

**RELACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ROTURA
DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON PRESENCIA DE FIBRAS METÁLICAS CON
MATERIALES DEL RIO BARRAGÁN**

TRABAJO DE GRADO

ANDREA AVELLANEDA SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA – FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2019**

**RELACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ROTURA
DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON PRESENCIA DE FIBRAS METÁLICAS CON
MATERIALES DEL RIO BARRAGÁN**

**ANDREA AVELLANEDA SÁNCHEZ
CODIGO: D7300168**

**Trabajo de grado presentada como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director:
Ing. Orlando Posso**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA – FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2019**

RELACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON PRESENCIA DE FIBRAS METÁLICAS CON MATERIALES DEL RIO BARRAGÁN

RESUMEN

Este proceso investigativo se desarrolla en el municipio de Armenia en el departamento de Quindío; las pruebas de Resistencia a compresión y Módulo de rotura se desarrollan en el Laboratorio para Ensayos de Construcciones Civiles LECIV S.A.S., ubicado en la calle 5 # 15-09 Armenia; estas pruebas responden a la situación problémica hallada contenida en la pregunta: ¿Cuál es la relación de la resistencia a la compresión y el módulo de rotura que puede presentar el concreto hidráulico en presencia de fibras metálicas en ensayos en el laboratorio; Mediante la ejecución de los ensayos en el laboratorio, siguiendo para la resistencia a la compresión la metodología expuesta en la Norma ASTM C 39 y para el módulo de rotura la Norma ASTM C 78; se obtuvo que: La relación hallada entre la resistencia a la compresión esperada y la resistencia a la compresión promedio hallada de cilindros normales de resistencia a la compresión de 350 kg/cm² con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 7 días es de 1:0,80; lo que representa el 80% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre la resistencia a la compresión esperada y la resistencia a la compresión promedio hallada de cilindros normales de resistencia a la compresión de 350 kg/cm² con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 28 días es de 1:1; lo que representa el 100% de la resistencia esperada a los 28 días de edad. Asimismo, La relación hallada entre el módulo de ruptura esperado y el módulo de ruptura promedio hallado de vigas normales de resistencia a la flexión MR de 45 kg/cm² con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 7 días es de 1:0,88; lo que representa el 88% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre el módulo de ruptura esperado y el módulo de ruptura promedio hallado de vigas normales de resistencia a la flexión MR de 45 kg/cm² con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 28 días es de 1:1,14; lo que representa el 114% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

Palabras Clave:

Resistencia a la compresión, módulo de rotura del concreto hidráulico, presencia de fibras metálicas.

RELATION OF THE RESISTANCE TO COMPRESSION AND BREAK MODULE OF THE HYDRAULIC CONCRETE WITH THE PRESENCE OF METAL FIBERS WITH MATERIALS FROM RIO BARRAGÁN

SUMMARY

This investigative process develops the municipality of Armenia in the department of Quindío; the tests of compression resistance and rupture module are developed in the Laboratory for Testing of Civil Constructions LECIV S.A.S., located at 5 # 15-09 Armenia street; These tests respond to the problematic situation found in the question: What is the relation of the resistance to compression and the modulus of rupture that hydraulic concrete can present in the presence of metallic fibers in tests in the laboratory; Through the execution of the tests in the laboratory, following for the resistance to the compression the methodology exposed in the ASTM C 39 Standard and for the modulus of rupture the Standard ASTM C 78; it was obtained that: The ratio found between the expected compressive strength and the average compressive strength found of normal cylinders of compressive strength of 350 kg / cm² with the addition of metal fibers tested at the age of 7 days is 1 : 0.80; which represents 80% of the resistance expected at 28 days of age.

The ratio found between the expected compressive strength and the average compressive strength found of normal cylinders of compressive strength of 350 kg / cm² with the addition of metal fibers tested at the age of 28 days is 1: 1; which represents 100% of the resistance expected at 28 days of age. Likewise, the ratio found between the expected break modulus and the average break modulus found for normal beams of bending strength MR of 45 kg / cm² with the addition of metal fibers tested at the age of 7 days is 1: 0, 88; which represents 88% of the resistance expected at 28 days of age. The ratio found between the expected modulus of rupture and the average rupture modulus found of normal beams of resistance to bending MR of 45 kg / cm² with the addition of metal fibers tested at the age of 28 days is 1: 1.14; which represents 114% of the resistance expected at 28 days of age.

Keywords: Compression resistance, rupture module of hydraulic concrete, presence of metallic fibers.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. GENERALIDADES	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1.1 Formulación del Problema	6
1.2 JUSTIFICACIÓN	6
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos	8
1.4 MARCO DE REFERENCIA	9
1.4.1 Estado del Arte	9
1.5 MARCO TEÓRICO	19
1.5.1 El Concreto	19
1.5.1.1 Diseño en las estructuras de concreto	24
1.5.1.2 Concreto reforzado	25
1.5.1.3 Concreto hidráulico	27
1.5.2 Fibras metálicas	30
1.5.3 Resistencia a la compresión	33
1.5.4 Módulo de rotura	35
1.6 MARCO LEGAL	37
1.7 METODOLOGIA	40
1.7.1 Tipo de Investigación	40
1.7.2 Diseño Explicativo Secuencial	40
1.8 PRUEBAS A REALIZAR	41
1.8.1 Resistencia a la Compresión (ASTM C 39)	41
1.8.2 Módulo de Rotura (ASTM C 78)	46

1.9	ALCANCE DE LA OPCIÓN DE GRADO	49
1.10	DELIMITACIÓN	49
1.10.1	Geográfica	50
1.10.2	Conceptual	50
2.	CAPITULO 2. RESULTADOS	51
2.1	Método usado para el diseño de la mezcla	51
2.2	Desarrollo del método de diseño	53
2.3	Elaboración y Curado de las probetas de concreto	59
2.3.1	Preparación de Equipos utilizados.....	60
2.3.2	Preparación de los materiales	61
2.3.2.1	Cilindros de concreto sin fibra metálica.....	61
2.3.2.2	Vigas de concreto sin fibra	63
2.3.2.3	Cilindros de concreto con fibra metálica	63
2.3.2.4	Vigas de concreto con fibras metálicas	63
2.3.3	Mezcla de concreto.....	64
2.3.3.1	Mezcla de concreto sin fibra metálica	64
2.3.3.2	Mezcla de concreto con fibra metálica	64
2.3.4	Determinación del asentamiento	65
2.3.4.1	Asentamiento de la mezcla para cilindros de concreto sin fibra metálica	66
2.3.4.2	Asentamiento de la mezcla para vigas de concreto sin fibra metálica	66
2.3.4.3	Asentamiento de la mezcla para cilindros de concreto con fibra metálica	66
2.3.4.4	Asentamiento de la mezcla para vigas de concreto con fibra metálica	66

