se requiera el control de los procesos de fisuración. Este fuerte aumento de la tenacidad es una de las características más apreciadas de los hormigones reforzados con fibras.

2.3.4.1 Características del hormigón con fibras. La resistencia a compresión del hormigón no se ve afectada de manera significativa por el contenido de fibras, y el agotamiento por compresión se anuncia por la formación de fisuras en la dirección de la tensión de compresión, como en el hormigón convencional.

2.3.4.3 Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Actualmente la situación del mercado del acero hace que este tipo de fibras sea especialmente interesante, ya que el precio del acero ha subido de manera más que notable. Además, se plantea el problema añadido de no garantizar al cliente el suministro ni el mantenimiento del precio del mismo durante prolongados periodos de tiempo.

Las fibras de polipropileno al añadirse al hormigón se dispersan perfectamente en todo el volumen de éste. Esto confiere a dicha matriz un armado en tres dimensiones, por lo que ya no hablamos de un refuerzo bidimensional como lo era el acero. Cabe destacar que, a pesar de ser un elemento discreto, aporta continuidad al volumen de la pieza de modo tal que al fracturarse no se separa. Todo ello, sumado a las características de la fibra (geometría y módulo elástico), repercute en un incremento de la tenacidad (capacidad de absorción de energía) y mejor recuperación en la zona post-elástica.

2.4 Marco conceptual

En el desarrollo de la investigación para determinar la caracterización de las propiedades físico-mecánica del concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno se tendrán en cuenta los siguientes conceptos que serán definidos a continuación.

2.4.1 Resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión del concreto se determina en vigas de acuerdo a la norma NTC 1377 y para ensayarla se aplica carga en los tercios medios de la luz y el módulo de Rotura se calcula como:

$$MR = \frac{PL}{BD^2}$$

Si la falla ocurre por fuera del tercio medio, pero no está separada de él por más de una longitud equivalente al 5% de la luz libre, el módulo de rotura debe ser calculado así:

$$MR = \frac{3P_A}{BD^2}$$

Si la falla ocurre por fuera del tercio medio de la viga y a una distancia de él mayor al 5% de la luz libre el ensayo debe descartarse. Si la carga se aplica en el centro de la luz del módulo de rotura será:

$$MR = \frac{3PL}{2bD^2}$$

En donde

MR: Módulo de rotura kg/cm².

P: Carga máxima aplicada en kg.

L: Luz libre entre apoyos en cm.

B: Ancho de la viga en cm.

D: Altura de la viga en cm.

A: Distancia entre línea de rotura y apoyo más próximo, medido a lo largo del eje longitudinal de la cara inferior de la viga, en cm.

2.4.2 Asentamiento del concreto. El asentamiento es la medida que da la facilidad de trabajo o consistencia del hormigón. En otras palabras, mide la facilidad del hormigón para empujar, moldear y alisar. En consecuencia, la calificación de asentamiento indica qué aplicación de hormigón es buena para la construcción. Cuanto mayor sea el asentamiento, lo más viable es el hormigón. Si el asentamiento del hormigón es demasiado bajo, no se formará con mucha facilidad. Si es demasiado alto, se corre el riesgo de tener la grava, arena y cemento asentados fuera de la mezcla, por lo que es inutilizable.

2.4.3 Fibra de polipropileno. La fibra de polipropileno es un aditivo de reforzamiento que se le añade al concreto, mejorando así, la calidad de construcciones ya que de modo permeable ayuda a que el agua no dañe al concreto y sufra fisuras por la humedad puesto que reduce el agrietamiento y la fisuración en estructuras.

El polipropileno es absolutamente inerte y estable, no se corroe y posee una resistencia a los álcalis muy alta. Además es antiestático y no magnético y tiene una vida útil ilimitada, por lo que su compatibilidad con morteros cementosos y hormigones es muy alta.

2.4.4 Módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad, es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Osorio J. D. (2011) afirma “representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo. Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal y constante, el material tiene un comportamiento elástico”.

2.4.5 Módulo de rotura. “Resistencia máxima determinada en un ensayo de flexión o torsión. En un ensayo de flexión, el módulo de rotura en la flexión es el esfuerzo máximo en la fibra cuando se produce el fallo.” (INSTRON, 2012).

2.4.6 Durabilidad. La durabilidad de un concreto es la característica que le hace mantener su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio a través del tiempo y frente a problemas de clima, ataques químicos o cualquier otro proceso de deterioro.

“La durabilidad del concreto puede verse afectada por causas internas, como su permeabilidad, los materiales constituyentes o cambios de volumen debido a diferentes propiedades térmicas. La exposición del medio ambiente también puede generar deterioro por causas físicas, químicas o mecánicas.” (Gutiérrez de. López, L., 2003).

2.4.7 Corrosión.

La Corrosión de Armaduras en el Hormigón Armado es uno de los daños más frecuentes y que ocasionan mayores deterioros en las estructuras de Hormigón Armado. Se manifiesta mediante el desprendimiento del hormigón de una forma puntual o longitudinal, dejando las armaduras próximas a la superficie sin protección, por lo que con el tiempo quedan recubiertas por una película de óxido que se manifiesta mediante la aparición de manchas en la zona afectada. Durante la hidratación del cemento se libera hidróxido cálcico, también llamado portlandita, que otorga carácter básico al hormigón, situando al ph entre 12 y 13. Con estos valores de ph el acero de las armaduras se encuentra pasivado, es decir, recubierto con una capa de óxidos, compacta y continua, que lo mantiene protegido de la corrosión. Si bien existen varias causas que pueden dar lugar a la destrucción de la capa pasivante del acero, en la práctica los factores que promueven la corrosión electroquímica de las armaduras en el interior del hormigón son mayoritariamente la carbonatación y la presencia de cloruros, o ambos factores en conjunto, ayudados por el fisuramiento o la porosidad del hormigón que permite el paso hasta las armaduras de oxígeno, humedad y de diversos agresores del medio. (Anónimo, 2012).

2.5 Marco contextual

El proyecto de investigación se realizara en la ciudad de Ocaña Norte de Santander, con apoyo de la Universidad Francisco de Paula Santander, y las áreas específicas, laboratorios de geotecnia y resistencia de materiales.

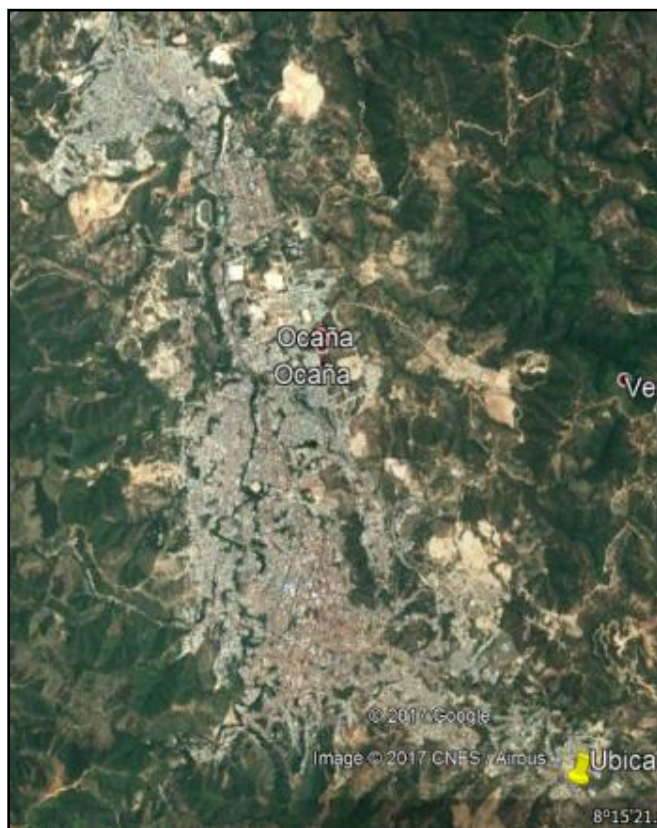


Figura 6. Localización de Ocaña Norte de Santander. Fuente. Google Earth.

Ocaña es un municipio colombiano del departamento de Norte de Santander. Está ubicado en la zona nororiental y está conectado por carreteras nacionales con Bucaramanga, Cúcuta y Santa Marta.

Según el plan de ordenamiento territorial de Ocaña, se encuentra sobre la cordillera oriental andina. La rodean montañas que alcanzan los 2.600 msnm. Su temperatura promedio es

de 22 °C y dista de Cúcuta 218 km. Se encuentra entre los límites de Norte de Santander y Cesar , es el punto de encuentro de muchos Bumangueses y Cucuteños con rumbos terrestres hacia la costa caribe colombiana. El área donde se encuentra Ocaña, se denomina Provincia de Ocaña, ésta tiene un área de 8.602 km² con una altitud mínima de 761 msnm.

Poblacionalmente, se constituye como el segundo municipio del departamento después de Cúcuta con 97.479 habitantes (a 2014), incluida el área rural. Su extensión territorial es de 460 km², que representa el 2,2% del departamento. Su altura máxima es de 1 202 msnm y la mínima de 761 m.

2.6 Marco legal

En el proyecto de investigación los lineamientos legales tenidos en cuenta corresponden a la norma técnica colombiana que rige los métodos de ensayo para el concreto en los que se tuvieron en cuenta los mencionados a continuación.

Norma técnica colombiana 396. INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO EN EL CONCRETO. Esta norma establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en la obra y laboratorio. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 1992).

Norma técnica colombiana 2871. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA FLEXIÓN (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS MEDIOS. Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso de una viga simple con carga en los tercios medios. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 2004).

Norma técnica colombiana 1377. INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE LABORATORIO. Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que se puede compactar por apisonamiento o vibración, como se describe en la presente norma. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 1994).

Norma técnica colombiana 673. CONCRETOS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 2010).

Norma técnica colombiana 4025. CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON EN CONCRETO A COMPRESIÓN. Esta norma determina. (1) el módulo de elasticidad secante (o módulo de Young) y (2) la relación de Poisson de cilindros de concreto normalizados y núcleos de concreto, cuando éstos, se hallan bajo esfuerzos de compresión longitudinal. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 2006).

Norma técnica colombiana 5541. CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA. Esta norma se aplica a todas las formas de concreto reforzado con fibra que se entrega a compradores, con los ingredientes mezclados uniformemente y de las que se pueden hacer ensayos en el sitio de entrega, según acuerdo con el cliente. No incluye la colocación, consolidación, curado o protección del concreto reforzado con fibra, después de despacharlo al comprador. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 2007).

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Metodología

La metodología que se llevará a cabo en la realización del proyecto de grado titulado caracterización de las propiedades físico-mecánica del concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno en vigas se realizará en cuatro fases.

I FASE: Investigación bibliográfica. En esta fase se investiga todos los referentes bibliográficos, ya sean revistas, tesis, normas técnicas; etc. concerniente al proyecto de investigación.

II FASE: diseño de mezclas. En esta fase se realizará el diseño de mezcla óptimo, que cumpla con la dosificación de la mezcla de concreto para la realización de las probetas a ensayar.

III FASE: Ensayos de laboratorio. En esta fase serán sometidas las probetas a los ensayos respectivos.

IV FASE: Análisis, conclusiones y recomendaciones según los resultados obtenidos. En esta última fase ya teniendo los datos ordenados, se harán los respectivos análisis, conclusiones y recomendaciones de estos.

3.2 Tipos de investigación

El presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo, experimental, cuantitativo y exploratorio.

Descriptivo porque además de conocer las características físicas mecánicas del concreto, se determinará la cantidad de fibra de polipropileno necesario para una adecuada dosificación en el concreto.

Este proyecto también será de tipo experimental debido a los ensayos de laboratorio que se realizarán a flexión y compresión.

Será de tipo cuantitativo con respecto a los datos obtenidos en el laboratorio ya que podemos realizar cálculos y mediciones.

Y por último exploratorio debido a que en su desarrollo se buscará la influencia que tiene la fibra de polipropileno en el uso del concreto en sus propiedades mecánicas al variar los porcentajes de fibra adicionada.

3.3 Población

Arias, F. G. (2006). La define como “el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación.”

Este proyecto de investigación es aplicado a vigas reforzadas sin y con adición de fibra de polipropileno el cual será nuestra población.

3.4 Muestra

Es importante señalar que cuando la población es pequeña, se puede trabajar con todos los elementos como muestra, es decir que no debe aplicarse ninguna fórmula para calcular la muestra; por lo que la misma población será la muestra. (Brito, 2015).

En esta investigación se elaborarán especímenes que cuenten con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno y sin la fibra de polipropileno, para hacer un análisis comparativo, las cuales serán ensayadas en la maquina universal que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales, a los 28 días.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Las técnicas e instrumentos de recolección de información que se llevara a cabo para la realización de este proyecto mediante la fuente primaria en los análisis de materiales, diseño de mezclas, formulas, ensayos a flexión y las fuentes secundarias serian documentos digitales, tesis y propuestas que ya realizadas con respecto al tema.

3.6 Procesamiento de la información

El procesamiento de la información se llevará a cabo con respecto a los datos obtenidos en los laboratorios, con los cuales se realizaran las gráficas y tablas que serán analizadas.

Capítulo 4. Administración del proyecto

4.1 Recursos humanos

4.1.1 Investigadores.

ALVARO JOSE ROBLES CORDERO- Estudiante de Ingeniería Civil.

EZEQUIEL MADARIAGA GONZALEZ- Estudiante de Ingeniería Civil.

4.1.2 Director. LEANADRO OVALLOS MANOSALVA- Ingeniero Civil.

4.2 Recursos institucionales

- Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Laboratorio de resistencia de materiales y laboratorio de geotecnia de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

4.3 Recursos financieros

Tabla 1

Ingresos- Egresos

Ingresos

Descripción	Valor
Ezequiel Madariaga González	\$ 402.000
Álvaro José Robles Cordero	\$ 402.000
TOTAL	\$ 804.000

Egresos

DESCRIPCIÓN	Valor
Fibra de polipropileno	\$ 96.000
Cemento	\$ 60.000
Agregado grueso	\$ 45.000
Agregado fino	\$ 26.000
Agua	\$ 3.000
Formaletas	\$ 180.000
Acero para vigas	\$ 144.000
Impresiones	\$ 30.000
Compra de Norma NTC	\$ 60.000
Transporte	\$ 100.000
Imprevistos	\$ 60.000
TOTAL	\$ 804.000

Capítulo 5. Resultados de la investigación

5.1 Diseño de la mezcla de concreto, para contenidos porcentuales de 2 Kg/m³, 4 Kg/m³ y 6 Kg/m³ de fibra de polipropileno, para ser evaluadas en los ensayos de laboratorio.

En la presente investigación, para llevar a cabo los ensayos de laboratorio en vigas con fibra de polipropileno es importante resaltar el diseño de la mezcla de concreto a emplear, para lo cual a continuación se esbozan los parámetros necesarios que se utilizaron para realizar la mezcla en distintos contenidos porcentuales de 2 Kg/m³, 4 Kg/m³ y 6 Kg/m³.

5.1.1 Determinación del contenido de humedad de los agregados. La cantidad de agua superficial para las partículas del agregado. Viene a ser la diferencia entre el estado actual de humedad y estado seco. El procedimiento a emplear es considerado tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, por lo cual se describe a continuación.

Se selecciona una fracción representativa del material a determinar la humedad, se ubica la muestra en un recipiente previamente y debe estar limpio y seco, se pasa la muestra en el recipiente, luego se lleva a proceso de secado en un horno durante 24 horas a temperatura de 110°C, al cabo de 24 horas, se deja enfriar a temperatura ambiente y se obtiene el peso seco. La clasificación porcentual de la muestra de los agregados, se puede apreciar en la siguiente figura 7, en donde se muestra el fraccionamiento de la muestra para tomar el valor equivalente a usar, tanto para el agregado grueso como para el agregado fino. En la figura 8 se muestra el debido proceso de secado de la muestra.



Figura 7. Obtención de muestras, agregado fino y agregado grueso. Fuente: Autores del proyecto

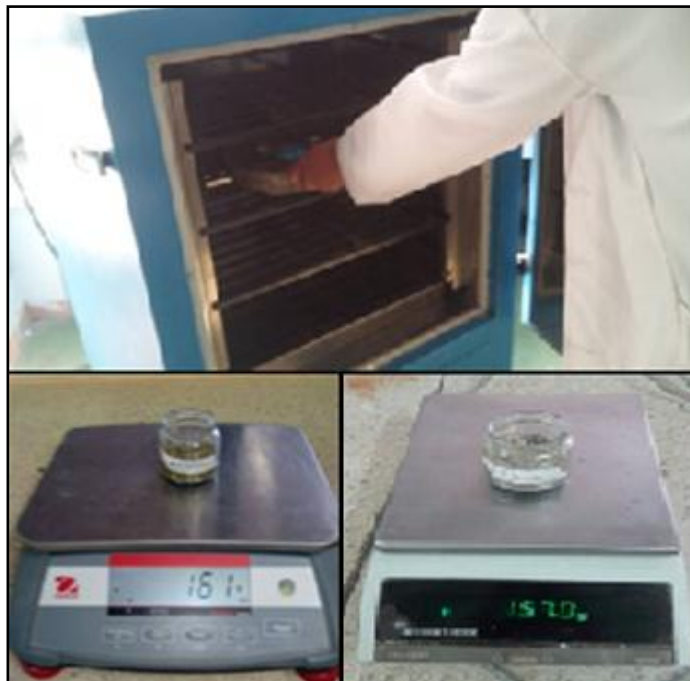


Figura 8. Muestras de agregados. Fuente. Autores del proyecto.