2.3.5	Elaboración de probetas.....	67
2.3.5.1	Moldeo de probetas para cilindros de concreto sin fibra metálica...	67
2.3.5.2	Moldeo de probetas para vigas de concreto sin fibra metálica.....	68
2.3.5.3	Moldeo de probetas para cilindros de concreto con fibra metálica..	69
2.3.5.4	Moldeo de probetas para vigas de concreto con fibra metálica	70
2.4	Resistencia a la Compresión de cilindros de concreto (ASTM C 39)	72
2.4.1	Resultados de la resistencia a la compresión sin adición.....	72
2.4.2	Resultados de la resistencia a la compresión con la adición de fibras metálicas	74
2.5	Resistencia a la Flexión del concreto (ASTM C 78)	76
2.5.1	Resultados del módulo de ruptura sin la adición de fibras.....	77
2.5.2	Resultados del módulo de ruptura con la adición de fibras	79
2.6	Tramo de prueba.....	81
2.7	Análisis Estadístico.....	82
CAPITULO 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		86
3.	Conclusiones.....	86
2.2	Recomendaciones.....	89
ANEXOS		91
Bibliografía		102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes en el volumen total del concreto hidráulico.....	28
Tabla 2. Tipos de fibras para ser incluidas en el concreto	31
Tabla 3. Especificaciones sobre el diámetro de la cara de carga.....	42
Tabla 4. Edad y plazo de ensayo	45
Tabla 5. Determinación de los factores de corrección para L/D	45
Tabla 6. Granulometría para tamaños máximos (Fuller y Thompson.....	53
Tabla 7. Dosificación por M3 para mezcla sin fibras metálicas R a/c =0.50.....	66
Tabla 8. Dosificación por M3 para mezcla con fibras metálicas R a/c =0.50.....	67
Tabla 9. Parámetros de edad y tolerancias.....	72
Tabla 10. Pruebas sin adición de fibras metálicas	73
Tabla 11. Pruebas con adición de fibras metálicas	75
Tabla 12. Módulo de ruptura sin la adición de fibras	78
Tabla 13. Módulo de ruptura con adición de fibras.....	80
Tabla 14. Resistencia promedio a la compresión.....	83
Tabla 15. Resistencia a la compresión 280kg/cm ²	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composición del concreto	20
Figura 2. Fibras de acero Dramix	32
Figura 3. Fibras de acero Ramgra.....	32
Figura 4. Prueba resistencia a la compresión	34
Figura 5. Prueba de módulo de rotura.....	36
Figura 6. Especificaciones sobre el diámetro de la cara de carga INVIAS.....	43
Figura 7. Esquema de un típico rodamiento esférico	44
Figura 8. Tipos de fracturas.....	46
Figura 9. Esquema de un equipo adecuado para el módulo de rotura.....	47
Figura 10. Combinación de los dos agregados	54
Figura 11. Gradación Arena	55
Figura 12. Gradación de grava $\frac{3}{4}$ "	56
Figura 13. Desarrollo de mezclas en obra.....	57
Figura 14. Dosificación para un bulto de cemento	58
Figura 15. Diagrama de dispersión para la resistencia a la compresión	74
Figura 16. Diagrama de dispersión con la adición de fibras.....	76
Figura 17. Diagrama de dispersión para MR sin adición de fibras	78
Figura 19. Curva de desarrollo de resistencia para MR=42	79
Figura 20. Diagrama de dispersión para MR con adición de fibras	80
Figura 21. Curva de desarrollo de resistencia para MR=45	81
Figura 22. Resistencia Norma ACI / Resistencia obtenida.....	85

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Pesaje del cemento.....	61
Ilustración 2. Pesaje del agregado grueso	62
Ilustración 3. Pesaje del agregado fino	62
Ilustración 4. Porcentaje de fibras metálicas adicionadas a los cilindros	63
Ilustración 5. Porcentaje de fibras metálicas adicionadas a las vigas	63
Ilustración 6. Mezclador	64
Ilustración 7. Determinación del asentamiento.....	65
Ilustración 8. Moldeo de probetas cilíndricas sin fibra metálica.....	68
Ilustración 9. Moldeo de probetas para vigas sin fibra metálica	69
Ilustración 10. Moldeo de probetas cilíndricas con adición de fibras metálicas.....	70
Ilustración 11. Moldeo de probetas para vigas de concreto con fibra metálica	71
Ilustración 12. Tramo de prueba, vía Barrio la Primavera Calarcá-Quindío	82

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de la resistencia a la compresión sin adición de fibras	91
Anexo 2. Datos de la resistencia a la compresión con adición de fibras	94
Anexo 3. Datos del Módulo de ruptura sin la adición de fibras.....	97
Anexo 4. Datos módulo de ruptura con la adición de fibras	99

INTRODUCCION

Dentro de la Ingeniería Civil, cada proyecto de construcción debe tener la seguridad sobre la mezcla de concreto que usará respecto de la resistencia que cumpla con los requerimientos, lo cual se fundamenta en pruebas de resistencia a la compresión realizadas en el laboratorio (IMCYC, 2006); en Colombia los valores de la resistencia que pueda exhibir a la compresión el concreto deben cumplir lo dispuesto por la norma (I.N.V. E-410); esta norma promulgada por el INVIAS usa como referentes las disposiciones aceptadas globalmente, que en su mayoría provienen de lo dispuesto por la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (American Society of Testing Materials. ASTM), que para el caso de la resistencia a compresión las disposiciones están presentes en la (ASTM C 39).

De otra parte, el módulo de rotura del concreto hidráulico es la medición que responde a los parámetros de calidad que debe tener la mezcla en la construcción de pavimentos, estructuras, pisos etc., (Rivera, 2006), la ausencia de este factor considerado en la mezcla, hace inviable la determinación de la respuesta a la tensión que soportará, por ejemplo: la loza en respuesta al paso vehicular, además no se tendrían valores permitidos de uniformidad del concreto obtenidos en condiciones estabilizadas en laboratorio por lo cual no se puede ni asegurar ni verificar el cumplimiento de la normativa (ASTM C 78).

La ausencia de seguridad fallada en el laboratorio en cuanto a datos de mezcla, dosificación, agregados etc., impide el cumplimiento de parámetros de calidad, que responden a características como durabilidad, capacidad para dejarse trabajar, impermeabilidad y por supuesto resistencia; en efecto se requiere establecer tanto la relación de la resistencia a la compresión como el módulo de rotura que puede

presentar el concreto hidráulico en presencia de fibras metálicas a través de ensayos en el laboratorio.

Debido a que el concreto hidráulico es usado de forma amplia como material en las construcciones debido a su alta durabilidad y a su cualidad de resistencia la capacidad impermeable y con gran velocidad de fraguado, suele presentar niveles altos de resistencia a la compresión, asimismo se encuentra una baja resistencia ante los procesos de tracción, situación que hace necesaria la adición de elementos metálicos que confieran mayor resistencia; en este aspecto los ensayos realizados deben dar cuenta de un valor correcto de dosificación en donde la calidad de los agregados resulta fundamental.

En esta medida el concreto resulta ser el componente necesario para el desarrollo de la infraestructura en cualquier país, hecho que causa un efecto relevante en el tema del desarrollo y la competitividad.

Por lo expuesto el presente trabajo de grado parte al exponer como objetivo general: Establecer el aumento de la resistencia a la compresión mediante lo indicado en las normas ASTM C 39 y ASTM C 78, del concreto hidráulico con adición de fibras metálicas, que garanticen la óptima construcción de vías y demás estructuras en el municipio de Armenia en el Departamento del Quindío.

Para lo cual se hace necesario abordar los siguientes objetivos específicos: elaborar las probetas cilíndricas de concreto hidráulico con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 39; elaborar las probetas en viga de concreto hidráulico con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 78; determinar la resistencia a la

compresión según parámetros de la ASTM C 39; determinar el módulo de rotura según parámetros de la ASTM C 78; establecer el análisis estadístico para la diferencia obtenida con los ensayos realizados con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 39 y con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 78.

Visto lo anterior, el cuerpo del trabajo se organizó a través de tres capítulos, el primero considera los aspectos formales del trabajo de grado, dentro lo cual se destaca la el marco teórico que establece las referencias seguidas, el marco metodológico y la descripción de las pruebas a realizar en las vigas y los cilindros de concreto sin adición de fibras así como con la adición de fibras; el segundo capítulo concentra los resultados obtenidos, esto presentando todo el proceso seguido en la elaboración y curado de las probetas, las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión y por consiguiente se presenta el análisis estadístico; finalmente el tercer capítulo presenta las conclusiones a las que se llegó de acuerdo a los ensayos abordados.

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La resistencia a la compresión del concreto es la medición que permite establecer el comportamiento que tendrá la mezcla ante su aplicabilidad, en diversas estructuras diseñadas tanto para el área residencial como para los espacios comerciales o industriales; cuando no se establece la relación de la resistencia a la compresión del concreto se hace imposible la descripción de las propiedades mecánicas que pueda llegar a tener esta mezcla, razón por la cual se carece de elementos de prueba que favorezcan la proyección de la durabilidad(IMCYC, 2006), en este sentido no es posible cumplir con los requerimientos dentro del diseño de diversas estructuras que se forjan a partir del concreto.

Es decir que cada proyecto de construcción debe tener la seguridad sobre la mezcla de concreto que usará respecto de la resistencia que cumpla con los requerimientos, esta certidumbre se fundamenta en pruebas de resistencia a la compresión realizadas en el laboratorio, haciendo uso de cilindros que se moldean para tal fin y además se favorece la presentación de resultados en el tema de control de calidad(IMCYC, 2006); por lo cual se deduce que si una mezcla no ha sido fallada los resultados de su uso pueden ser catastróficos.

Debido a la ausencia de parámetros exactos en cuanto a calidad, aceptación de la mezcla y estimación de la resistencia alcanzada; la cual normalmente debe exceder los valores de resistencia establecidos en los requerimientos de la obra diseñada con el fin de dar cumplimiento al proceso constructivo con la seguridad de haber minimizado los riesgos posibles; en Colombia los valores de la resistencia que

pueda exhibir a la compresión el concreto deben cumplir lo dispuesto por la norma (I.N.V. E-410); esta norma promulgada por el INVIAS usa como referentes las disposiciones aceptadas globalmente, que en su mayoría provienen de lo dispuesto por la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (American Society of Testing Materials. ASTM), que para el caso de la resistencia a compresión las disposiciones están presentes en la (ASTM C 39).

De otra parte, el módulo de rotura del concreto hidráulico es la medición que responde a los parámetros de calidad que debe tener la mezcla en la construcción de pavimentos, estructuras, pisos etc.,(Rivera, 2006), la ausencia de este factor considerado en la mezcla, hace inviable la determinación de la respuesta a la tensión que soportará, por ejemplo: la loza en respuesta al paso vehicular, además no se tendrían valores permitidos de uniformidad del concreto obtenidos en condiciones estabilizadas en laboratorio por lo cual no se pudo ni asegurar ni verificar el cumplimiento de la normativa (ASTM C 78).

Asimismo al no considerar los esfuerzos a flexión, se aumenta la necesidad de generar refuerzo en dos capas para la construcción lo cual aumenta los costos de forma considerable y no asegura el periodo de vida útil que se espera cumpla la estructura.

La ausencia de seguridad fallada en el laboratorio en cuanto a datos de mezcla, dosificación, agregados etc., impide el cumplimiento de parámetros de calidad, que responden a características como durabilidad, capacidad para dejarse trabajar, impermeabilidad y por supuesto resistencia; en efecto se requiere establecer tanto la relación de la resistencia a la compresión como el módulo de rotura que puede

presentar el concreto hidráulico en presencia de fibras metálicas a través de ensayos en el laboratorio.

1.1.1 Formulación del Problema

¿Cuál es la relación de la resistencia a la compresión y el módulo de rotura que puede presentar el concreto hidráulico en presencia de fibras metálicas en ensayos en el laboratorio?

1.2 JUSTIFICACIÓN

El concreto hidráulico es usado de forma amplia como material en las construcciones debido a su alta durabilidad y a su cualidad de resistencia la capacidad impermeable y con gran velocidad de fraguado, suele presentar niveles altos de resistencia a la compresión, asimismo se encuentra una baja resistencia ante los procesos de tracción, situación que hace necesaria la adición de elementos metálicos que confieran mayor resistencia; en este aspecto los ensayos realizados deben dar cuenta de un valor correcto de dosificación en donde la calidad de los agregados resulta fundamental.

En esta medida el concreto resulta ser el componente necesario para el desarrollo de la infraestructura en cualquier país, hecho que causa un efecto relevante en el tema del desarrollo y la competitividad.

Por su parte, teniendo en cuenta la aplicación de las tecnologías recientes aceptadas en el ámbito global, se hace necesario establecer una producción de concreto hidráulico eficiente manteniendo el bajo costo, ello implica la selección de

materiales que se adapten a la región haciendo inclusión de componentes propios del sector, con lo cual se brindan soluciones efectivas a los requerimientos, sin descuidar la calidad delimitada en las normativas vigentes en el país; por lo expuesto, se hace necesario realizar ensayos controlados en laboratorio, cuyos resultados representen un referente que exponga de manera puntual el comportamiento del concreto hidráulico en cuanto a la resistencia que pueda exhibir a la compresión (ASTM C 39) y módulo de rotura (ASTM C 78) a partir de la adición de fibras metálicas.