5.1.2 Ensayo para análisis por tamizado, agregados grueso y fino. Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado por análisis de tamices, el método de determinación granulométrico es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramada que actúan como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices.

El procedimiento para el agregado fino es similar al agregado grueso; se selecciona una muestra la más representativamente posible, una vez secada la muestra se pasan 1000 gramos de agregado fino y 4000 a 5000 gramos de agregado grueso, después de la muestra anterior se hace pasar por una serie de tamices de pendiendo del tipo de agregado. En el caso del agregado grueso se pasa por los siguientes tamices en orden descendentes (1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", #4 y fondo, la cantidad de la muestra retenida en cada uno de los tamices se cuantifica en la balanza obteniendo de esta manera el peso retenido. Lo mismo se realiza con el agregado fino pero se pasa por los siguientes tamices (#4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y fondo). Ver figura 9.

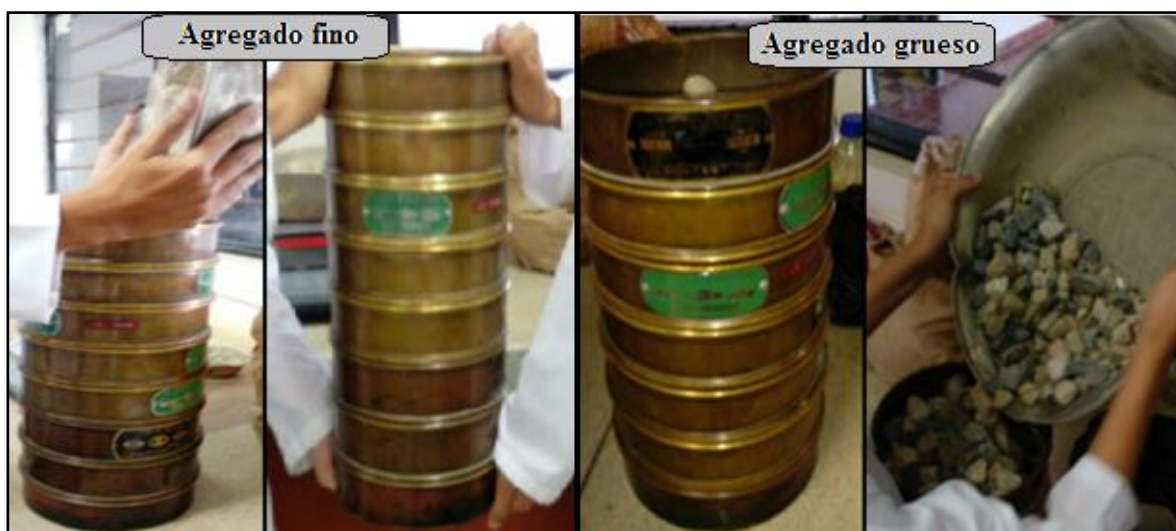


Figura 9. Tamizados de agregados. Fuente: Autores del proyecto.

5.1.3 Ensayo de la masa unitaria de los agregados. La masa unitaria corresponde al peso específico del material que se está empleando, esta propiedad es propia y varía dependiendo del tipo de material a utilizar ya que las características de una cantera de extracción del material u otra no son siempre las mismas.

5.1.3.1 Masa unitaria del agregado suelto. El procedimiento para el agregado fino es similar para el empleo del agregado grueso, se llena el recipiente por medio de una pala de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 cm, por encima del borde, hasta colmarlo, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con una varilla, de modo que las partes saliente se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase, se determina la masa en Kg del recipiente lleno, mediante una balanza.

5.1.3.2 Masa unitaria del agregado compactado. El agregado se coloca en el recipiente, correspondiente a tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo, cada una de las capas se empareja y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa. La varilla de acero es de 16mm de ancho y 60 cm de longitud, terminada en una semiesfera. Al apisonar se aplica la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la capa respectiva., una vez colmado el recipiente se enrasa la superficie usando la varilla como regla y se determina la masa del recipiente lleno, en Kg.



Figura 10. Muestras de agregado grueso. Fuente: Autores del proyecto.

5.1.4 Ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados grueso. Para la realización del ensayo para obtener la gravedad específica y la absorción de los agregados grueso se lleva a cabo del siguiente procedimiento.

Se lava la muestra hasta asegurar que han sido eliminados el polvo u otros recubrimientos superficie las de partículas, se seca a continuación en el horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, se deja enfriar al aire a temperatura ambiente durante un periodo de 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, y se sumerge en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas, después del periodo de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores.

A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado saturado superficialmente seco. Se coloca inmediatamente la muestra del árido en estado saturado superficialmente seco en la canastilla metálica y determinar su peso sumergido en el agua, a la temperatura entre $23^\circ\text{C} \pm 1.7$ y tener una densidad de $997 \pm 2 \text{ Kg/m}^3$. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida, agitando convenientemente, la canasta y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte las pesadas, y se seca luego la muestra en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, enfriarla al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco. Ver figura 11.



Figura 11. Muestra de agregado grueso. Fuente: Autores del proyecto

5.1.5 Gravedad específica y absorción de los agregados finos. La muestra a utilizar se selecciona, por cuarteo, una cantidad de aproximadamente 1000 gramos, que se seca en el horno a 100 - 110°C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Luego una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr un peso constante.

A continuación se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante 24 horas, después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de secar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, mientras se agita continuamente para que la desecación sea uniforme, y continuando el secado hasta que las partículas puedan fluir libremente, y cuando se empiece a observar visualmente que se está aproximando el agregado a secarse, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, echando en su interior a través de un embudo y sin apelmazar, una cantidad de muestra suficiente, que se

apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación, con cuidado, verticalmente el molde. Ver figura 12.

Si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial. Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 100.0 g del agregado fino, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 por ciento de su capacidad; para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, e incluso agitando o invirtiéndolo si es preciso, introduciéndolo seguidamente en un baño de agua a una temperatura entre 21° y 25°C durante 1 hora, transcurrida la cual se enrasa con agua a igual temperatura, se saca del baño, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua).

Se saca el agregado fino del matraz y se seca en el horno a 100 -110°C, hasta peso constante; se enfría al aire a temperatura ambiente durante una hora u hora y media, y se determina finalmente su peso seco.

Si no se conoce, se determinará el peso del picnómetro aforado lleno de agua hasta el enrase, sumergiéndolo en un baño de agua a la temperatura de ensayo y siguiendo en su determinación un procedimiento paralelo, respecto a tiempos de inmersión y pesadas.



Figura 12. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado fino. Fuente: Autores del proyecto.

5.1.6 Resultados de los ensayos de agregados. Para la obtención de resultados dada la implementación de las instalaciones de los laboratorios de geotecnia y resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, también se utilizó el compendio de los formatos para registrar los datos obtenidos de los laboratorios por lo que para dar a conocer los resultados sin cambiar los formatos se muestran como figuras con el fin de conservar los dichos formatos de la universidad.

5.1.6.1 Determinación del contenido de humedad. Para determinar el contenido de humedad, se calcula como la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco dividido sobre el peso seco, multiplicado por cien para obtener el valor porcentual, aplicado tanto para el agregado grueso como para el agregado fino.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100$$

Con relación al agregado grueso, en la siguiente figura 13, se expresan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados para determinar el contenido de humedad del agregado grueso, en donde para obtener un valor que proporcione una mayor seguridad del resultado, se tomaron tres muestras, las cuales se realizó el mismo procedimiento para cada una de ellas determinando así, tres valores del contenido de humedad para luego dar como valor final el promedio de estos tres valores, el cual es empleado para realizar el respectivo diseño de la mezcla de concreto. El valor final del contenido de humedad del agregado grueso es de 1.38 %.

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA						
"CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCO MECANICA DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGAS."						
Laboratorio N°1	DTERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO. I.N.V.E-122-07					
N° MUESTRAS	1	2	3	4	5	6
PESO DEL RECIPIENTE	31,59	34,12	30,29			
PESO DEL RECIPIENTE +AGREGADO HUMEDO (gr)	140,30	142,56	141,33			
PESO DEL RECIPIENTE+ AGREADO SECO (gr)	138,90	140,90	139,90			
PESO AGREGADO HUMEDO	108,71	108,44	111,04			
PESO AGREGADO SECO	107,31	106,78	109,61			
CONTENIDO DE HUMEDAD	1,30463144	1,554598239	1,30462549			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	1,387951724					
FECHA	10/10/2017					

Figura 13. Contenido de humedad del agregado grueso. Fuente: Autores del proyecto.

Teniendo en cuenta que el procedimiento para determinar el contenido de humedad del agregado fino es el mismo con relación al agregado grueso; en la siguiente figura 14, se muestran los resultados obtenidos del laboratorio del material de muestra del agregado fino para realizar posteriormente el diseño de mezcla del concreto para vigas y cilindros.

 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA							
"CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCO MECANICA DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGAS."							
Laboratorio N°1		DTERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO. I.N.V.E-122-07					
N° MUESTRAS		1	2	3	4	5	6
PESO DEL RECIPIENTE		32,48	31,01	37,68			
PESO DEL RECIPIENTE +AGREGADO HUMEDO (gr)		137,34	136,25	138,67			
PESO DEL RECIPIENTE+ AGREGADO SECO (gr)		133,34	132,85	135,17			
PESO AGREGADO HUMEDO		104,86	105,24	100,99			
PESO AGREGADO SECO		100,86	101,84	97,49			
CONTENIDO DE HUMEDAD		3,96589332	3,33857031	3,59011181			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO		3,6					
FECHA	10/10/2017						

Figura 14. Contenido de humedad del agregado fino. Fuente: Autores del proyecto.

Al igual que en el agrado grueso, en la figura 14, también se puede observar que se emplearon tres muestras de agregado fino para obtener valores de mayor precisión. Como resultado el contenido de humedad final del agregado fino, empleado para el diseño de la mezcla de concreto, corresponde a 3,6 %.

5.1.6.2 Análisis granulométrico del agregado grueso. Es de resaltar que el análisis granulométrico tanto del agregado grueso como del agregado fino, son de suma importancia para la elaboración del diseño de la mezcla de concreto, ya que proporciona el valor correspondiente a los diámetros característicos del material utilizado para realizar el diseño de la mezcla de concreto empelado para vigas y cilindros de ensayo.

En la siguiente figura 15, se aprecia el resultado del análisis granulométrico realizado en los laboratorios de geotecnia de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

ABERTURA DEL TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% PASA	% RETENIDO ACOMULADO	ESPECIFICACIONES	
mm	pulg					Ls	Li
				100			
	1 1/2"	0	0	100	0		
25	N° 1	0	0	100	0	100	100
19,5	3/4"	330,53	8,3	91,7	8,3	100	90
12,5	1/2"	3048,76	76,2	15,5	84,5		
9,5	3/8"	537,8	13,4	2,1	97,9	55	25
4,75	N° 4	63,26	1,58	0,5	99,51	10	0
FONDO		19,65	0,5	0,0	100,00		
		4000	100				
FECHA	10/10/2017						

Figura 15. Análisis granulométrico del agregado grueso. Fuente: Autores del proyecto.

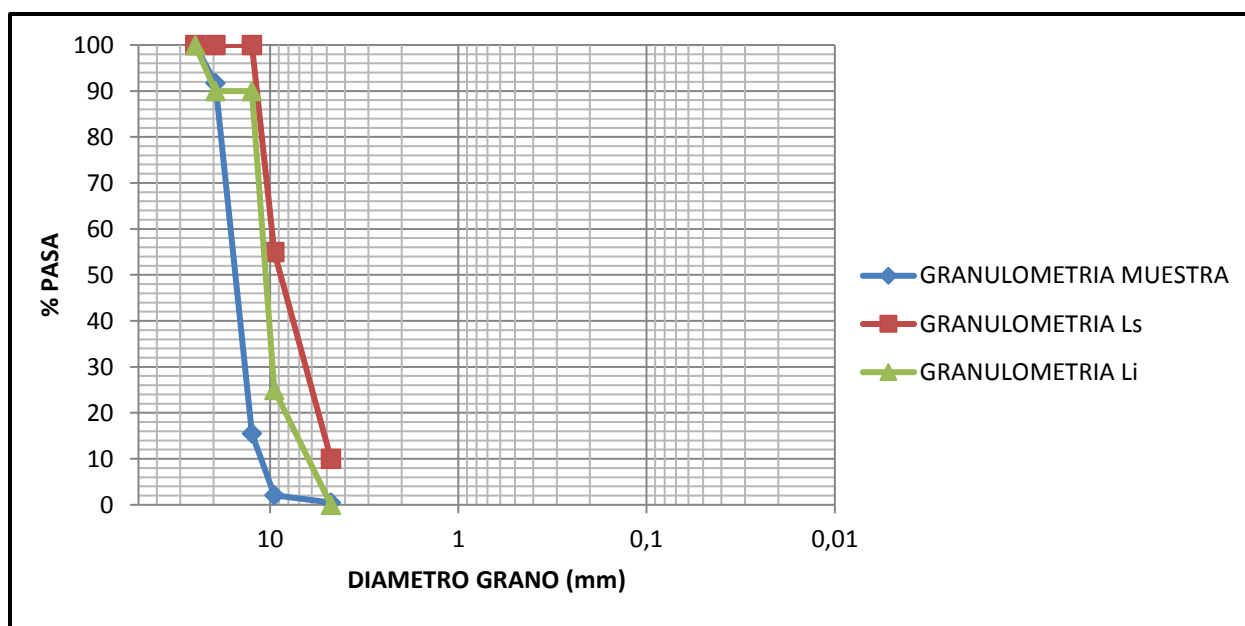


Figura 16. Curva granulométrica del agregado grueso. Fuente. Autores del proyecto.

En la figura 16, se muestra la curva característica del análisis granulométrico correspondiente al agregado grueso. De acuerdo al ensayo de granulometría del agregado grueso se obtuvo que el tamaño máximo del agregado es de 1", y el tamaño máximo nominal igual $\frac{3}{4}$ ".

5.1.6.3 Análisis granulométrico del agregado fino. Los resultados del análisis granulométrico del agregado fino, se muestran en la figura 17, en donde se muestra el peso retenido en cada tamiz, como también el porcentaje de material que pasa por cada tamiz y el porcentaje retenido del mismo.

ABERTURA DEL TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	% RET ACOMULADO	ESPECIFICACIONES	
mm	pulg					Ls	Li
				100			
4,8	#4	35,03	3,503	96,50	3,503	100	80
2,4	#8	109,21	10,921	85,58	14,424	85	50
1,2	#16	235	23,5	62,08	37,924	60	25
0,6	#30	293,01	29,301	32,78	67,225	30	10
0,3	#50	202,35	20,235	12,54	87,46	10	2
0,15	#100	110,85	11,085	1,45	98,545		
0,08	#200	9,77	0,977	0,48	99,522		
		4,78	0,478	0,00	100		
		1000	100				
FECHA	10/10/2017						

Figura 17. Análisis granulométrico del agregado fino. Fuente: Autores del proyecto.

En la figura 18, se aprecia la curva granulométrica característica para el agregado fino en donde luego posteriormente se procede a determinar el módulo de finura empleando la siguiente ecuación:

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

$$mf = 3$$

El módulo de finura ideal según los parámetros técnicos de la norma para ensayos de laboratorios corresponden a 2,3 – 3,1; el valor obtenido cumple puesto que se encuentra dentro de los parámetros conservadores del módulo de finura.

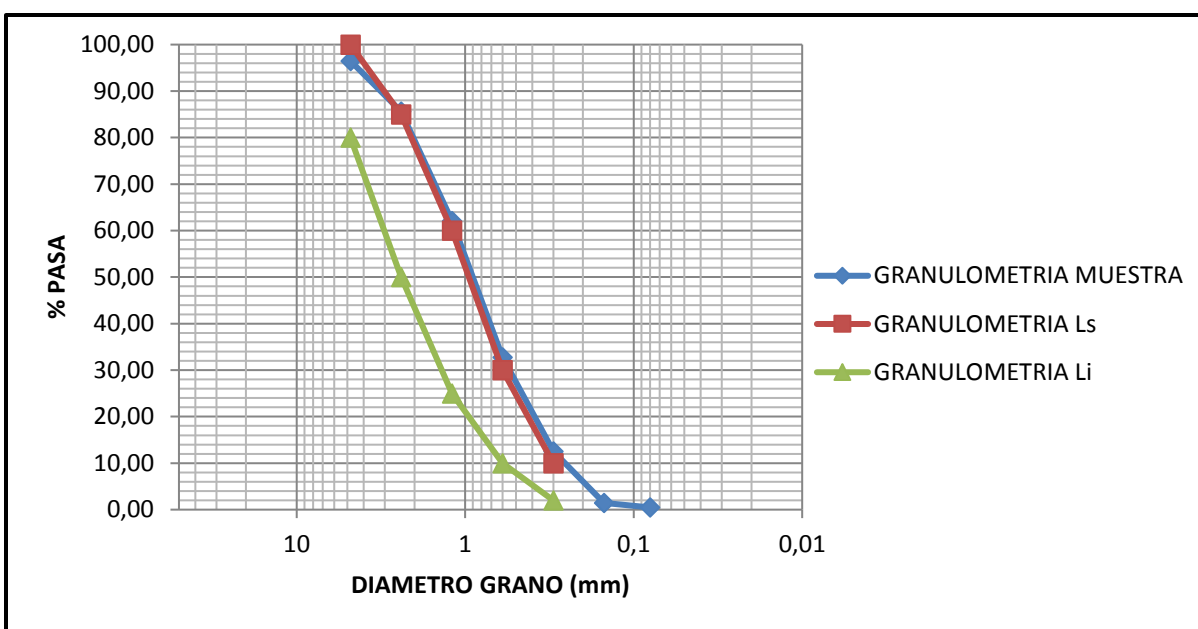


Figura 18. Curva granulométrica del agregado fino. Fuente: Autores del proyecto.