En consecuencia es imprescindible establecer las valoraciones que respondan a las normas establecidas de tal forma que se asegure la calidad, con lo cual se puede proyectar la aplicabilidad del material presentando los referentes en cuanto a desempeño y así favorecer la proyección tanto en los usos como en las aplicaciones.

Dentro de los procesos que se requiere seguir para realizar las pruebas de laboratorio están:

- Consideración de los porcentajes de adición de fibras metálicas hasta llegar a la mezcla optima
- Elaboración de cilindros para fallar a compresión.
- Determinación de la resistencia a la compresión según parámetros de la ASTM C 39.
- Elaboración de vigas para fallar a módulo de rotura
- Determinación del módulo de rotura según parámetros de la ASTM C 78.
- Comparación de resultados ante la mezcla y las resistencias valoradas.

La relevancia del proceso a realizar se presenta en los siguientes puntos:

- Los resultados sirven como criterios en el control de calidad, que según la norma deben guiar la dosificación, el mezclado y la colocación del concreto.

- Facilita las verificaciones en relación con el cumplimiento de especificaciones.
- Presentación de resultados como módulo de rotura.
- Descripción de las diferencias halladas según lo dispuesto en la norma en términos de tamaño del espécimen, preparación de la mezcla, condiciones de humedad y curado.
- Generación de valores porcentuales adecuados en la adición de fibras metálicas para el concreto hidráulico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Establecer el aumento de la resistencia a la compresión mediante lo indicado en las normas ASTM C 39 y ASTM C 78, del concreto hidráulico con adición de fibras metálicas, que garanticen la óptima construcción de vías y demás estructuras en el municipio de Armenia en el Departamento del Quindío.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar las probetas cilíndricas de concreto hidráulico con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 39.
- Elaborar las probetas en viga de concreto hidráulico con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 78.
- Determinar la resistencia a la compresión según parámetros de la ASTM C 39.
- Determinar el módulo de rotura según parámetros de la ASTM C 78.
- Establecer el análisis estadístico para la diferencia obtenida con los ensayos realizados con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 39 y con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 78.

1.4 MARCO DE REFERENCIA

El marco de referencia está compuesto por la revisión de tres aspectos importantes: uno es el estado del arte donde se presentan las investigaciones realizadas a la fecha y desde los últimos cinco años que se relacionan con el tema propuesto; el segundo es el marco teórico que recoge las conceptualizaciones referentes para dar sustento al proceso investigativo, además detalla los contenidos teóricos sobre los cuales se parte para el abordaje de la problemática planteada y guía la búsqueda de la solución; estas revisiones se complementan con el tercer aspecto que versa sobre la inclusión de la normativa guía presente en el marco legal.

1.4.1 Estado del Arte

La revisión realizada se presenta en forma ascendente a través de los últimos cinco años y se conforma de procesos investigativos y de artículos publicados que presentan los resultados de investigaciones realizadas en el área temática de interés.

La investigación para optar por el título de Ingeniero civil denominada Determinación de la correlación entre el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales presentado por (Mendoza, Molina, & Moya, 2014), buscó brindar alternativas a quienes diseñan pavimentos usando el concreto hidráulico brindando un factor de precisión mayor ofreciendo datos respecto al módulo de ruptura y de elasticidad.

Tras las pruebas efectuadas de acuerdo a las normativas válidas para El Salvador, se presentan cartas de control que pueden aplicarse para verificar las variaciones que resultan por diferentes factores, apoyados en métodos estadísticos

que concluyen en la presentación de la ecuación que demuestra la relación existente entre los módulos estudiados; en el estudio se empleó una mezcla con base de cemento que responde a lo estipulado por la norma ASTM C 1157, Tipo HE.

Dentro de las conclusiones halladas se destacan: se observó que el módulo de elasticidad del concreto evaluado presento un aumento en la proporción de humedad, a diferencia de lo hallado con la resistencia a la compresión donde se observó disminución con el aumento de la humedad en la probeta; se recalca que se observó un aumento importante de la resistencia, en relación directa al aumento del peso volumétrico; la construcción de las cartas de control se revisó que los valores estuviesen distantes de anomalías como: los puntos por fuera del control, corridos, tendencia, periodicidad y adhesión a esos límites de control.

El artículo Relación de la resistencia a la compresión y módulo de ruptura del concreto hidráulico presentado por (Silva, Pavón, Hernández, Cárdenas, & Padilla, 2014), expone como el módulo de ruptura valorado en el concreto hidráulico es indispensable en el diseño de losas de pavimento, por ello y teniendo en cuenta que el valor se obtiene por el producto del factor “k” y la raíz cuadrada del valor la resistencia a la compresión, se centraron en determinar el valor “k” realizando un análisis al concreto hidráulico premezclado y distribuido por la empresa Contesa, identificando así que las mezclas cumplen con parámetros altos de calidad.

Con lo cual se favorece ampliamente la optimización en el diseño de las losas simples aplicadas a pavimentos rígidos; los ensayos se realizaron sobre cilindros y vigas de concreto para resistencia a compresión ubicada entre 2.000 y 7.000 psi, fallados a los 3, 7, y 28 días; encontrando que las resistencias difieren en cada factor

de estudio (edad y relación agua/cemento), teniendo como parámetro la norma ASTM específica (ACI 214-R) de 2002.

La investigación para optar por el título de Master en Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil denominada Estudio técnico experimental de una placa de hormigón reforzada con fibras de acero apoyada en el suelo aplicado en obras portuarias, presentado por (Guzmán J. G., 2015), se dirigió a establecer el comportamiento que adopta el hormigón con fibras a ser usado como suelo en el manejo de cargas en la zona de almacenes de contenedores en el puerto; para lo cual se elaboró el hormigón, se fabricaron probetas y placas y se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión simple, de resistencia por flexorotación a 3 puntos.

Posterior a ello se elaboró el diseño del pórtico de carga, ensayando la placa; con lo cual se obtuvo que mediante la comparación de los resultados con lo expuesto en la normativa ROM 4.1 – 94, los pavimentos HRFA presentan carga de rotura más elevada que la sucedida con los HC; las fibras de acero incluidas presentaron un modo de rotura con mayor ductilidad incrementándose la tenacidad; la estructura de estos pavimentos mantiene la integridad aun al superar la carga de agotamiento estipulada normalmente, también se encontró resistencia residual ante la flexión.

La investigación para optar por el título de Ingeniero civil denominada Evaluación de la capacidad de disipación de energía de sistemas losa columna fabricados en concreto con fibras de acero, presentada por (Álvarez & Torres, 2015), busca establecer la evaluación de la capacidad de disipación de la energía lograda en

sistemas de losas-columna que han sido elaborados con la adición de fibras de acero en concreto, el esfuerzo evaluado fue el de punzonamiento, por lo cual se buscó presentar la falla a esfuerzos cortantes, dentro de los resultados se encontró que la respuesta al uso excesivo de adición de fibras es una ganancia en cuanto a la resistencia lograda.

La adición de fibras de acero Dramix 5D se comportó ante los esfuerzos de corte manifestando una resistencia con incremento al 80.6% en comparación con el concreto carente de la adición; la capacidad de disipación de energía como resultado de los esfuerzos de corte se aumenta considerablemente por la adición de fibras; finalmente, el valor de carga máxima de resistencia ante los esfuerzos de punzonamiento plasmado en la norma NSR 10 se equiparó al obtenido con la experimentación.

La investigación para optar por el título de Maestría en Construcción denominada Estimación del efecto de las fibras metálicas sobre la resistencia a la flexión de vigas de concreto, mediante la técnica de velocidad de pulso ultrasónico (UPV) presentada por (Ospina, 2016), se dirigió a realizar un análisis sobre el comportamiento mecánico que presenta el concreto reforzado con fibras de acero ante los esfuerzos de tensión, flexión y compresión, con la evaluación de los daños en los elementos objeto de análisis, se estableció asimismo, la velocidad de pulso ultrasónico propagada de forma simultánea.

Con ello se llegó a constituir la correlación existente entre las mediciones, se aplicaron 24 ensayos en el laboratorio “variando la cantidad de fibras de refuerzo por metro cúbico de concreto; estos contenidos fueron de 0 kg/m³, 25 kg/m³ y 70

kg/m³”; la generación de modelos matemáticos facilitó la comprensión, el análisis y la correlación de mediciones como la resistencia mecánica que presentaron las probetas así como la tenacidad y la evolución del daño, esto fue posible haciendo uso de la medición de la velocidad de pulso ultrasónico; dentro de las conclusiones se destaca, que las fibras de acero presentaron un comportamiento dúctil transmitido al concreto, reducen la rigidez propia del concreto por lo cual se aumenta la capacidad deformante.

De esta forma evitan el colapso total de la estructura, la mezcla óptima se presentó con SFRC 70 Kg/m³; en los casos de ensayo de la probetas se encontró que con la adición de fibras de acero se superaron los valores estipulados en la NSR-10; entre otras la aplicabilidad de la mezcla puede darse en vías construidas con losas, estacionamientos, etc., finalmente la aplicación de ecuaciones para lograr establecer el daño en una estructura de concreto, demostraron que los daños ubicados por debajo de 0.5 no tiende a colapsar y puede ser reparado, por el contrario si es mayor a 0.5 existe la posibilidad de colapsar.

La investigación para optar por el título de Ingeniero Civil denominada Análisis y evaluación del aporte estructural a contrapisos de hormigón mediante la adición de fibras metálicas y fibras de polipropileno, presentado por (Cabrera, 2016) se centró en realizar un análisis en el incremento al aporte estructural logrado con la adición de fibras metálicas y de nylon para dar refuerzo estructural; en los resultados se encontró que la adición metálica aportó aumento adicional en la resistencia del 10%, se evidencio el aporte del agregado de fibras en las propiedades elásticas que se

confirieron a la mezcla lo cual denoto características aptas en las construcciones antisísmicas.

Por su parte la adición de fibras de nylon no aporta las mismas características pero puede implementarse su uso en estructuras que requieran aporte en el tema de respuesta adecuada a la compresión, superando en 6% a la estructura sin esta adicción.

La investigación para optar por el título de Ingeniero Civil denominada Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos, realizado por(Mestanza, 2016), el proceso presenta los resultados en cuanto a densidades y esfuerzos logrados como resultado del sometimiento a compresión de las probetas de concreto reforzadas con polipropileno y siguiendo las normas ACI 544.1R-96 y la INEN.

Se destacan dentro de las conclusiones las siguientes: en la edad de 28 días se encontró tras los ensayos que de una parte el concreto curado a bajas temperaturas (3°C), aumenta la densidad y disminuye la resistencia a compresión, en el caso de temperaturas superiores (45°C), se aumenta la densidad y también la resistencia a la compresión; por su parte el cloruro de sodio genera aumento de la densidad con disminución de la resistencia a la compresión; por lo cual la temperatura ideal fue la estimada en 45°C, pero se genera en el ensayo una falla explosiva, además se concluye que la adición de fibras demora la compactación de la mezcla y dificulta la trabajabilidad, la ganancia se presenta en la forma de ruptura encontrándose que no se sucede el estallido y por el contrario solo se presenta deformación de la probeta.

El artículo Desempeño de losas de concreto sobre terrenos reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero, publicado por (Carrillo, Silva, & Sánchez Martha, 2016), presenta los resultados de una investigación de corte experimental donde se aprovecha la tendencia a mejorar el comportamiento del concreto con adición de fibras de acero; la búsqueda radica en establecer la cantidad necesaria de la adición para lograr un desempeño a flexión que se equiparara a la losa de concreto reforzada con malla electrosoldada ubicada en terreno, con cuantía mínima por contracción y por temperatura.

Desde el punto de vista estadístico se implementó el análisis de regresión lineal y desde la perspectiva normativa se guio por ACI 318-11 y NSR-10 (0,18%); los ensayos se realizaron sobre 10 losas cuadradas, cuyos lados alcanzaron los 600mm al lado y 100mm en el espesor, fueron elaboradas con “concreto simple, concreto reforzado con malla electrosoldada y con concreto reforzado con tres dosificaciones de fibra de acero (5,9 y 18 Kg/m³)”.

Los resultados evidenciaron comportamiento similar en las curvas de tenacidad y deflexión en las losas reforzadas con malla y las losas con fibras, con diferencias en el comportamiento de los elementos, donde los que poseían adición de fibras de acero presentaron una mejor respuesta; se destaca que los autores recomiendan: “hacer uso de dosificaciones de fibras de acero entre 18,0 y 26,5 Kg/m³ y fibras con l_f/d_f mayores a 48”, con lo cual se puede dar mayor cuerpo a la base de datos, usando “dosificaciones y fibras de acero diferentes a las utilizadas en el estudio”.

El artículo Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas presentado por (Caballero, 2017), justifica la realización de estudios que favorezcan

el mejoramiento de las propiedades químicas y mecánicas del concreto debido a su amplia aplicabilidad dentro de la industria de la construcción; en ese sentido al incluir agregados a la mezcla del concreto es posible mejorar la resistencia y la deformación ante cargas, las fibras metálicas consideradas según el tipo de cemento aportan en el mejoramiento de estas características verificadas en las pruebas en las cuales se aplican esfuerzos relevantes.

Dentro de las propiedades mecánicas se revisó la resistencia a la tracción, la resistencia a la compresión, la tenacidad, la resistencia a cortante y torsión, módulo de elasticidad y adherencia fibra matriz; dentro de las conclusiones se resalta que la adición de las fibras aportó un alto estándar de resistencia, favorable en la elaboración de pilas de puentes, de columnas que deben soportar sobre recargas, para las losas ocupadas en la construcción de puentes peatonales, etc.; la evaluación del comportamiento que adopta el concreto no confinado y reforzado con las fibras mediante métodos simplificados que valoran la curva de tensión – deformación es posible dentro de parámetros fiables.