5.1.6.4 Resultados del ensayo de masa unitaria del agregado grueso. Los datos suministrados respecto al ensayo de masa unitaria para el agregado grueso se pueden apreciar en la figura 19, en donde se esbozan los datos de las tres muestras utilizadas tanto compactada como suelta, para determinar un valor promedio del peso unitario del agregado grueso dado en unidades de kilogramos sobre metros cúbicos.

		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA					
"CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCO MECANICA DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGAS."							
Laboratorio N°3		MASA UNITARIA DEL AGREGADO GRUESO I.N.V. E – 217 – 07					
PESO DEL RECIPIENTE (Kg)	6,121						
ALTURA DEL RECIPIENTE (m)	0,12						
DIA METRO (m)	0,15						
VOLUMEN DEL MOLDE (m3)	0,00212						
	(MUC) COMPACTADA			(MUS) SUELTA			
N° MUESTRA	1	2	3	1	2	3	
PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO (Kg)	9,406	9,427	9,452	9,17	9,203	9,159	
PESO UNITARIO (Kg/m3)	1549,5283	1559,43396	1571,22642	1438,20755	1453,77358	1433,01887	
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg/m3)	1560,062893			1441,666667			
FECHA	11/10/2017						

Figura 19. Resultados del ensayo de masa unitaria del agregado grueso. Fuente: Autores del proyecto.

Cabe resaltar que la formula tenida en cuenta para calcular el peso unitario suelto y compactado corresponde a la forma básica de masa sobre volumen, por consiguiente la expresión matemática para el caso de estudio es la siguiente:

$$P. U. (suelto o compactado) = \frac{\text{Peso Neto}}{\text{Volumen}}$$

En donde el Peso Neto = (peso del cilindro+ agregado) – peso del cilindro.

5.1.6.5 Resultados del ensayo de masa unitaria del agregado fino. En la figura 20 se suministran los datos respecto al ensayo de masa unitaria del agregado fino para ser utilizado en el diseño de mezcla, teniendo en cuenta tres muestras para promediar el valor final arrojando como resultado un dato más preciso.


 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA						
"CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGAS."						
Laboratorio N°3		MASA UNTARIA DEL AGREGADO FINO I.N.V. E – 217 – 07				
PESO DEL RECIPIENTE (Kg)	5,611					
ALTURA DEL RECIPIENTE (m)	0,12					
DIAMETRO (m)	0,15					
VOLUMEN DEL MOLDE (m3)	0,00212					
	(MUC) COMPACTADA			(MUS) SUELTA		
N° MUESTRA	1	2	3	1	2	3
PESO DEL RECIPIENTE + AGREGADO (Kg)	9,231	9,213	9,239	8,429	8,453	8,59
PESO UNITARIO (Kg/m3)	1707,54717	1699,0566	1711,32075	1329,24528	1340,56604	1405,18868
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg/m3)	1705,974843			1358,333333		
FECHA	11/10/2017					

Figura 20. Resultados del ensayo de masa unitaria del agregado fino. Fuente: Autores del proyecto.

5.1.6.6 Resultados de ensayo peso específico y % de absorción del agregado grueso. Los resultados de los ensayos de peso específico y % de absorción de la muestra de agregado grueso que será utilizada para el diseño de la mezcla, se pueden observar en la siguiente figura 21, en donde se aprecia que tan solo se tomaron dos muestras representativas de todo el material a emplear para el concreto de vigas y cilindros.

Al igual que en los ensayos de masa unitaria la formula a emplear en términos del ensayo de peso específico corresponde a:

$$\text{Peso Especifico grueso} = \frac{\text{Peso A. Seco}}{V}$$

Dónde:

$$V = (\text{Peso al aire} + \text{tara}) - (\text{Peso sumergido al agua})$$

		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA				
"CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGAS."						
Laboratorio N°3	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO I.N.V. E –223 – 07					
N° TARA	1	2	3	4	5	6
PESO TARA (gr)	130	186,12				
PESO CANASTILLA (gr)	458,37	458,37				
PESO AL AIRE+ TARA (gr)	1436,37	1509,15				
PESO SUMERGIDO AL AGUA+ CANASTILLA (gr)	1248	1290				
PESO SECO DEL HORNO+ TARA (gr)	1419,77	1473,15				
VOLUMEN	516,74	491,4				
DENSIDAD APARENTE (gr/cm3)	2,57881793	2,82615283				
PROMEDIO DENSIDAD APARENTE (gr/cm3)	2,702485382					
PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)	2,49597476	2,61910867				
%ABSORCIÓN	1,28705118	2,7971376				
%ABSORCIÓN PROMEDIO	2,04					
PESO ESPECIFICO PROMEDIO (gr/cm3)	2,56					
FECHA	11/10/2017					

Figura 21. Resultados del ensayo de peso específico y % de absorción del agregado grueso.
Fuente: Autores del proyecto.

La fórmula utilizada durante el procedimiento del laboratorio para conocer % de absorción se describe a continuación.

$$\%Abs = \frac{\text{Peso Ag SSS} - \text{Peso Ag. Seco}}{\text{Peso Ag. Seco}} * 100$$

Dónde:

Peso Ag. SSS= (Peso al aire + tara)

Peso Ag. Seco= Peso seco del horno.

Por consiguiente, el valor obtenido de peso específico del agregado grueso es de 2,56 gr/cm³ y su % Absorción es de 2,04%.

5.1.6.7 Resultados de ensayo peso específico y % de absorción del agregado fino. Los resultados del ensayo de la muestra de agregado fino, se pueden ver en la figura 22, en donde a diferencia de los ensayos realizados de peso específico y % de absorción del agregado grueso, solo se utilizó una muestra representativa de todo el material que se utilizara para el concreto de las vigas y cilindros ensayados en laboratorio.

Laboratorio N°3		PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO I.N.V. E - 222 - 07					
N° PICNÓMETRO		1	2	3	4	5	6
PESO DEL PICNOMETRO (gr)		157,140					
PESO A. FINO SECO (gr)		100,000					
PESO= P+ AGUA (gr)		567,240					
P= P+AGUA +A. FINO (gr)		613,670					
VOLUMEN		53,570					
DENSIDAD APARENTE (gr/cm3)		2,586					
PESO DE TARA (gr)		31,000					
PESO =T + A.SSS (gr)		106,710					
PESO =T+A S (gr)		103,940					
%ABSORCIÓN		3,798					
PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)		1,800					
FECHA	11/10/2017						

Figura 22. Resultados del ensayo de peso específico y % de absorción del agregado fino.
Fuente: Autores del proyecto.

Teniendo en cuenta que los métodos de cálculo empleados para determinar el peso específico y el porcentaje de absorción del agregado fino en comparación con el agregado grueso, son los mismos, el valor obtenido de peso específico del agregado fino del material a emplearse en la elaboración de las vigas y cilindros de ensayo, es de 1,8 gr/cm³ y el % absorción es de 3,798%.

5.1.7 Diseño de mezcla de concreto. Después de haber obtenido las propiedades de los agregados mediante los ensayos de laboratorio, se procedió con el cumplimiento en secuencia de cada uno de los pasos para el diseño de mezcla de concreto propuesto 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 1m³ 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).

A continuación se describen cada uno de los pasos a tener en cuenta para el diseño de la mezcla de concreto utilizada en las 12 vigas de concreto reforzado con y sin fibra de polipropileno, como también los cilindros de ensayo.

5.1.7.1 Estimación del asentamiento. El asentamiento nos determina el control de calidad del concreto, en donde para su estimación se utilizó los parámetros que se muestran en la tabla 1. Se tiene en cuenta la consistencia, el grado de trabajabilidad y el tipo de estructura y la condición de colocación.

Tabla 3*Estimación del asentamiento*

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	Construcción de masas voluminosas, losas medianamente reforzadas con vibración, fundiciones en concreto simple, pavimentos con vibraciones normales
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano, columnas, vigas, fundiciones y muros con vibración
10,0 - 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo, trabajos donde la colocación sea difícil, revestimiento de túneles, no recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Nota. La tabla muestra la clasificación del asentamiento de la mezcla de concreto según los parámetros considerados. Fuente: Niño Hernández (2010).

Para este caso se escogió el asentamiento en un rango de 5-10 con consistencia media, grado de trabajabilidad medio y tipo de estructura, que son las vigas.

5.1.7.2 Estimación tamaño máximo nominal (TMC). El tamaño máximo nominal está limitado por las dimensiones de la estructura a construir, como también el tipo de elemento a fundir, por lo cual se obtuvo por medio del ensayo de granulometría del triturado o agregado grueso, el tamaño máximo nominal que corresponde a $\frac{3}{4}$ " igual a 19,5 mm. En la siguiente tabla 2, se corrobora el tamaño máximo nominal en milímetros y pulgadas.

Tabla 4

Tamaño máximo nominal en mm (pulgadas)

Dimensión mínima del elemento	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. La tabla muestra los tamaños máximos nominales dependido del tipo de elemento a emplearse el concreto.

Fuente: Niño Hernández (2010).

5.1.7.3 Estimación 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 3, donde se enseñan los valores que recomienda el ACI 318 S-08 para varios grados de exposición. El valor alcanzado es de 2.

Tabla 5

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 1/2	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. La tabla muestra los porcentajes del contenido de aire de acuerdo al tamaño del agregado grueso. Fuente:

Niño Hernández (2010).

5.1.7.4 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 6, se muestran los valores en función del asentamiento, tamaño máximo nominal de los agregados y el contenido de aire de la mezcla, donde recalamos 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 kg/m³ para un TMN igual a ¾” (19mm), con un asentamiento máximo de 10 cm y considerando el concreto sin aire incluido.

Tabla 6

Agua de mezclado

Condiciones del contenido de aire	Asentamientos (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 aproximado de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

Nota. La tabla muestra la cantidad de agua de mezclado según el TMN, el asentamiento y las condiciones del contenido de aire. Fuente: Niño Hernández (2010).

5.1.7.5 Relación agua cemento (a/c). 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 de las curvas de resistencia a la compresión vs. Relación agua/cemento descrita en el capítulo 11 del libro tecnología del concreto por Niño Hernández, en la tabla 7 se esboza la relación agua cemento (a/c), para determinar el contenido de cemento mediante la ecuación descrita en el literal siguiente 5.1.7.5. Para el caso de la presente investigación la resistencia a tener en cuenta para el diseño de la mezcla de concreto de las vigas y cilindros es de 210 Kg/cm² o 3000 Psi, además de saber que es un concreto sin inductor de aire el valor obtenido de la relación agua cemento (a/c) para el diseño de la mezcla corresponde a 0,58.

Tabla 7

Relación agua/cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm³ (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. La tabla muestra la relación de agua cemento según la resistencia a la compresión a los 28 días del concreto como también del aire inductor que contiene. Fuente. Niño Hernández (2010).

5.1.7.5 Calculo del contenido del cemento. El contenido del cemento se realiza mediante la relación entre el agua de mezclado y la relación agua/cemento reduciendo los términos a la siguiente expresión propuesta en el libro de Niño Hernández (2010):

$$C = \frac{a}{a/c}$$

En donde:

C = Contenido de cemento (kg/m³).

a = Cantidad de agua de mezclado (kg/m³).

a/c = Relación agua cemento (adimensional).

Sustituyendo los valores de la ecuación para el contenido del concreto con los valores calculados anteriormente se tiene lo siguiente:

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

$$C = 347,93 Kg/m^3$$

En la figura 23, 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, en la siguiente figura se puede observar el resumen del procedimiento realizado para su mejor apreciación, teniendo en cuenta que el procedimiento realizado se basó en los parámetros propuestos en el libro del autor Niño Hernández (2010).

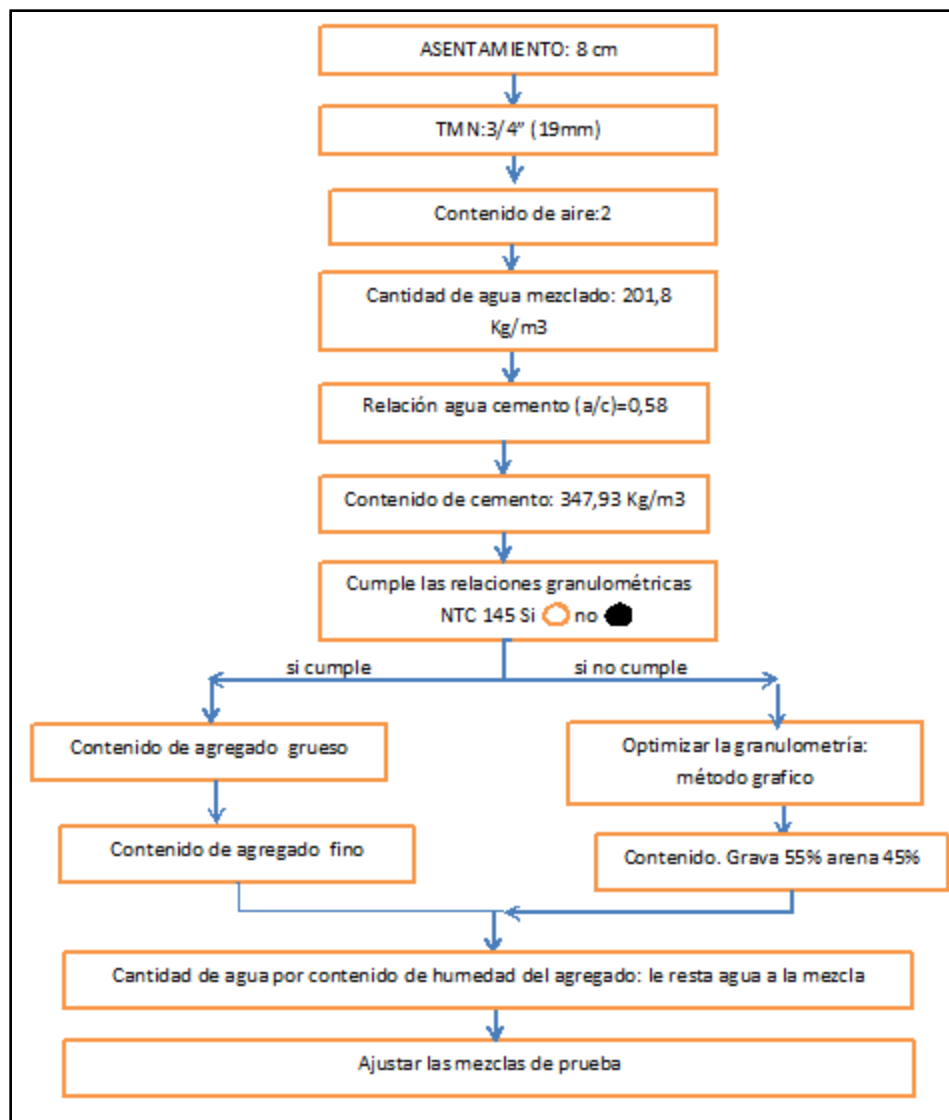


Figura 23. Secuencia de pasos para la dosificación de mezclas. Fuente: Autores del proyecto.

5.1.7.6 Verificación de las especificaciones granulométricas. Con ayuda de las recomendaciones granulométricas para agregado fino ASTM C33 las cuales se pueden observar en la siguiente tabla 8, se obtiene la respectiva comparación con los valores encontrados en las muestras de laboratorio como se puede apreciar en la tabla 9, en donde se verifico que los parámetros recomendados por la norma no cumplen.

Tabla 8

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. La tabla muestra los valores del agregado fino recomendados por la ASTM C33. Fuente: Niño Hernández (2010).

Tabla 9

Verificación de las especificaciones granulométricas agregado fino.

abertura del tamiz		% Pasa	Especificaciones		Condición
Mm	pulg		Ls	Li	
4,8	4	96,5	100	100	
2,4	8	85,58	100	80	No cumple
1,2	16	62,08	85	50	No cumple
0,6	30	32,78	60	25	No cumple
0,3	50	12,54	30	2	No cumple
0,15	100	1,45			
0,08	200	0,48			

Nota. La tabla muestra la verificación de los parámetros obtenidos de la granulometría de la muestra ensayada.

Fuente: Autores del proyecto.

Con relación al agregado grueso, en la siguiente figura 24, se puede apreciar las recomendaciones granulométricas para agregado grueso ASTM C33 como se puede apreciar en la figura 24.

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				

Figura 24. Recomendaciones granulométricas para el agregado grueso ASTM C33. Fuente: Niño Hernández (2010).