Aun así se encontró que la adición de las fibras metálicas realizó un aporte importante en la valoración de la resistencia a la flexión mas no en el caso de la resistencia a la compresión observándose dentro de los valores constantes.

La investigación para optar por el título de Ingeniero Civil denominada Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 4% y 6%, presentado por (Sarta & Silva, 2017) centro su objetivo en efectuar pruebas mecánicas dirigidas a establecer la resistencia que se alcanza con la adición de fibras de acero al concreto, los ensayos cubrieron las edades de 7, 14 y 28 días;

dentro de las conclusiones se encontró que el enfoque experimental aplicado favoreció encontrar en los resultados una mejoría notoria en la resistencia alcanzada con la adición.

Se encontró evidencia de ductilidad al obtener deformación en las probetas y no fallas explosivas; en la mayor edad evaluada se obtuvieron los mejores resultados alcanzando una resistencia de 17,54%; por lo cual se recomienda hacer uso de la adición ensayada en la construcción de obras de alta infraestructura.

La investigación para optar por el título de Ingeniero civil denominada Análisis de vigas de hormigón sometidas a flexión que incorporan fibras metálicas obtenidas de neumáticos reciclados, presentada por (Mosquera & Tenelema, 2017), se dirigió a establecer la cantidad de agregado de fibra necesario para lograr una resistencia de 24 MPa, y realizar comparación con la probeta normal; los resultados permiten establecer que la mezcla puede ser usada como refuerzo secundario en las obras constructivas, teniendo la virtud de favorecer el reciclaje y aportar en la disminución de la contaminación ambiental existente.

No se detectó influencia en la respuesta a la resistencia a la compresión, la mezcla responde a elementos que necesiten control de fisuración con aplicabilidad en prefabricados y en pisos industriales, usado como refuerzo secundario; la resistencia a la flexión no excede el 7% sobre los datos convencionales sin adiciones; con la adición de la fibra no se presenta colapso total; no se favorece la mezcla homogénea con ese tipo de fibra por lo cual se evidencia porosidad y menor consistencia con aumento del contenido de aire.

La investigación para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil, con énfasis en geotecnia, denominada Evaluación del uso combinado de fibras metálicas y sintéticas como refuerzo del concreto aplicado al soporte y revestimiento de túneles, presentada por (Acero, 2017), se realizó a través de ensayos en laboratorio a muestras de concreto que fueron reforzadas con la combinación de macrofibras tanto de acero como de polipropileno; las pruebas realizadas fueron resistencia a compresión, módulo de elasticidad y se estableció la relación de Poisson, con lo cual se encontró que el aporte de las fibras en conjunto se comportó de manera similar al de las fibras en forma separada.

Dentro de las conclusiones se tiene el destacar la importancia que adquiere este tipo de adiciones al concreto por cuanto aporta la posibilidad de lograr reparaciones en casos de desprendimiento sin tener el riesgo de colapso de la estructura, además se expone que la adición de las fibras estudiadas favorece la capacidad de soporte residual que se encuentra en las fibras sintéticas lo cual resulta útil en los casos de cargas de desprendimientos y empujes.

La investigación para optar por el título de Ingeniero civil denominada Diseño de hormigón bicompuesto con vidrio triturado y fibras de acero reciclado elaborada por (Cruz & Rosales, 2018), el objetivo del diseño se dirigió a minimizar el impacto ambiental haciendo uso de materiales reciclados en la mezcla, las estipulaciones a cumplir fueron que el hormigón de uso estructural cumpliera con una resistencia a compresión de 21Mpa de acuerdo a lo presente en la norma NEC, con asentamiento de 8cm, el remplazo en el peso del agregado fue de 36%; los ensayos se realizaron a 7, 14, 28 y 56 días.

Llegando a encontrar que el hormigón bicompuesto de características estructurales con 21,73 MPa., se requirió uno simple de 33,95 MPa, lo que indica que la alternativa reciclada es una muy buena opción; los ensayos realizados cumplen con los lineamientos en la materia de las normas INEN y ASTM, generando así un producto de calidad; la granulometría se obtuvo a partir del uso de un rodillo de 15 toneladas; los investigadores recomiendan el uso de fibras de acero inoxidable y sin mayor desgaste con lo cual la mezcla se forma en condiciones óptimas tanto de resistencia como en cumplimiento de parámetros de calidad.

1.5 MARCO TEÓRICO

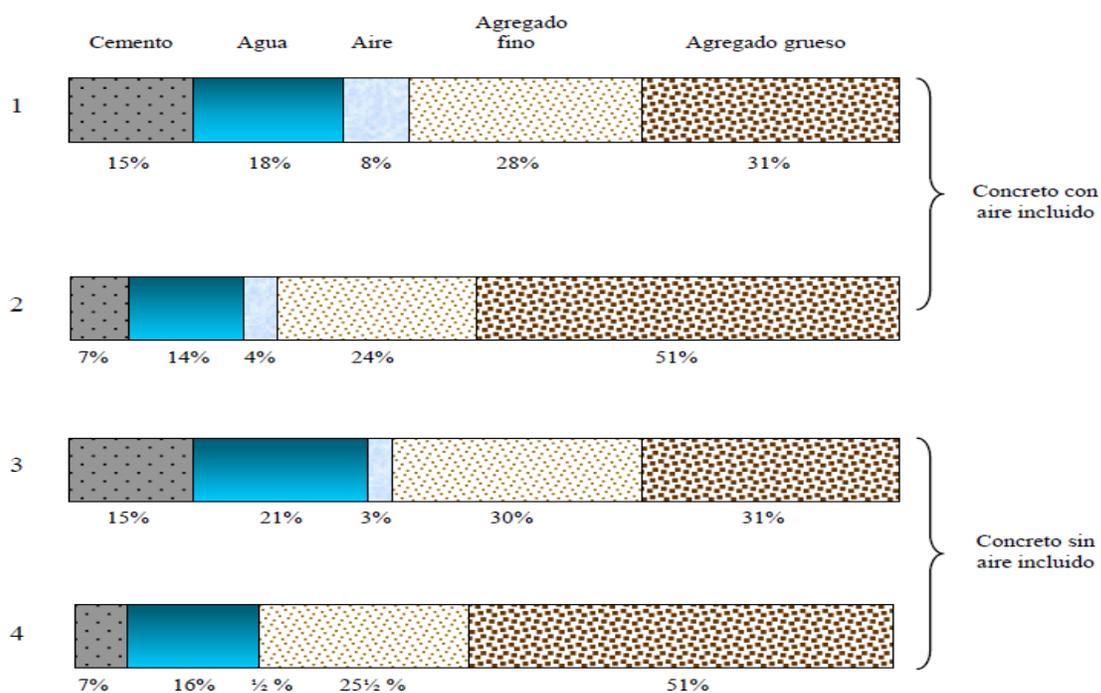
El marco teórico muestra una revisión a los temas inherentes al trabajo investigativo, por ello se incluyen las conceptualizaciones y teorías actualizadas al redor del concreto, el concreto hidráulico; las fibras metálicas y la especificidad de las fibras que se pueden ser usadas como adición dentro de la mezcla del concreto hidráulico; asimismo se revisa la resistencia a compresión, el módulo de rotura de este tipo de concreto y la relación existente entre estas dos valoraciones al concreto hidráulico.