En la siguiente tabla 10 se resume la verificación del análisis granulométrico del agregado grueso en donde tan solo un parámetro no cumplió con las especificaciones de la norma técnica ASTM C33

Tabla 10

Verificación de las especificaciones granulométricas agregado grueso

abertura del tamiz		% Pasa	Especificaciones		Condición
Mm	pulg		Ls	Li	
25,4	1"	100	100	100	cumple
19	3/4"	91,7	100	90	cumple
12,7	1/2"	15,5			
9,5	3/8"	2,1	55	20	No cumple
4,8	N°4	0,5	10	0	cumple

Nota. La tabla muestra la verificación de las especificaciones granulométricas del agregado grueso. Fuente: Autores del proyecto.

Se comprobó que los agregados no cumplen con las especificaciones recomendadas en la norma ASTM C33, 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), en donde se realiza una optimización mezclando la arena y la grava, para lograr relaciones entre el agregado grueso y el agregado fino conveniente. Esta combinación se obtiene con ayuda del rango granulométrico recomendado que se muestra en la siguiente figura 25.

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

Figura 25. Rango granulométrico recomendado. Fuente: Niño Hernández (2010).

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 en cuanto a su 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 26. Para obtener de esta manera los porcentajes de 45% de agregado fino y 55% de agregado grueso.

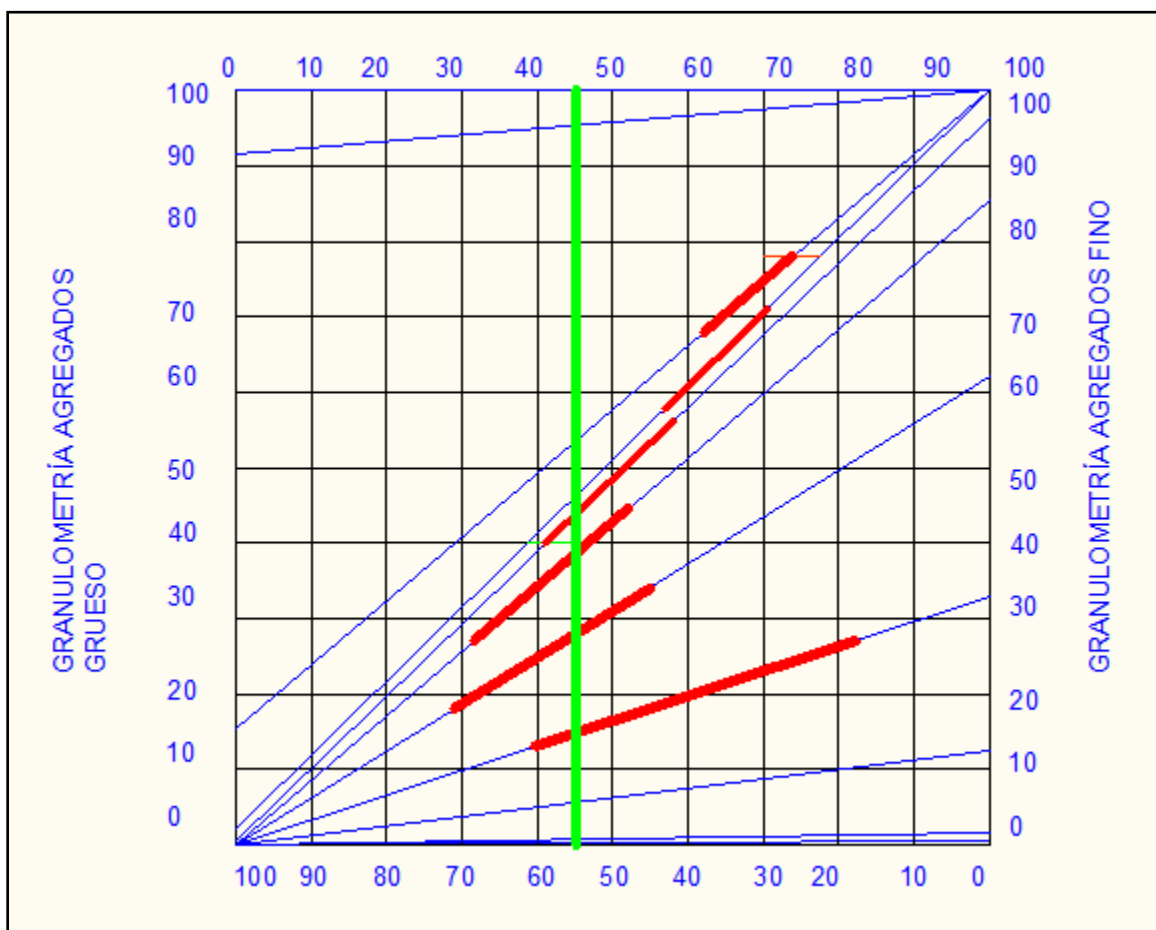


Figura 26. Optimización granulométrica de los agregados. Fuente: Autores del proyecto.

De acuerdo a los parámetros obtenidos en la figura 26. La mezcla óptima de los agregados estará compuesta de 45% de arena y 55% de triturado, cuyo valor combinado se observa en la tabla 11. La abertura de tamices que se encuentran en la dicha tabla, son los valores utilizados empleados para el diseño de la mezcla.

Tabla 11*Optimización de los agregados*

Abertura del tamiz		grava 55 %	arena 45%	material combinado
Mm	pulg			
25	1	100,0	100	100
19,5	3/4"	91,7	100	95,44
12,5	1/2"	15,5	100	53,53
9,5	3/8"	2,1	100	46,16
4,75	#4	0,5	96,50	43,7
2,4	#8	-	85,58	38,51
1,2	#16	-	62,08	27,85
0,6	#30	-	32,78	14,75
0,3	#50	-	12,54	5,64
0,15	#100	-	1,45	0,65
0,08	#200	-	0,48	0,22
	fondo	0	0,00	0

Nota. La tabla muestra la optimización de los agregados con el respectivo material combinado. Fuente: Autores del proyecto.

En resumen, las propiedades evaluadas del material de cantera utilizado para realizar la mezcla de concreto de vigas y cilindros, se aprecian en la siguiente tabla 12.

Tabla 12*Propiedades de los agregados*

Propiedades	Agregado grueso	Agregado Fino	Unidades
Masa unitaria compactada	1560,06	1758,96	Kg/m ³
Masa unitaria suelta	1441,67	1705,97	Kg/m ³
Absorción	2,04	3,798	%
Humedad	1,38	3,6	%
Densidad aparente	2,702	2,586	gr/cm ³
Módulo de finura		3,09	

Nota. La tabla muestra las propiedades calculadas del material para la mezcla de concreto. Fuente: Autores del proyecto.

Las propiedades de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m³ de concreto se describen en el siguiente procedimiento que se basa en la definición de la densidad (d).

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

El volumen de agregados por 1m³ de concreto corresponde a:

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

$$\text{Volumen de agregados} = 1 - (0,2 + 0,02 + 0,11)$$

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

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. En resumen se puede observar los resultados en la tabla 13.

Tabla 13

Proporciones de los materiales de la mezcla de concreto

Material	peso W (Kg/m ³)	Densidad aparente Kg/m ³	volumen	volumen de los materiales sin agregados	volumen de los agregados
Agua	201,8	1000	0,2		
Aire	0	0	0,02		
Cemento	347,73	3200	0,11	0,33	0,67
A. Grueso	995,687	2702	0,37		
A. Fino	779,679	2586	0,30		
			1,0		

Nota. La tabla muestra las propiedades de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para un metro cubico de concreto. Fuente: Autores del proyecto.

Es importante tener en cuenta que los datos obtenidos en la tabla 13 no son los valores definitivos, pues cabe aclarar que se deben ajustar de acuerdo a su absorción y humedad, determinando si aportan o le restan agua a la mezcla de concreto. La diferencia entre la absorción y la humedad en el agregado grueso corresponde a:

$$\Delta = \%w - \%abs$$

$$\Delta = 1,38 - 2,04 = 0,66 \text{ le resta agua ala mezcla}$$

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

$$A = 995,687 * (-1,38\% - 2,04)\%$$

$$A = 6,67$$

En dónde:

A: Sobrante o falta de agua.

m: peso de la muestra en kilogramos

h: % de humedad del agregado

abs: % absorción del agregado

Para el agregado fino, la diferencia entre la absorción y la humedad corresponde a:

$$\Delta = \%w - \%abs$$

$$\Delta = 3,6 - 3,798 = 0,19 \text{ le resta agua ala mezcla}$$

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

$$779,679 * (-3,6\% + 3,798)$$

$$A = 1,48$$

Debido a que ambos agregados restan agua a la mezcla se puede decir que:

$$\sum A = 6,67 + 1,48 = 8,15$$

El nuevo contenido de agua es:

$$agua = 201,80 + 8,15 = 209,95 \text{ Kg}$$

5.1.7.7 Estimación del nuevo contenido de agua y de arena. Conocido el volumen de los agregados y calculada la densidad aparente promedio de los mismos, se puede determinar 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 siguiente expresión:

$$d \text{ promedio} = (\%f)(densi \text{ fino}) + (\%g)(densidad \text{ grava})$$

$$d \text{ promedio} = (45\%)(2586) + (55\%)(2702)$$

$$d \text{ promedio} = 2649,8 \text{ kg/m}^3$$

En dónde:

d promedio: 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 11. Teniéndose en cuenta que:

$$d \text{ promedio} = \frac{wt}{vt}$$

En dónde:

d promedio: densidad promedio

W_f : masa total de agregados por m³ de concreto

V_t : volumen total de agregados por m³ de concreto

Tabla 14

Proporciones de los materiales de la mezcla de concreto con el ajuste del agua de mezclado

Material	peso W (Kg/m ³)	Densidad aparente Kg/m ³	volumen	volumen de los materiales sin agregados	volumen de los agregados
Agua	209,95	1000	0,21		
Aire	0	0	0,02		
Cemento	347,73	3200	0,11	0,34	0,66
A. grueso	980,826	2702	0,36		
A. fino	768,042	2586	0,30		
			1,0		

Nota. La tabla muestra las proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m³ de concreto con el ajuste del agua de mezclado. Fuente: Autores del proyecto.

Ahora se determinan los pesos de los agregados empleando la ecuación anterior, de la cual se obtiene:

$$W_t = d \text{ promedio} * V_t * \%g * \%f$$

Agregado grueso

$$w_g = d \text{ promedio} * (v. \text{Agregados}) * (\%g)$$

$$w_g = 2649,8 * (0,66) * (55\%)$$

$$w_g = 961 \text{ kg}$$

Agregado fino

$$wg = d \text{ promedio} * (v. \text{Agregados}) * (\%g)$$

$$wg = 2649,8 * (0,66) * (45\%)$$

$$wg = 786,99kg$$

Con estos nuevos ajustes, como el que se hizo al agua de mezclado y a la cantidad de agregados se obtiene la siguiente tabla 15 que muestra las cantidades de material necesario para la elaboración de 1 m³ de concreto.

Tabla 15

Proporciones de los materiales de la mezcla de concreto con todos los ajustes pertinentes

Material	peso W (Kg/m ³)	Densidad aparente Kg/m ³	volumen	volumen de los materiales sin agregados	volumen de los agregados
Agua	209,95	1000	0,21		
Aire	0	0	0,02		
Cemento	347,73	3200	0,11	0,34	0,66
A. Grueso	961,8774	2649,8	0,36		
A. Fino	786,9906	2649,8	0,30		
			1,0		

Nota. La tabla muestra las proporciones de los materiales de la mezcla en peso y en volumen para 1 m³ de concreto con todos los ajustes pertinentes. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 16

Dosificación del concreto

Agua	cemento	Agregado grueso	Agregado fino
0,6	1	2,8	2

Nota. La tabla muestra la dosificación de concreto empleada para el ensayo de vigas y cilindros. Fuente: Autores del proyecto.

4.1.7.8 Determinación del volumen a emplear. El volumen de concreto a emplear en la investigación, corresponde al número de vigas y cilindros ensayados los cuales se describen a continuación:

Volumen del cilindro

$$V.Cilindro = \pi * r^2 * h$$

$$V.Cilindro = \pi * (0,075)^2 * 0,30$$

$$V.Cilindro = 0,0053 \text{ m}^3$$

En dónde:

r: radio del cilindro

h: altura del cilindro

Volumen de la viga

$$V.Viga = b * h * l$$

$$V.Viga = 0,10 * 0,15 * 1$$

$$V.Viga = 0,015 \text{ m}^3$$

Dónde:

b: base de la viga

h: altura de la viga

l: largo de la viga

Los ensayos de laboratorio realizados para llevar a cabo la investigación corresponden a 12 unidades de vigas y 6 unidades de cilindros, de los cuales la mitad cuenta con fibra de polipropileno y la otra mitad no, por consiguiente el volumen total de concreto es igual a:

Volumen total de concreto:

$$V. \text{ Concreto} = (V. \text{ Vigas} * 12 \text{ unidades}) + (V. \text{ Cilindros} * 6 \text{ unidades})$$

$$V. \text{ Concreto} = (0,015 * 12) + (0,0053 * 6)$$

$$V. \text{ Concreto} = 0,21\text{m}^3$$

Considerando el 5% en desperdicios, el valor final del volumen del concreto es de:

$$V. \text{ Concreto} = 0,22\text{m}^3$$

Una vez conocido el cálculo de los volúmenes de las vigas y cilindros a ensayar, en las siguientes tablas (tabla 17, tabla 18, tabla 19, tabla 20), se esbozan los resultados del diseño de mezcla del concreto a emplear para las muestras de vigas y cilindros. La tabla 17, corresponde a las proporciones de los materiales para la mezcla de concreto sin adicionarle a la mezcla fibra de polipropileno, con el fin de realizar la comparación a diferencia de las muestras que si llevan fibra de polipropileno en distintos porcentajes.

Tabla 17

Proporciones de materiales para 0,07 m³ de concreto sin adición de fibra de polipropileno

Material	peso W (Kg/m³)	Densidad aparente Kg/m³	volumen m³
Agua	14,6965	1000	0,01
Aire	0	0	0,00
Cemento	24,3551	3200	0,01
A. grueso	68,731418	2649,8	0,03
A. fino	55,089342	2649,8	0,02
Total			0,07

Nota. La tabla muestra las proporciones de los materiales de la mezcla en peso y volumen para 0,07m³ de concreto sin adición de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

En la tabla 18, tabla 19 y tabla 20, se muestran las proporciones de los materiales para la mezcla de concreto con la implementación de fibra de polipropileno en distintos porcentajes los cuales corresponden a %2 kg/m³, %4 kg/m³ y %6 kg/m³.

Tabla 18

Proporciones de materiales para 0,07 m³ de concreto con %2 kg/m³ de fibra de polipropileno

Material	peso W (kg)	Densidad aparente Kg/m ³	volumen m ³
Agua	14,6965	1000	0,01
Aire	0	0	0,00
Cemento	24,3551	3200	0,01
A. grueso	68,731418	2649,8	0,03
A. fino	55,089342	2649,8	0,02
fibra de polipropileno	0,09		
Total			0,07

Nota. La tabla muestra las proporciones de los materiales de la mezcla en peso y volumen para 0,07m³ de concreto con % 2 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 19

Proporciones de materiales para 0,07 m³ de concreto con %4 kg/m³ de fibra de polipropileno

Material	peso W (kg)	Densidad aparente Kg/m ³	volumen m ³
Agua	14,6965	1000	0,01
Aire	0	0	0,00
Cemento	24,3551	3200	0,01
A. grueso	68,731418	2649,8	0,03
A. fino	55,089342	2649,8	0,02
Fibra de polipropileno	0,18		
Total			0,07

Nota. La tabla muestra las proporciones de los materiales de la mezcla en peso y volumen para 0,07m³ de concreto con % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 20

Proporciones de materiales para 0,07 m³ de concreto con %6 kg/m³ de fibra de polipropileno

Material	peso W (kg)	Densidad aparente Kg/m ³	volumen m ³
Agua	14,6965	1000	0,01
Aire	0	0	0,00
Cemento	24,3551	3200	0,01
A. grueso	68,731418	2649,8	0,03
A. fino	55,089342	2649,8	0,02
fibra de polipropileno	0,27		
Total			0,07

Nota. La tabla muestra las proporciones de los materiales de la mezcla en peso y volumen para 0,07m³ de concreto con % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

5.1.7.9 Asentamiento del concreto (slump). Se relacionan los datos suministrados por el ensayo de laboratorio para el asentamiento del concreto o slump, determinándose el resultado necesario para el diseño de mezclas. Ver figura 27.


 UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA	
"CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCO MECÁNICA DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN VIGAS."	
LABORATORIO N°5	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP) NTC 396
número de capas	3
número de golpes	25
asentamiento cm	8
Fecha	25/10/2017

Figura 27. Asentamiento de la mezcla de concreto. Fuente: Autores del proyecto.

Debido que se realizaron tres clases de mezclas, por causa de los diferentes porcentajes de viruta adicionada de polipropileno, este ensayo se le realizo a cada una de las diferentes mezclas,

arrojando como resultado un asentamiento de 8 cm, el cual es el valor esperado, por lo que no fue necesario realizar el ajuste por asentamiento. Ver figura 28



Figura 28. Procedimiento del cálculo de asentamiento (slump). Fuente: Autores del proyecto.

5.2 Determinación el comportamiento del concreto ante la acción de cargas con y sin la adición de fibra de polipropileno, siguiendo lo establecido por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2871.