1.5.1 El Concreto

Desde épocas remotas se han usado materiales que favorecen los procesos constructivos, es el caso de las pirámides de Egipto donde se usaron elementos como la piedra y el barro (Landeta, 2017); en las excavaciones de las construcciones de la antigüedad ubicadas tanto en Grecia como en Roma, se encuentran dentro de

los componentes usados la cal, la arena, el agua (Polanco, 2014); desde 1842 surgió el cemento portland en Inglaterra, este es el resultado de la pulverización de Clinker Portland y se le adiciona sulfato de calcio, este cemento es la base para la elaboración del concreto; entonces el concreto es el resultado de la mezcla de elementos como cemento, agregados finos y gruesos, agua y aire con miras a lograr la resistencia adecuada, la composición básica del concreto se presenta en la figura 1.

Figura 1. Composición del concreto



Fuente: (Polanco, 2014)

De acuerdo a los porcentajes presentes en la figura 1, se hace evidente que los agregados constituyen una parte importante en la conformación del volumen total dentro de la mezcla del concreto, por ello la granulometría resulta un factor esencial que debe quedar adecuadamente cubierto por la pasta que se forma entre el

cemento y el agua, estos últimos cumplen la función de ser ligantes; ahora bien, el contenido de agua determina la resistencia tanto a la compresión como a la flexión, es responsable de la permeabilidad lo que se evidencia en el factor hermético que se alcance en el proceso de curado que alcance la mezcla.

También en la capacidad de absorción, la respuesta a la intemperie y los agrietamientos que puedan suceder (Polanco, 2014); es posible modificar las propiedades del concreto mediante adición de aditivos, estos funcionan confiriendo ajuste al tiempo de fraguado, pueden generar menor necesidad de agua y conferir nuevas propiedades al concreto entre otros.

Se parte de la dosificación básica para generar una mezcla adecuada y de calidad, es decir que cumplen con lo dispuesto en las normativas vigentes (NTC), en donde, se considera que:

Cemento: en donde las medidas se establecen por la densidad (G_c) y la masa unitaria suelta (MUSc); **Agua:** densidad (G_a) se puede asumir como $G_a=1.00\text{Kg/dm}^3$; **Agregados:** análisis granulométrico de agregados, incluyendo el cálculo del módulo de finura (MF) o del tamaño máximo nominal (TMN), densidad aparente seca (G) y porcentaje de absorción de los agregados (% ABS), porcentaje de humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas (W_h), masas unitarias sueltas (MUS); **Aditivos:** densidad (G_{ad}), se tienen en cuenta las características de diseño y geométricas de la estructura a construir y las condiciones de colocación de la mezcla, (Rivera, 2006, pág. 170) entre otras cosas.

Cabe aclarar que para algunos autores, al agregar a la mezcla de concreto la piedra se habla de hormigón y cuando a esta mezcla se agrega estructuras en hierro se habla de hormigón armado; pero normalmente hormigón y concreto son sinónimos (Larraín, Yáñez, & Verdugo, 2006).

La producción del concreto sucede por etapas secuenciales, estas son: la dosificación, el mezclado, el transporte, la colocación, la compactación y el curado, configurando así el material de construcción que llega al estado en donde es mecánicamente resistente(Rivera, 2006), lo cual parte de las características que imprimen sus componentes desde el punto de vista físico y químico.

En términos generales existen dos tipos de concreto: simple y reforzado; el simple tiene la propiedad de resistir altas fuerzas compresivas, la mezcla no representa un gran costo, tiene muy buena durabilidad, posee la capacidad de permitir el moldeamiento en diversas formas, se puede texturizar y agregar colores; por su parte el concreto reforzado incluye varillas o mallas y es usado en la construcción de estructuras, por su composición presenta resistencia ante la compresión, soporta tensión(Polanco, 2014), y otras clases de fuerzas.

Además de estos tipos se encuentran otras nominaciones como el *concreto armado* debido a que a la mezcla simple se le suma una armadura de acero; *concreto ciclópeo*, en el cual al concreto simple se le añade piedra desplazadora; *concreto liviano* el cual solo recibe agregados finos; en el caso contrario está el *concreto pesado*; el *concreto pre-esforzado*, que puede ser pre o post-tensado; *concreto rodillado* el cual no requiere juntas de construcción; *concreto polimerizado* el cual presenta mayor resistencia a la compresión; y *Concreto fast-track*, que facilita la recuperación de vías en el menor tiempo posible(Caballero, 2017).

La manejabilidad del concreto se refiere a la capacidad que posee el concreto en la condición de fresco para dejarse mezclar, manejar, transportar, ubicar, compactarse y terminar el proceso sin que exista pérdida en la

homogeneidad(Rivera, 2006); de esta capacidad se desprende la resistencia que el concreto pueda ofrecer, la cual va aumentando según la edad que adquiera, por ello dentro de las pruebas a realizar esta el medir la resistencia a compresión a los 28 días, valor que es un índice de calidad; también se encuentra la valoración de la resistencia a la tensión, en la cual puede establecerse la capacidad de agrietamiento; la siguiente valoración es la resistencia a la flexión, esta es usada para estructuras como el pavimento rígido.

Cabe destacar que se espera que el módulo de rotura muestre valores con una variación entre el 10% y el 20% con respecto al valor de la resistencia a la compresión, esta resultante es la demostración de la correlación existente entre las dos valoraciones, este dato en ausencia de los resultados de ensayos a flexión puede obtenerse al aplicar la fórmula:

$$Mr = k (RC)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

MR= Módulo de rotura estimado para el concreto (kg/cm²)

RC= Resistencia a la compresión presente en el concreto (kg/cm²)

K= constante con variación entre 2.0 y 2.7, para resistencias en (kg/cm²) a los 28 días(Rivera, 2006, pág. 138).