5.2.1 Descripción del procedimiento para la construcción de las probetas a ensayar.

La determinación de las propiedades de fractura del concreto reforzado en flexión dinámica, sin adición de fibras a flexión para una carga de diseño de 12.25 KN aplicada en los tercios de la luz y un momento resultante de 4.16 KN*m. A continuación en la siguiente tabla se resume el diseño a flexión de las vigas a ensayar en el laboratorio, en donde se emplea el cálculo de la cuantía para conocer el área en mm² del acero necesario para las vigas ensayadas.

Tabla 21

Diseño a flexión de las vigas de ensayo

Distancia	M (Kn*m)	K (Kg/m ²)	P	As (mm ²)	Despiece
0	0	0	0,003	40,5	2 No. 2
0,5	4,16	2282,6	0,0065	87,75	2 No. 2
1	0	0	0,003	40,5	2 No. 2

Nota. La tabla muestra el diseño a flexión empleado para las vigas de muestras ensayadas en el laboratorio Fuente: Autores del proyecto.

En la siguiente figura 29, se puede apreciar el esquema representativo de la viga de diseño para las muestras a ensayadas en el laboratorio, en donde se puede observar la gráfica de fuerzas, fuerza cortante y momento flector y despiece.

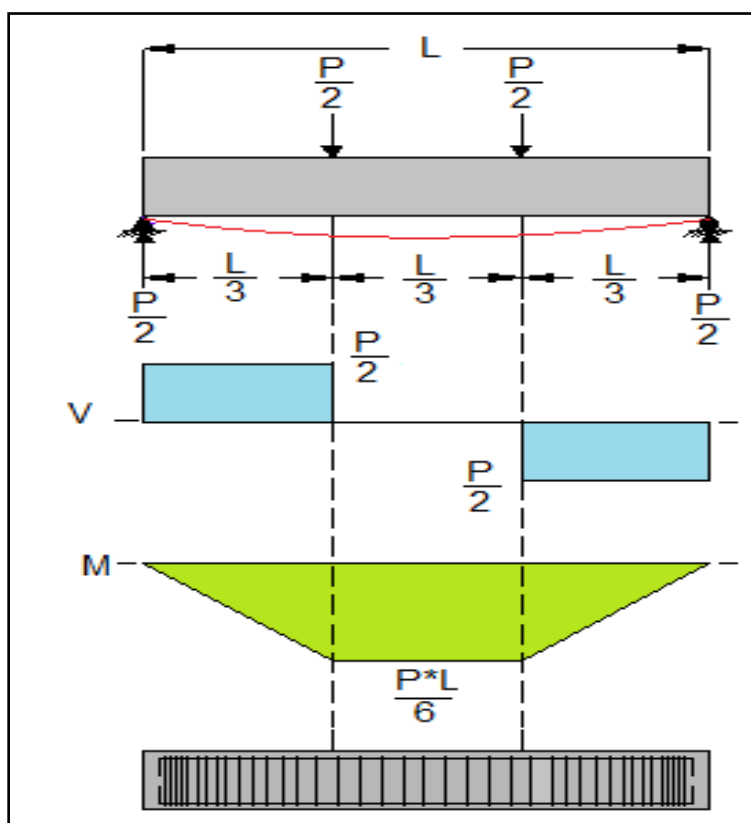


Figura 29. Diagramas de cortante, momento y despiece. Fuente: Autores del proyecto.

Con relación a los datos obtenidos para el diseño de la viga tipo a utilizar en los ensayos de laboratorio se obtiene lo siguiente:

Carga máxima teórica a soportar por la viga 2 Ton. Peso propio de cada viga de 40 Kg, considerando un peso unitario del concreto de 2.4 kg/m³. Un momento flector máximo de 4,16 KN-m.

El área de acero total requerido por tensión resultante es de 1,68 cm², por lo que con 4 varillas No. 3, suman 2,84 cm², por cuestiones económicas se utilizó acero No 2, donde 4 varillas No 2, suman 1,28 cm² siendo este el refuerzo utilizado.

El esfuerzo cortante unitario debe resistirse a través de estribos, de acuerdo con el numeral C.21.3 de la NSR-10 y para el diseño realizado se usan estribos de ¼" distribuidos de la siguiente manera:

Se colocan estribos de confinamiento a una distancia de "2d"; es decir 0,28 m desde la cara de los apoyos en ambos extremos de cada luz de la viga.

En la zona no confinada se recomiendan estribos separados "d/2"; es decir 0.07 m.

En la zona confinada se deben colocar estribos con espaciamiento no mayor.

$$S_o = \left(\begin{array}{l} \frac{d}{4} = 0,035m \\ 8d_b = 0,076m \\ 24d_e = 0,15m \\ 300mm \end{array} \right) S_o = 0,035m$$

Las dimensiones finales de la viga corresponden a los datos de la siguiente tabla 22:

Tabla 22

Dimensiones de la viga

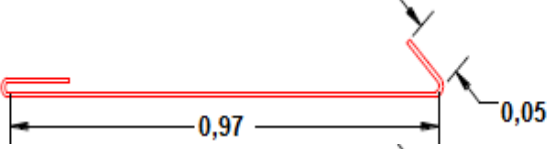
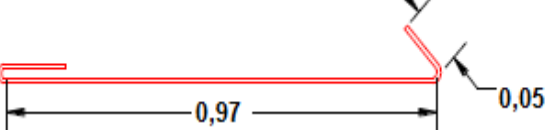
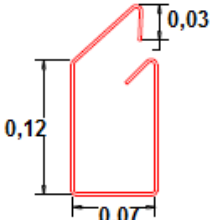
Dimensiones de la viga tipo	
Alto	0,15m
Base	0,1m
Recubrimiento	0,015m
Luz	1m

Nota. La tabla muestra las dimensiones reales de la viga tipo para los ensayos de laboratorio. Fuente. Autores del proyecto.

5.2.2 Construcción de la armadura. El cálculo empleado para calcular el despiece necesario para las vigas de ensayo, se resume en la siguiente tabla 23.

Tabla 23

Despiece del acero de refuerzo para vigas de ensayo

Id	Tipo	Diám (pulg)	Long (m)	Esquema	Gancho (m)	Cantidad	Peso (kg)
RF1	Doblada	1/4"	1,02		0,05	24	6,12
RF2	Doblada	1/4"	1,02		0,05	24	6,12
RC	Fleje	1/4"	0,44		0,03	228	25,08

Nota. La tabla muestra el despiece del acero necesario para las vigas de ensayo. Fuente: Autores del proyecto.

El refuerzo longitudinal de las vigas cuenta con cuatro varillas de $\frac{1}{4}$ " en la cual dos ubicadas en la parte sometida a flexión y dos varillas de $\frac{1}{4}$ " que soportan la compresión que se presenta en la parte superior. Para resistir los esfuerzos de cortante se utilizaron estribos de $\frac{1}{4}$ " ubicados en las separaciones halladas en el diseño. El esquema general de la armadura se muestra en la figura 30.



Figura 30. Armadura principal de la viga. Fuente: Autores del proyecto.

5.2.3 Procedimiento de colocación del concreto y curado. La mezcla del concreto con y sin adición de fibra de polipropileno se realizó con los resultados obtenidos en el diseño de mezcla.

Con respecto a las formaletas o encoframiento para la fundición de vigas, se utilizó madera lisa con una delgada capa de aceite vegetal para evitar la adherencia del concreto con las paredes del encofrado en madera.

Es importante resaltar que el papel que juega la formaleta en el proceso constructivo de las vigas es indudablemente uno de los factores esenciales en el buen comportamiento de una estructura, puesto que es la encargada de dar forma al concreto. En cuanto al material desmoldante para que no ocurra adherencia de concreto en la el encofrado se utilizó una delgada capa de un aceite vegetal puro, sin ser utilizado, pues cabe resaltar que no es recomendable usar aceite quemados, ya que estos producen manchas en las formaletas que se transmiten a la superficie del concreto.

Como factor del proceso investigativo en la elaboración del presente proyecto es de mencionar que las formaletas de madera tienen distintas propiedades dependiendo del tipo de madera a utilizar, de sus características típicas o sus condiciones de humedad, las cuales pueden alterar el color de las superficies del concreto, produciendo un color oscuro cuando la madera se encuentra en condiciones de humedad pero a medida que se vuelve a utilizar la formaleta para una nueva fundición, la madera va perdiendo sus propiedades que van reduciendo este efecto de oscurecimiento de la madera y en el concreto lo cual se debe evitar ya que la variación de la humedad en la madera no se realiza de una manera uniforme, las partes más permeables de las formaletas absorberán más agua del concreto fresco y reducirán la relación agua-cemento que produce un color más oscuro en la superficie. Por lo anterior es de considerar que generalmente cuando se utilizan formaletas o encofrados de madera, los moldes se fabrican para un número reducido de piezas a moldear.

Por motivo de lo dicho en el párrafo anterior con el fin de tener en cuenta mayores factores que pueden alterar la investigación, la escogencia de la madera se realizó minuciosamente.

Por consiguiente se realizaron los 6 encofrados para vigas los cuales su uso no excedía más dos veces; para el caso de los cilindros se utilizó los moldes de acero que facilita el laboratorio de geotecnia. Ver figura 31.



Figura 31. Encoframiento empleado para las vigas de ensayo. Fuente: Autores del proyecto.

En la siguiente figura 32, se puede apreciar la fibra de polipropileno introducida en la mezcla de concreto para la fundición de vigas y cilindros de ensayo.



Figura 32. Fibra de polipropileno para mezclar con concreto. Fuente: Autores del proyecto.

Una vez tenida la mezcla lista, se procede al vaciado del concreto en las formaletas hasta llegar a su rasante como se puede observar en la imagen izquierda de la figura 33, en donde se aprecia la formaleta junto con el hierro figurado y concreto; es de resaltar, que durante el procedimiento del vaciado de concreto para obtener una mayor precisión en el comportamiento de la mezcla, es necesario vibrar el concreto para un mejor reacomodo de partículas utilizando un mazo de goma y una barra de acero. Con el mazo de goma se golpean las paredes externas del encofrado para compactar la mezcla y con la barra de acero se completa la compactación de la mezcla chuzando el concreto.

Es importante tener en cuenta que durante la colocación de la mezcla y el vibrado, se cuidó de no averiar la formaleta para que no fuera a sufrir deformaciones que puedan repercutir en los resultados de la investigación. Por otra parte en el margen derecho de la figura 33, se puede apreciar las vigas plenamente fundidas enrasadas con sus respectivos encoframientos, los cuales duraron 24 horas antes de su desmonte.



Figura 33. Elaboración de viga de concreto reforzada. Fuente: Autores del proyecto.

Como último paso, después de haber desmontado el encoframiento, para el curado de las vigas se utilizó una cámara de curado con el fin de garantizar que el concreto se mantuviera hidratado durante los 28 días necesarios para que alcance su resistencia de diseño.

5.2.4 Resistencia a la compresión de los cilindros ensayados de concreto. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en cilindros de concreto a los 28 días, sin fibra y porcentajes de 4 kg/m³. Ver figura 34



Figura 34. Cilindro de concreto ensayados en laboratorio. Fuente: Autores del proyecto.

Cilindro

Como determinación del comportamiento del concreto a continuación en la siguiente tabla 24 y tabla 25 se esbozan los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio utilizando la prensa hidráulica a compresión para someter el cilindro hasta su punto de falla y posteriormente determinar su comportamiento mediante el análisis de resultados y la identificación de la falla característica de los cilindros.

Tabla 24

Resistencia a la compresión cilindros con % 0 Kg/m³ de fibra de polipropileno

Cilindro	Carga Max Kn	Esfuerzo Mpa	Tiempo seg	Deformación mm
1	287,2	16,25	38,125	10,014
2	285,3	16,15	40,92	11,62
3	257,8	14,59	34,07	9,21
Promedio	276,77	15,66	37,71	10,28

Nota. La tabla muestra la existencia a la compresión de los tres cilindro de concreto ensayados con % 0 Kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 25

Resistencia a la compresión cilindros con % 4 Kg/m³ de fibra de polipropileno

Cilindro	Carga Max Kn	Esfuerzo Mpa	Tiempo Seg	Deformación mm
4	304,6	17,23	37,27	10,16
5	306,2	17,33	36,1	8,13
6	318,9	18,05	34,59	5,72
Promedio	309,9	17,54	35,99	8

Nota. La tabla muestra la resistencia a la compresión cilindro de concreto con % 4 Kg/m³ de fibra de polipropileno.

Fuente: Autores del proyecto.

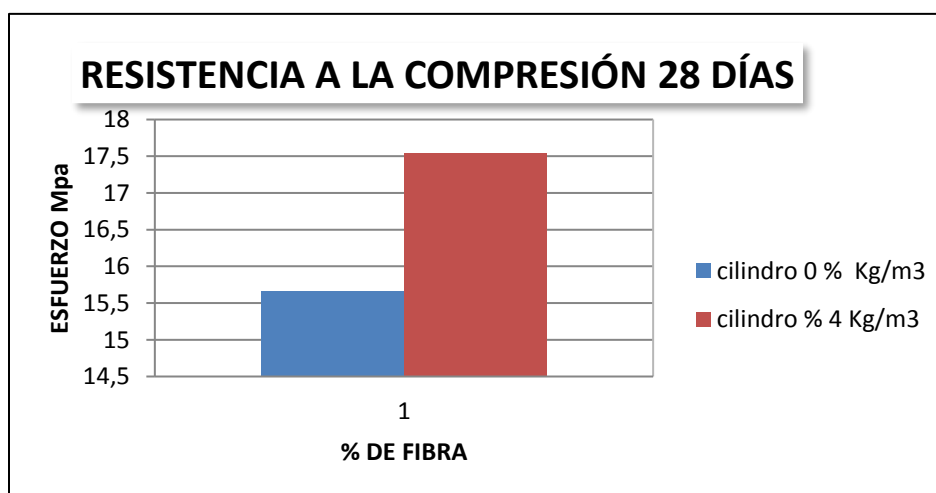


Figura 35. Grafica de resistencia a la compresión de cilindros. Fuente: Autores del proyecto.

Como se puede observar en la figura 35, ninguna de las mezclas alcanzó la resistencia a la compresión con un aumento de la resistencia de un 12% en los cilindros con fibra de % 4 Kg/m³ con respecto a los de sin fibra.

5.2.4.1 Módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad obtenidos a los 28 días de curados en cilindros de % 0 Kg/m³ y % 4 Kg/m³ de fibra de polipropileno se realiza empleando la norma NSR-10 título c, en donde establece que el módulo de elasticidad en base a la resistencia a la compresión se halla de la siguiente manera.

$$E = 4700 * \sqrt{F'c}$$

El valor de la resistencia a la compresión del concreto (F'c), a los 21 Mpa es igual a 21538,10 Mpa. Por consiguiente se tiene la siguiente tabla 24.

Tabla 26

Módulo de elasticidad

% de fibra Kg/m³	Módulo de elasticidad Mpa	Aumento %
0	18599,17	0
4	19683,96	5,83

Nota. La tabla muestra el módulo de elasticidad del concreto en cilindros. Fuente: Autores del proyecto.

En la siguiente figura 36, se puede observar la gráfica del módulo de elasticidad en función del porcentaje de fibra de polipropileno que contiene, en donde se puede apreciar un aumento del módulo de elasticidad en los cilindros con % de 4 Kg/m³ de fibra de polipropileno con un aumento de 5, 83% con respecto a los cilindros sin fibra.

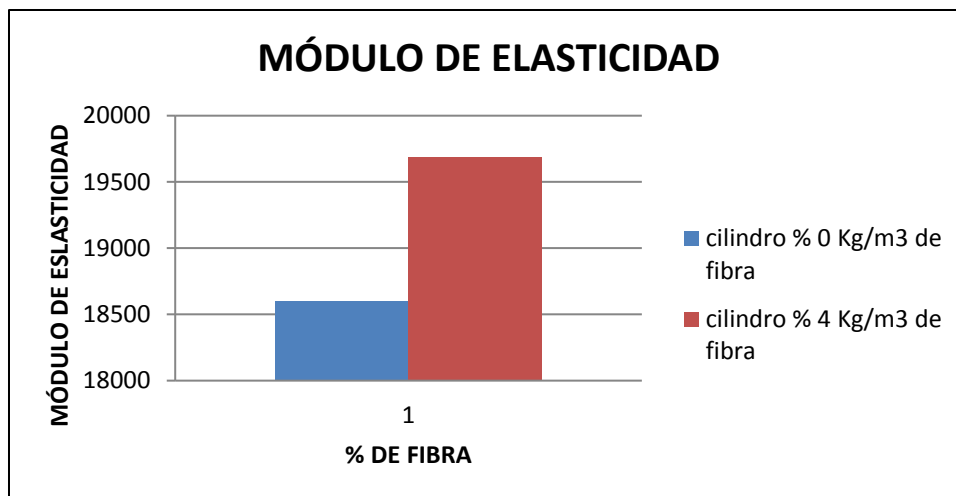


Figura 36. Módulo de elasticidad en cilindro con % de fibra de polipropileno 0 Kg/m³ y 4 Kg/m³. Fuente: Autores del proyecto.

5.3 Realización de las comparaciones de los resultados obtenidos de resistencia a la flexión, con las vigas de concreto reforzadas con y sin la adición de fibra de polipropileno, para valorar la influencia de la fibra en el concreto.

5.3.1 Resultados de ensayo a flexión de vigas reforzadas con porcentajes de adición de 0 kg/m³, 2 kg/m³, 4kg/m³ y 6 kg/m³ de fibra de polipropileno. Una vez las vigas son sometidas a flexión, se procede a la caracterización de la fractura mediante el ensayo hasta la falla. En lo cual se registran las deformaciones en la viga para cada uno de los momentos de carga, como también en el estado de resistencia en el cual la viga pierde la capacidad y la falla estructural ocurre.

5.3.1.1 Carga máxima. A continuación en la figura 37 se puede observar el resultado de la carga máxima en función de la deformación de las tres vigas ensayadas sin adición de fibra.

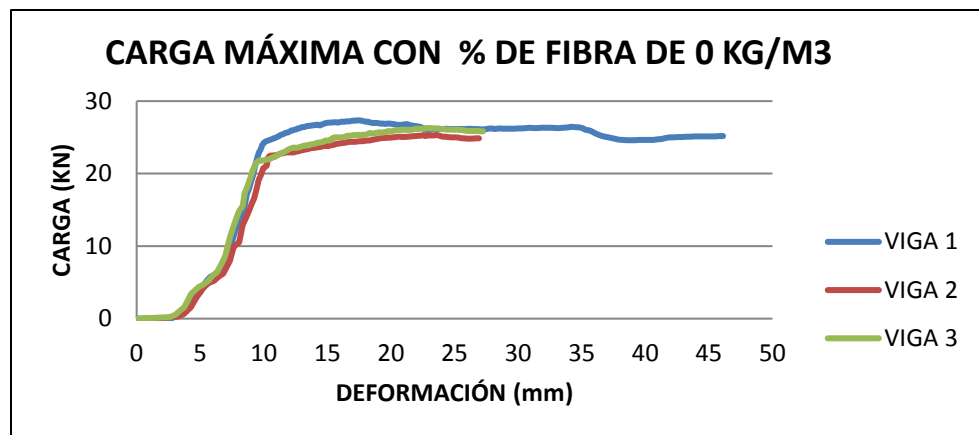


Figura 37. Carga máxima de vigas reforzada con % 0 kg/m³ de fibra de polipropileno.
Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 27

Valores máximo de carga en vigas de % 0 kg/m³ de fibra de polipropileno

VIGA	CARGA MAX (KN)
1	27,34
2	25,34
3	26,31
PROMEDIO	26,33

Nota. La tabla muestra los valores máximo de carga en vigas de % 0 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Como se pudo apreciar en la tabla 27, los valores de carga máxima de las tres vigas ensayadas con distintas dosificaciones sin fibra de polipropileno, arrojo como resultado el mayor valor en la viga número 1, aunque cabe resaltar que los valores obtenidos no tuvieron variaciones abruptas en sus resultados para haber trabajado con res tipos de dosificaciones distintas.

En la siguiente figura 38 se puede apreciar la gráfica de carga máxima en función de la deformación, en donde se utilizó un % de fibra de polipropileno de 2 kg/m³, en donde se observa que el comportamiento de la viga 5 en comparación con la viga 4 y viga 6, difiere en su deformación. Con respecto a los valores máximos de carga las vigas con 2kg/m³ de fibra de polipropileno se pueden apreciar en la tabla 28, en donde se termina de corroborar la diferencia del comportamiento de la viga 5 que arroja el menor resultado

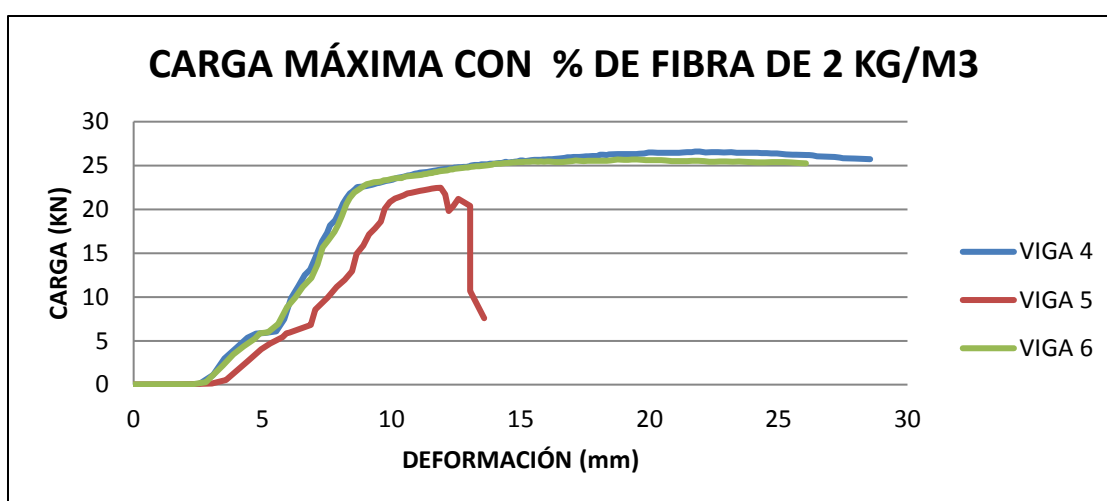


Figura 38. Carga máxima de vigas reforzada con % 2 kg/m³ de fibra de polipropileno.
Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 28

Valores máximo de carga en vigas de % 2 kg/m³ de fibra de polipropileno

VIGA	CARGA MÁX KN
4	26,59
5	22,46
6	25,69
PROMEDIO	24,91

Tabla 42. Valores máximo de carga en vigas de % 2 kg/m³ de fibra de polipropileno Fuente: Autores del proyecto.

En la siguiente figura 39, se observa la gráfica de carga máxima en función de la deformación con un % de fibra de polipropileno de 4 kg/m³; en la gráfica se puede apreciar la similitud que hay entre el comportamiento de las tres vigas de diferentes dosificaciones en la mezcla de concreto pero con igual contenido de fibra. Los valores máximos de carga se aprecian en la tabla 29.

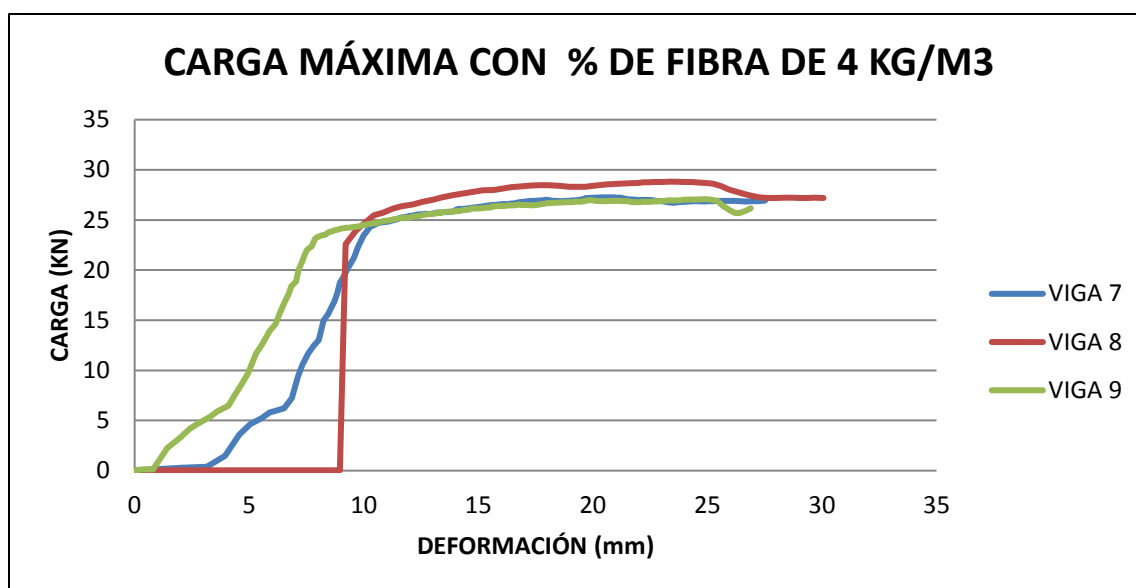


Figura 39. Carga máxima de vigas reforzada con % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 29

Valores máximo de carga en vigas de % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno

VIGA	CARGA MÁX KN
7	27,25
8	28,82
9	27,09
PROMEDIO	27,72

Nota. La tabla muestra los valores máximos de carga en vigas de % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Por ultimo en la figura 40 y en la tabla 30, se pueden apreciar los resultados de la carga máxima en función de la deformación para las vigas ensayadas con un % de fibra de polipropileno de 6 kg/m³, en donde la viga 12 fue la que arrojó los mejores resultados dando una resistencia de 37,96 KN.

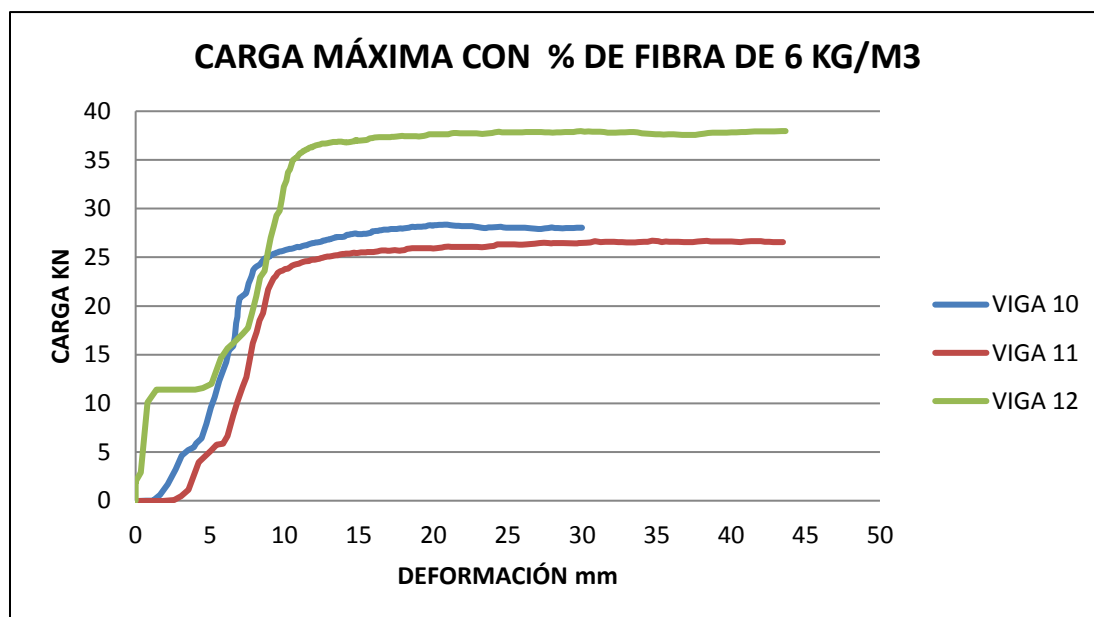


Figura 40. Carga máxima vigas reforzada con % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 30

Valores máximo de carga en vigas de % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno

VIGA	CARGA MÁX KN
10	28,35
11	26,71
12	37,96
PROMEDIO	31,01

Nota. La tabla muestra los valores máximos de carga en vigas de % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Se observa un aumento significativo de la carga en el ensayo a flexión con adición de fibra de 4 y 6 Kg/m³ con las de 0 y 2Kg/m³ de fibra de polipropileno en las que no hubo mucha diferencia, como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31

Resumen de las cargas máximas con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno

% fibra (K/m ³)	Carga Máxima (KN)
0	26,33
2	26,14
4	27,72
6	31,01

Nota. La tabla muestra el resumen de las cargas máximas con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno.

Fuente: Autores del proyecto.

Gráficamente se puede observar el comportamiento previo al desgaste dinámico para los diferentes porcentajes de fibras en la siguiente figura 41.

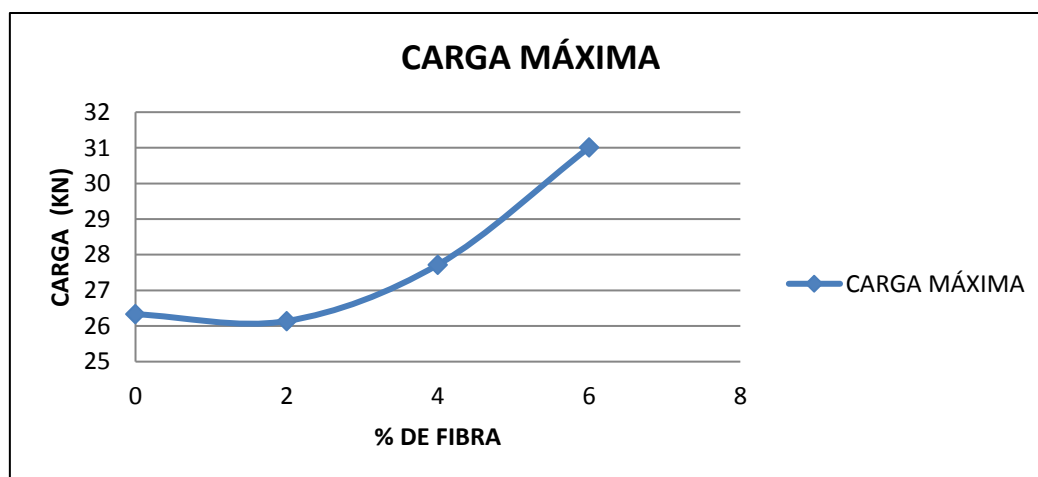


Figura 41. Carga máxima según la adición de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

5.3.1.2 Deformación máxima. A continuación se muestra en tablas el análisis de la deformación máxima en vigas.

Tabla 32

Deformación máxima en viga con % 0 kg/m³ de fibra de polipropileno

CARGA KN	TIEMPO seg	DEF mm
10	12,1	7,5
12	12,98	7,87
14	13,88	8,23
16	14,98	8,62
18	16,31	9
20	18,05	9,42
22	21,08	10,04
24	37,37	13,1
25	52,68	15,81
26,33	85,34	21,28

Nota. La tabla muestra las deformaciones máximas en vigas si adición de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 33

Deformación máxima en viga con % 2 kg/m³ de fibra de polipropileno

CARGA KN	TIEMPO seg	DEF mm
10	8,89	6,63
12	12,44	7,24
14	13,47	7,6
16	14,34	7,92
18	15,62	8,3
20	17,14	8,7
22	19,95	9,34
24	18,64	11,06
25	47,87	13,38
26,14	85,25	20,27

Nota. La tabla muestra las deformaciones máximas en vigas con adición de % 2 kg/m³ de fibra de polipropileno.

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 34*Deformación máxima en viga con % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno*

CARGA KN	TIEMPO seg	DEF mm
10	11,65	6,14
12	12,9	6,68
14	13,92	7,07
16	15,24	7,48
18	16,9	7,84
20	18,86	8,24
22	18,58	8,74
24	23	9,57
25	32,86	11,02
27,72	84,03	22,88

Nota. La tabla muestra las deformaciones máximas en vigas con adición de % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno.

Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 35*Deformación máxima en viga con % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno*

CARGA KN	TIEMPO seg	DEF mm
10	10,83	4,24
12	13,18	5,96
14	12,79	6,87
16	15,25	7,01
18	16,49	7,43
20	17,94	7,83
22	19,39	8,31
24	22,97	9,06
25	29,04	10,16
31,01	108,25	28,45

Nota. La tabla muestra las deformaciones máximas en vigas con adición de % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno.

Fuente: Autores del proyecto.

En la figura 42, se puede apreciar el comportamiento de carga máxima vs deformación de las vigas, con cada uno de los porcentajes de fibra de polipropileno, analizando cuál de las muestras obtuvo mejor comportamiento, como vemos en la gráfica a mayor carga la deformación también es mayor.

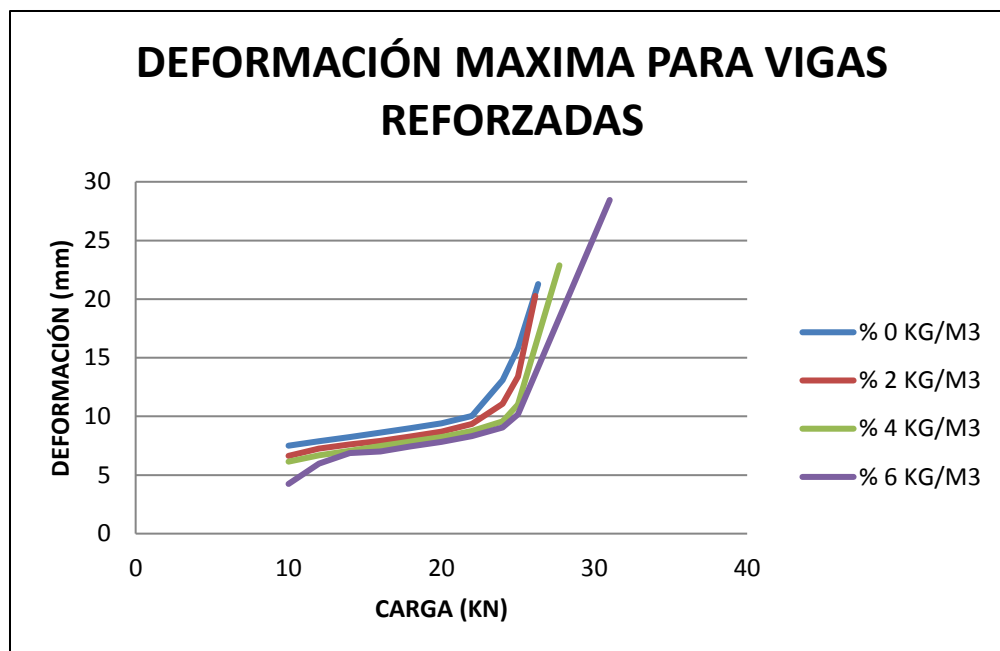


Figura 42. Deformación máxima para vigas reforzadas. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 36

Deformación máxima con diferentes % de fibra de polipropileno

% Fibra Kg/m3	Carga Kn	Deformación máxima
0	26,33	21,28
2	26,14	20,27
4	27,72	22,88
6	31,01	28,45

Nota. Deformación máxima con diferentes % de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

En lo que se puede concluir que las vigas que tuvieron mayor deformación fueron las que tuvieron un porcentaje 6 kg/m³ de fibra de polipropileno cuya carga máxima fue de 31,01 Kn, lo que da a entender que la incorporación de fibra en el concreto si ayuda a controlar los efectos de deformación.

Gráficamente se puede observar el comportamiento previo de la carga máxima con respecto a los porcentajes de fibra de polipropileno, los cuales se aprecia en la siguiente figura.

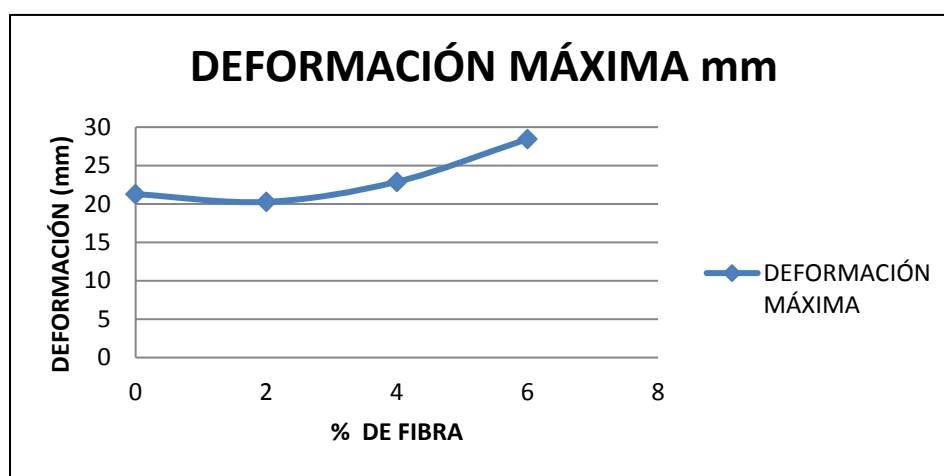


Figura 43. Deformación máxima según la adición de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Observando que cada una de las muestras presenta un mismo comportamiento proporcional de carga deformación y que a partir de 22 KN, dicha deformación aumenta de una manera considerable, deduciendo que a partir de 22 KN, empieza la deformación del acero y no de la fibra. Teniendo en cuenta un análisis de la figura 43, y tomando una deformación de 9 mm, se puede decir que en ese punto a medida que aumenta la cantidad de fibra, la capacidad de carga de la viga también aumenta.

El momento en que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que su carga aumente notoriamente como podemos ver en la figura 43. De la figura 43, se dedujo que a partir de 22 KN, el acero toma prácticamente toda la tensión, alcanzando su valor de fluencia. Se decide realizar la gráfica, **% de fibra vs deformación** con una carga de 22 KN, para conocer que viga con el porcentaje de fibra tiene mejor comportamiento teniendo en cuenta los datos de la tabla 37. Ver figura 44.

Tabla 37

Deformación a los 22 KN

% fibra (K/m3)	Deformación 22 Kn
0	9,42
2	8,70
4	8,56
6	7,83

Nota. La tabla muestra la deformación a los 22 KN. Fuente: Autores del proyecto.

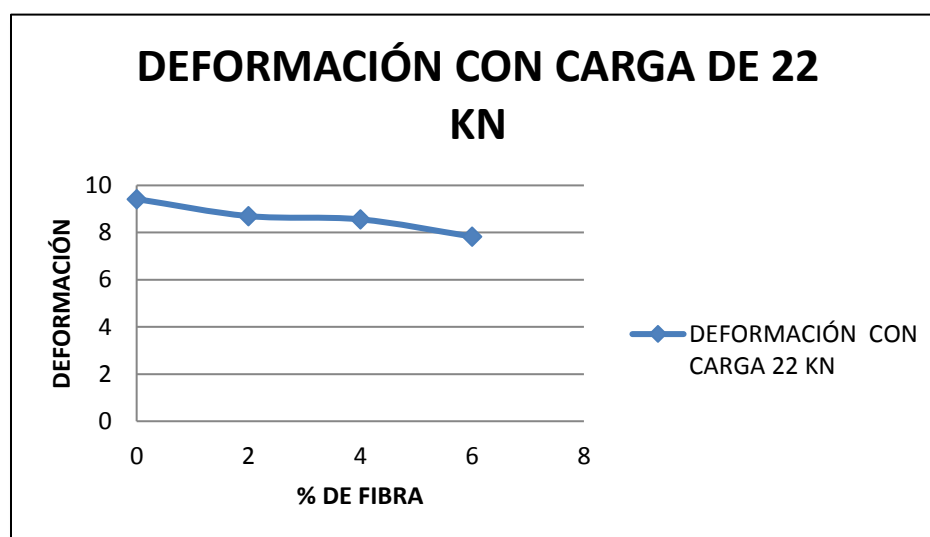


Figura 44. Deformación con carga de 22 KN. Fuente: Autores del proyecto.

En lo que respecta a la gráfica de la figura anterior, la deformación menor con una carga de 22 KN, se presenta en las vigas con porcentajes de fibra de polipropileno de 6 kg/m³.

5.3.1.3 Esfuerzo máximo. A continuación se expresa mediante tablas el análisis llevado a cabo para conocer el esfuerzo máximo de vigas con las diferentes especificaciones.

Tabla 38

Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con 0 kg/m³ de fibra de polipropileno

CARGA KN	ESFUERZO Mpa
10	4,53
12	5,27
14	5,94
16	6,6
18	7,66
20	8,69
22	9,36
24	10,23
25	10,61
26,33	11,17

Nota. La tabla muestra el esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con 0 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente.

Autores del proyecto

Tabla 39

Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con 2 kg/m³ de fibra de polipropileno

CARGA KN	ESFUERZO Mpa
10	4,24
12	5,23
14	6,21
16	6,95
18	7,74

Tabla 39 Continuación

CARGA KN	ESFUERZO Mpa
20	8,76
22	9,43
24	10,15
25	10,58
26,14	11,05

Nota. La tabla muestra el esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 2 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 40

Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno

CARGA 10kn	ESFUERZO Mpa
10	4,27
12	5,26
14	6,08
16	6,75
18	7,59
20	8,46
22	9,11
24	10,05
25	10,52
27,72	11,58

Nota. La tabla muestra el esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 4 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 41

Esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno

CARGA KN	ESFUERZO Mpa
10	4,02
12	4,83
14	5,66

Tabla 41 Continuación

CARGA KN	ESFUERZO Mpa
16	6,50
18	7,24
20	8,08
22	9,00
24	9,62
25	10,15
31,01	12,53

Nota. La tabla muestra el esfuerzo a flexión en vigas reforzadas con % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

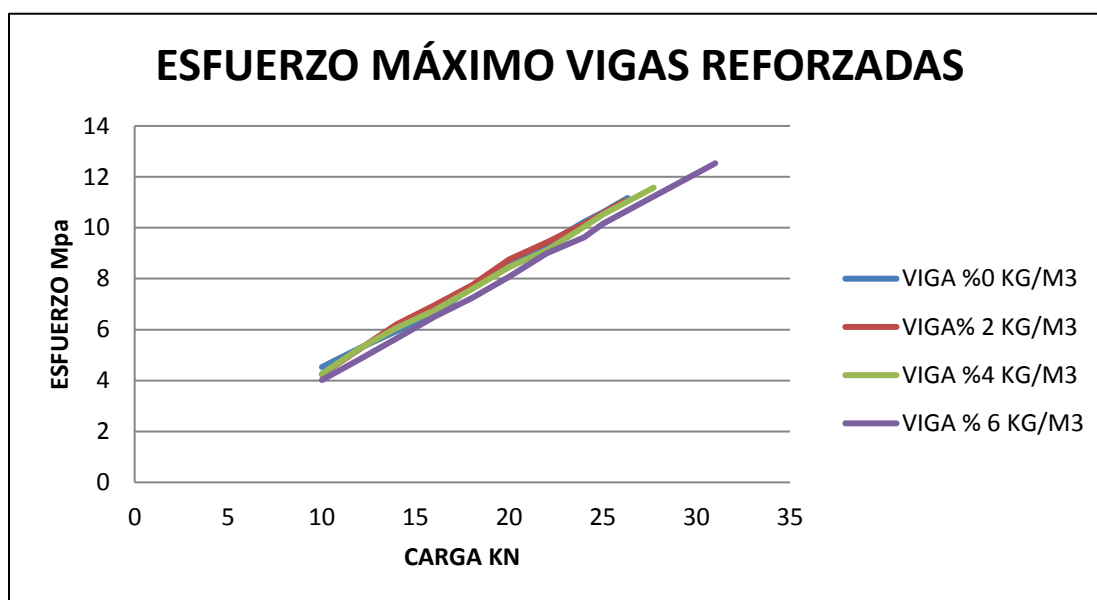


Figura 45. Esfuerzo máximo en vigas reforzadas con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

En la figura anterior se puede apreciar en resumen la gráfica de esfuerzo en función de la carga para los 4 porcentajes de viga con adición de fibra de polipropileno, incluyendo la viga sin fibra de polipropileno, en donde se puede observar que las variaciones no presentan grandes diferencias.

Tabla 42

Esfuerzo de vigas reforzadas para los diferentes % de fibra en kg/m³

% FIBRA KG/M3	ESFUERZO MÁXIMO Mpa	%AUMENTO
0	11,17	0
2	11,05	-1,07
4	11,58	3,67
6	12,53	12,17

Nota. La tabla muestra los esfuerzos vigas reforzadas para diferentes % de fibra en kg/m³. Fuente: Autores del proyecto.

Como resumen de los esfuerzos máximos se presenta la anterior tabla 42, de la cual se concluye que el mayor esfuerzo fue presentado en las vigas de % 6 kg/m³ de fibra de polipropileno, ya que obtuvo la mayor resistencia. Con base a estos resultados se observa que en las vigas % 2 kg/m³ que no hubo incremento en el esfuerzo si no que disminuyó -1,07 %. En relación con las vigas de % 4 kg/m³ y %6 kg/m³ la resistencia aumentó un 3,67 y 12,17% en comparación con las vigas sin fibra. Gráficamente se puede observar el comportamiento previo del esfuerzo máximo con respecto a los porcentajes de fibra de polipropileno. Ver figura 46.

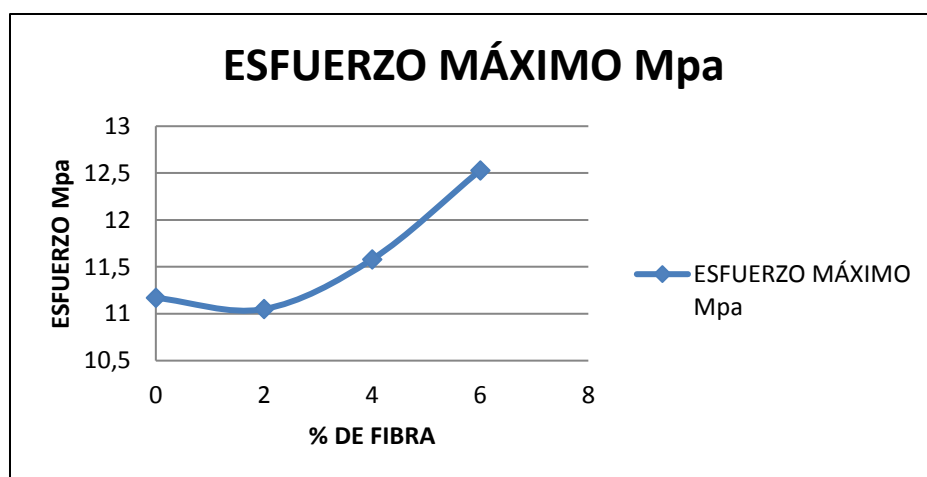


Figura 46. Grafica de esfuerzo máximo. Fuente: Autores del proyecto.

5.4 Análisis el comportamiento de las fisuras en las vigas de concreto reforzado con y sin adición de fibra de polipropileno para diferentes cargas.

5.4.1 Comportamiento de fisuras en cilindros. Con relación al comportamiento de las fisuras las fallas características de los cilindros ensayados a compresión se pueden observar en las siguientes figuras:



Figura 47. Falla de los cilindros ensayados a compresion sin fibra de polipropileno. Fuente: Autores del proyecto.

Como es de apreciarse en la figura anterior la resistencia maxima en los cilindros ensayados sin fibra de polipropileno arrojó como resultado una falla perpendicular al plano de esfuerzo donde se aplica la presión. Por consiguiente los cilindros con fibra de polipropileno, dieron como resultado la falla característica que se observa en la figura 48.



Figura 48. Falla de los cilindros ensayados a compresion con fibra de polipropileno.
Fuente: Autores del proyecto.

Con respecto a los cilindros ensayados con fibra de polipropileno se puede observar que la falla que caracterizo a todos los cilindros es la que se aprecia en la figura 48, en donde el plano de falla es diagonal al plano de esfuerzo donde se aplica la presion de la maquina que lleva hasta su punto de falla al cilindro.

5.4.2 Comportamiento de fisuras en vigas. En lo que confiere al comportamiento de fisuras en las vigas se puede decir que la falla caracteristica de las vigas sin fibra de polipropileno es mucho mayor en comparacion con las fisuras ocasionadas en las vigas con fibra de polipropileno, ensayadas con el mismo peso.

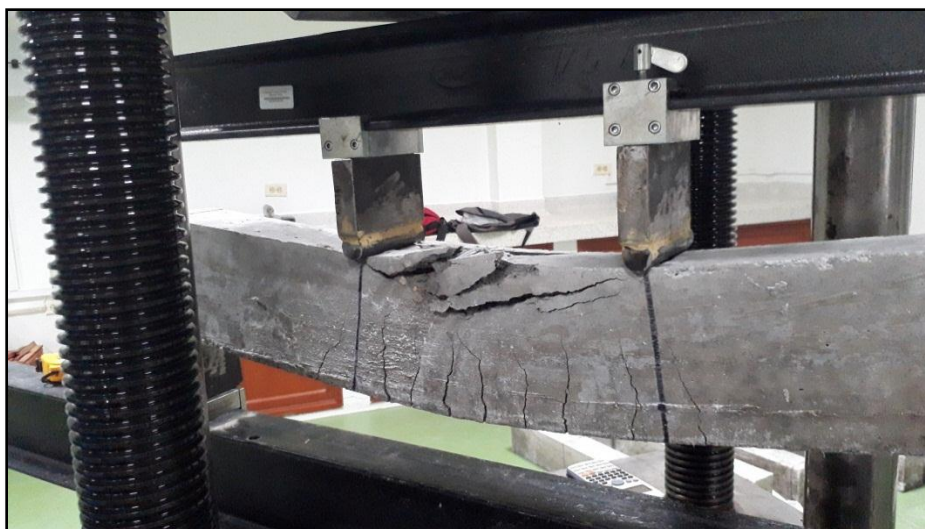


Figura 49. Falla característica de la viga reforzada sin adición de fibra de polipropileno.
Fuente: Autores del proyecto.



Figura 50. Falla característica de la viga reforzada con adición fibra de polipropileno.
Fuente: Autores del proyecto.

El compendio del registro fotografico realizado durante la realizacion de la investigacion, se puede apreciar en los anexos del presente documento.

En resumen del análisis del comportamiento de las fisuras en el concreto de vigas, se puede concluir que la mayor cantidad de fisuras se presenta cuando el concreto no conlleva ningún tipo de adicionante plástico como lo son las fibras de polipropileno. Por lo tanto con el desarrollo de esta investigación queda por comprobado que la adición de fibras de polipropileno en el concreto de vigas mejora sus propiedades estructurales, pues si bien se puede observar la figura 49, se aprecia una viga sin fibra de polipropileno la cual muestra una mayor cantidad de fisuras con relación a la figura 50, en donde se aprecia una viga con fibra de polipropileno la cual tiene un número reducido de fisuras.

Conclusiones

De acuerdo con los ensayos realizados para la evaluación de calidad del agregado se concluye que los agregados son optimos para la fabricación del concreto siguiendo los alinamientos del método RLN (Road Note Laboratory), debido a que los agregados no cumplieron con la granulometría recomendada por el método ACI (American Concrete Institute), de esta manera se consigue el asentamiento esperado.

Analizadas las vigas ensayadas ante la acción de cargas de 10 KN, 12 KN, 14 KN, 16KN, 18KN, 20KN, 22 KN, 24 KN, 25 KN y carga máxima, se pudo observar que a medida que aumenta la carga aumenta la deflexión de una manera proporcional. Además, a medida que aumenta la cantidad de fibra, la capacidad de carga de la viga también aumenta. Notando un mejor comportamiento con relación a las vigas que no tienen fibra de polipropileno, concluyendo que según el análisis a partir de 22 KN, dicha deformación aumenta de una manera considerable, deduciendo que a partir de 22 KN, empieza la deformación del acero y no de la fibra. El momento en que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que su carga aumente notoriamente.

Luego de realizados los ensayos de flexión en cada uno de especímenes de vigas reforzadas con adición de fibra y sin adición, al comparar los resultados se concluye que la viga con mejor comportamiento a flexión es la que contiene el porcentaje de 6 Kg/m³. Arrojando un incremento de 18% en la capacidad de carga, reducción de fisuración y menor deflexión. Cuando la tensión en la fibra más esforzada de alguna sección excede la resistencia del concreto a tensión, empieza aparecer grietas y a medida que aumenta la carga, las grietas aumentan en

número, longitud y abertura, en lo cual las vigas con porcentajes de 0 Kg/m³ de fibra de polipropileno fueron muchos mayores como se puede observar en el anexo 2 de registro fotográfico de vigas reforzadas con y sin fibra.

En general se puede concluir que las fibras, en este caso fibra de polipropileno hacen que el concreto tenga un mejor comportamiento en relación con sus propiedades físico-mecánicas, deduciendo que, a mayor cantidad de fibra, el comportamiento es mejor. Con este trabajo de grado se pretende incentivar el uso de fibras y generar un aporte a investigaciones futuras.

Recomendaciones

Que el tiempo de mezclado del hormigón con fibras sea mínimo de 5 minutos y que el hormigón sea preparado en una mezcladora de manera que las fibras se dispersen en la mezcla de hormigón y así evitar la aglomeración de las mismas en ciertas partes de la mezcla.

Que en el uso de este tipo de hormigón se incorpore un aditivo plastificante para no afectar la trabajabilidad del hormigón y obtener mejores resultados en las propiedades de resistencias.

Para próximas investigaciones se recomienda que el laboratorio de resistencia cuente con prototipos para vigas de mayor dimensión y contar un sistema de fotografía de varias tomas por segundo o un sistema mejorado para poder determinar el avance de fisuras.

Que en las futuras investigaciones se cuente con un sistema de curado independiente al que hay en laboratorio de resistencia, debido a que este en ocasiones dicho lugar es manipulado por otras personas provocando afectaciones en las probetas.

Se sugiere realizar la formaleta en acero con el fin de obtener un mejor acabado

Referencias

- MACCAFERRI (2007). *Fibras como elemento estructural para refuerzo de hormigón. Manual Técnico*. Recuperado de:
http://www.concretonline.com/pdf/06aditivos/art_tec/manual_fibras.pdf
- Santos Cortes L. (2006). *Contribución de fibras pp provenientes de plásticos reciclados en el agrietamiento y resistencia del concreto en pavimentos portuarios de Veracruz*. (Trabajo de maestría). Instituto de ingeniería de la Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Ruano Sandoval G. (2013). *Refuerzo de elementos estructurales de hormigón con hormigón reforzado con fibras*. (Trabajo de maestría). Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Irías Pineda A. (2013). *Refuerzo de elementos estructurales con hormigones con fibras y solo fibra*. (Trabajo de maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Hidalgo Alvarado J. (2016). *Resistencia a cortante de elementos de hormigón reforzado con fibras*. (Trabajo de maestría). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- De los Ángeles Liévano M. & Gutiérrez Torres A. (2011). *Caracterización de fisuras en vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno sometidas a flexión dinámica*. (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.
- Cañon Sosa L. & Aldana Calderón F. (2016). *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno sikafiber® ad de sika y toc fibra500 deToxement*. (Trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas, Bogotá D.C.

- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf
- González Cuevas & Robles Fernández, (2005). Aspectos fundamentales del concreto reforzado. Recuperado de: <https://marodyc.files.wordpress.com/2014/06/aspectos-fundamentales-concreto-reforzado-gonzalez-cuevas.pdf>
- Comité ACI 224 (2001). *Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*. Recuperado de: https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/Control_de_la_fisuracion.pdf
- Pujadas Álvarez P. (2009). Estado general del conocimiento. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6554/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Osorio J. D. (2011). ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto? *BLOG 360° EN CONCRETO*. Recuperado de: <http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/>
- 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.
- INSTRON (2012). *Resistencia a la flexión*. Recuperado de: <http://www.instron.com.ar/es-Ar/our-company/library/glossary/f/flexural-strength>
- Arias, F. G. (2006). El proyecto de investigación introducción a la metodología científica. Recuperado de: <http://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>

Apéndices

Apéndice 1. Evidencias fotográficas







Viga 1 0 kg/m³



Viga 2 0kg/m³



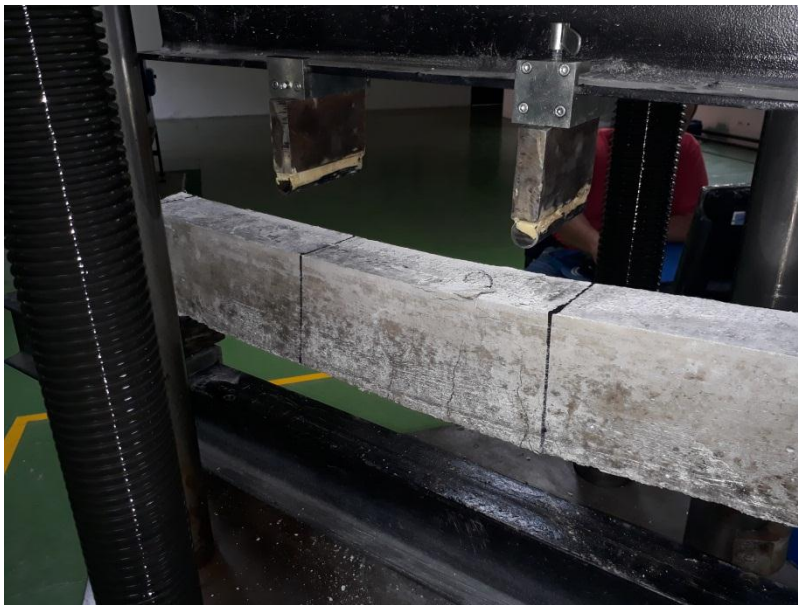
Viga 3 0kg/m³



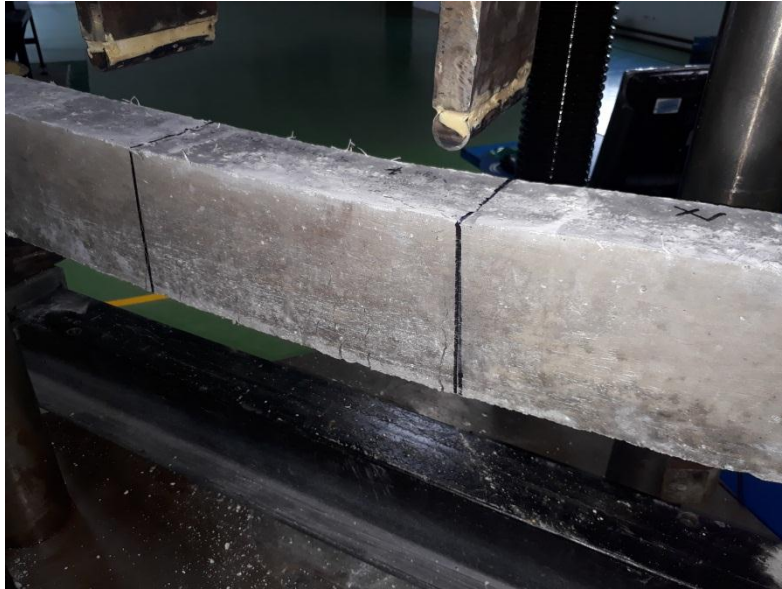
Viga 4 2kg/m³



Viga 5 2kg/m³



Viga 6 2kg/m³



Viga 7 4kg/m³



Viga 8 4 kg/m³



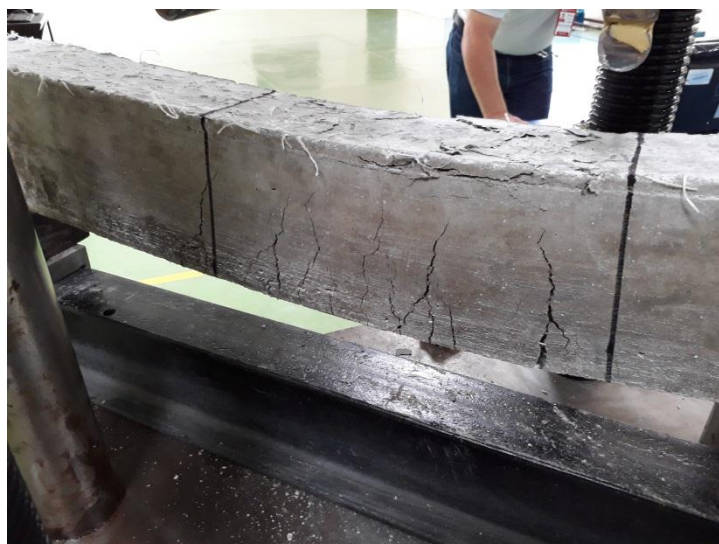
Viga 9 4 kg/m³



Viga 10 6 kg/m³



Viga 11 6kg/m3




Viga 12 6 kg/m3

Apéndices cilindros





	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Codigo	Fecha	Revisión
	FORMATO DE SERVICIO	F-AC-LRE-001	10-11-2011	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
LABORATIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA	DIRECTOR DE DEPARTAMENT		1(1)	

COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)

Ensayo No.: 9244

Fecha de Ensayo 23/11/2017

CLIENTE: UFPSO

OBRA: _____

TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente

DESCRIPCION: _____

LOCALIZACION: _____

Muestra número: **1**

F. Mustreo: 26/10/2017

F. Recepción: 23/11/2017

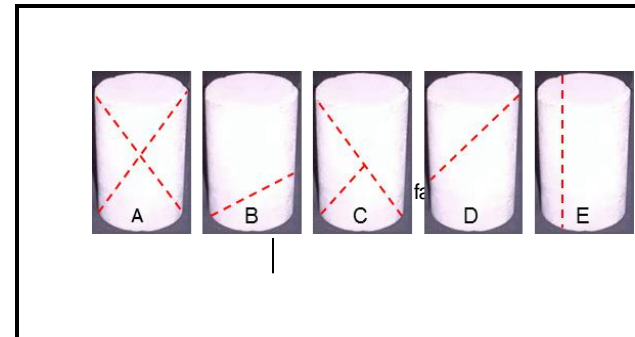
Slump (cm): 8


Resistencia Esperada: 21 Mpa

Vel Ensayo: _____ 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo

No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,232		
Densidad (kg/m³)	2.331		
Altura (mm)	297		
Diametro (mm)	150		
Area (mm²)	17672		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	287,2		
Resistencia Real (Mpa)	16,25		
Desarrollo (%)	77,39		
Tipo de Falla	B		



 <p>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</p>	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Codigo	Fecha	Revisión
	FORMATO DE SERVICIO	F-AC-LRE-001	10-11-2011	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
LABORATIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA	DIRECTOR DE DEPARTAMENT		1(1)	

COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)

Ensayo No.: 9245

Fecha de Ensayo 23/11/2017

CLIENTE: UFPSO

OBRA: Concreto Corriente

TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente

DESCRIPCION: _____

LOCALIZACION: _____

Muestra número: **2**

F. Mustreo: 26/10/2017

F. Recepción: 23/11/2017

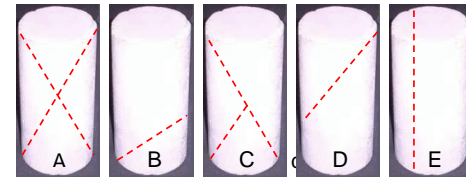
Slump (cm): 8


Resistencia Esperada: 21 Mpa

Vel Ensayo: _____ 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo

No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,202		
Densidad (kg/m³)	2.341		
Altura (mm)	295		
Diametro (mm)	150		
Area (mm²)	17672		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	285,3		
Resistencia Real (Mpa)	16,15		
Desarrollo (%)	76,89		
Tipo de Falla	D		



	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Codigo	Fecha	Revisión
	FORMATO DE SERVICIO	F-AC-LRE-001	10-11-2011	A
	Dependencia	Aprobado		Pág.
LABORATIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA	DIRECTOR DE DEPARTAMENT		1(1)	

COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)

Ensayo No.: 9246

Fecha de Ensayo 23/11/2017

CLIENTE: UFPSO

OBRA: Concreto Corriente

TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente

DESCRIPCION: _____

LOCALIZACION: _____

Muestra número: **3**

F. Mustreo: 26/10/2017

F. Recepción: 23/11/2017

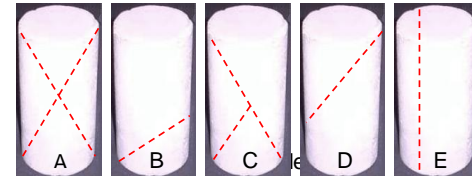
Slump (cm): 8


Resistencia Esperada: 21 Mpa

Vel Ensayo: _____ 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo

No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,185		
Densidad (kg/m³)	2.345		
Altura (mm)	294		
Diametro (mm)	150		
Area (mm²)	17672		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	257,8		
Resistencia Real (Mpa)	14,59		
Desarrollo (%)	69,47		
Tipo de Falla	B		



	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Codigo	Fecha	Revisión
	FORMATO DE SERVICIO	F-AC-LRE-001	10-11-2011	A
	Dependencia	Aprobado		Pág.
LABORATIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA	DIRECTOR DE DEPARTAMENT		1(1)	

COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)

Ensayo No.: 9247

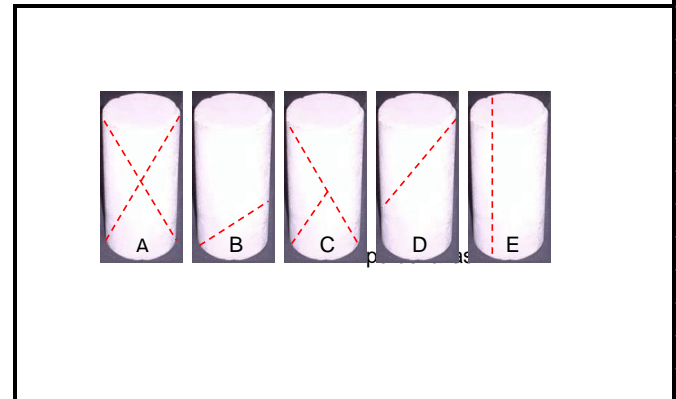
Fecha de Ensayo 23/11/2017


CLIENTE: UFPSO
 OBRA: Concreto Corriente
 TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente
 DESCRIPCION: _____
 LOCALIZACION: _____

Muestra número: **4**
 F. Mustreo: 26/10/2017
 F. Recepción: 23/11/2017
 Slump (cm): 8

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: _____ 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,185		
Densidad (kg/m³)	2.329		
Altura (mm)	296		
Diametro (mm)	150		
Area (mm²)	17672		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	304,6		
Resistencia Real (Mpa)	17,23		
Desarrollo (%)	82,07		
Tipo de Falla	B		



	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Codigo	Fecha	Revisión
	FORMATO DE SERVICIO		F-AC-LRE-001	10-11-2011
	Dependencia	Aprobado		Pág.
LABORATIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA		DIRECTOR DE DEPARTAMENT		1(1)

COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)

Ensayo No.: 9248

Fecha de Ensayo 23/11/2017

CLIENTE: UFPSO

OBRA: Concreto Corriente

TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente

DESCRIPCION: _____

LOCALIZACION: _____

Muestra número: **5**

F. Mustreo: 26/10/2017

F. Recepción: 23/11/2017

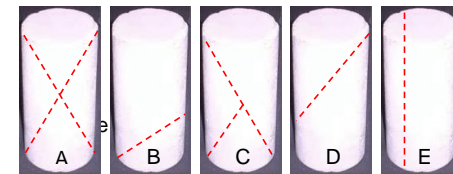
Slump (cm): 8


Resistencia Esperada: 21 Mpa

Vel Ensayo: _____ 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo

No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,368		
Densidad (kg/m ³)	2.357		
Altura (mm)	297		
Diametro (mm)	150		
Area (mm ²)	17672		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	306,2		
Resistencia Real (Mpa)	17,33		
Desarrollo (%)	82,51		
Tipo de Falla	D		



	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Codigo	Fecha	Revisión
	FORMATO DE SERVICIO	F-AC-LRE-001	10-11-2011	A
	Dependencia	Aprobado		Pág.
LABORATIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA	DIRECTOR DE DEPARTAMENT		1(1)	

COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)

Ensayo No.: 9249

Fecha de Ensayo 23/11/2017

CLIENTE: UFPSO
 OBRA: Concreto Corriente
 TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente
 DESCRIPCION: _____
 LOCALIZACION: _____

Muestra número: 6
 F. Mustreo: 26/10/2017
 F. Recepción: 23/11/2017
 Slump (cm): 8

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: _____ 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo

No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,273		
Densidad (kg/m ³)	2.354		
Altura (mm)	295		
Diametro (mm)	150		
Area (mm ²)	17672		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	318,9		
Resistencia Real (Mpa)	18,05		
Desarrollo (%)	85,94		
Tipo de Falla	B		