De acuerdo a lo descrito, los factores que pueden incidir en la resistencia del concreto son varios, de una parte están el tipo de cemento, de agregados y de agua dentro de la mezcla a obtenerse; de otra parte está la relación que se establezca entre el agua y el cemento, así como el tiempo, la temperatura y por supuesto la humedad; estos factores apuntan a lograr predecir la durabilidad que se obtendrá en

ese concreto que deberá responder correctamente a procesos como la meteorización, la respuesta a los agentes químicos(Rivera, 2006) y de hecho el desgaste, entre otros procesos que pueden ser destructivos o desgastantes.

1.5.1.1 *Diseño en las estructuras de concreto*

El diseño de las estructuras de concreto parte de considerar las formas que adoptará el material en relación con la función a desempeñar, por ello resulta fundamental el conocimiento en cuanto al manejo de las cargas, la resistencia a esperarse y por consiguiente la seguridad estructural; para llevar a cabo estos procesos de forma eficiente deben seguirse las especificaciones preestablecidas en las normativas promulgadas desde los estamentos avalados en el ámbito global y adaptadas al entorno del país en el cual se realizan las construcciones; en esta medida se requiere un conocimiento detallado sobre el comportamiento que manifiesta el concreto, los refuerzos y las adiciones que se incluyen en las mezclas base(Nilson, Darwin, & Dolan, 2004).

La resistencia que en realidad presenta cualquier elemento estructural es la característica más importante que debe hallarse, lo cual implica obtener un valor alto de resistencia que ofrezca un margen en el que se sustenta la calidad y la seguridad de no presentar fallas, de esta forma se entiende la relevancia que adquiere el diseño del concreto en donde se expresan los valores de las dimensiones, el refuerzo a implementarse de tal forma que la resistencia ofrezca el soporte necesario a las fuerzas resultantes de carga y sobrecarga; en los casos en los que se hace uso del concreto reforzado, el diseño presenta la consideración en la que a partir del

comportamiento inelástico de cada material conformante se calcula la denominada resistencia nominal (Nilson, Darwin, & Dolan, 2004).

Por su parte en el diseño para cargas de servicio, los elementos deben ser dimensionados ofreciendo un amplio margen de seguridad en el que se obtienen “esfuerzos admisibles bajo cargas de servicio que sean fracciones apropiadamente pequeñas de la resistencia a la compresión del concreto y del esfuerzo de fluencia del acero” (Nilson, Darwin, & Dolan, 2004, pág. 15).

El diseño se aplica a todas las estructuras como los sistemas de entrepisos en las edificaciones, es decir los entrepisos de placa, viga monolítica, sistema de viguetas unidireccionales y sistema configurado para placa plana que no presenta vigas, los sistemas para la construcción de puentes, entre otros.

1.5.1.2 Concreto reforzado

El concreto en sí mismo es un material limitadamente frágil, en cuanto demuestra una menor resistencia a la tensión, la cual se evidencia en los elementos de amarre o las vigas que son sometidas a flexión; por ello desde mediados del siglo diecinueve se hizo uso del acero con el fin de conferir refuerzo capaz de mejorar la resistencia a la tensión, aumentando la capacidad portante del concreto; este concreto reforzado denota ventajas como la exposición de resistencia adecuada ante el clima, ante la compresión, permite ser moldeado según la necesidad, mantiene la forma a pesar de ser expuesto al fuego; con lo cual se extiende las posibilidades de aplicación en los propósitos constructivos, llegando a usarse en edificaciones, construcción de puentes, depósitos contenedores, presas y demás (Nilson, Darwin, & Dolan, 2004).

La búsqueda actual se dirige a lograr combinaciones adecuadas de aceros y otro tipo de fibras, como las metálicas, para lograrlas más altas resistencias, de tal forma que se obtenga un equilibrio en los esfuerzos a los que se somete el concreto una vez ha endurecido; por lo expuesto el concreto reforzado se ubica en primer lugar dentro de los materiales existentes para abordar los procesos constructivos de todo tipo, exponiéndose así algunas de sus ventajas, dentro de las cuales se destacan lo expuesto por (McCormac & Brown, 2011):

- ❖ Presenta resistencia importante a la compresión en relación con la unidad de costo.
- ❖ Además de resistir el fuego presenta resistencia al accionar del agua.
- ❖ Favorecen el logro de alta rigidez.
- ❖ No existen requerimientos altos de mantenimiento.
- ❖ Ofrece larga vida de servicio sin presentar reducción en la capacidad de carga.
- ❖ Se reconoce como habitualmente el único material, que desde el punto de vista económico está favorable para la construcción “de zapatas, losas de piso, muros desótano, pilares y construcciones análogas.
- ❖ Puede ser colado para lograr diferentes configuraciones, es el caso de las losas simples, la conformación de vigas o de columnas y grandes arcos, entre otras opciones.
- ❖ Este concreto admite la adición de materiales propios de cada región.
- ❖ No requiere de mano de obra calificada para constituir el montaje.

Por lo expuesto el concreto reforzado presenta las propiedades de resistencia a la compresión, definición correcta en el módulo estático de elasticidad, así como en los módulos de elasticidad dinámica y de Poisson, respuesta adecuada ante la contracción, la fluencia plástica, resistencia a la tensión y al corte (McCormac & Brown, 2011).

1.5.1.3 Concreto hidráulico

Al hablar de concreto hidráulico se expone la mezcla que forma esta piedra artificial, que contiene las cantidades necesarias de cemento, agua, arena, piedra, se pueden agregar aditivos usualmente químicos y aire, entre otros, mediante la aplicación de tecnologías y ejerciendo el control propio; los agregados contribuyen en la ventaja técnica que presenta el concreto hidráulico debido a que el material resultante se comporta con estabilidad volumétrica (Rodríguez & Gómez, 2014) y un excelente índice de durabilidad; por lo cual en primera instancia se requiere la revisión en el proceso de distribución granulométrica; el aglutinante, el compuesto formado de cemento Portland, el agua y el aire hacen unión con los agregados formándose la roca como resultado del proceso de fraguado (Guzmán V. E., 2009).

El concreto hidráulico se conforma en alto porcentaje por los agregados que componen entre el 50% y el 80% del volumen, por ello resulta importante su selección dentro de la clasificación existente, que según su procedencia pueden ser naturales: rocas sedimentarias, metamórficas; también están los agregados artificiales los cuales son el resultados de elementos trabajados en procesos de tipo industrial, es el caso de las arcillas expandidas, las escorias de alto horno, el

Clinkery las limaduras de hierro; la característica principal de estos agregados en la de poseer mayor o menor densidad que la de los agregados naturales(Rivera, 2006).

Entonces el volumen total que conformas el concreto se conforma de porcentajes de cada uno de sus componentes como se presenta en la tabla 1.En la actualidad existe una fuerte tendencia al uso del concreto hidráulico, debido a los avances tecnológicos sucedidos en materia de pavimentos(Álvarez Á. , 2010), el bajo costo de producción y la durabilidad, entre otros factores.

Tabla 1. Porcentajes en el volumen total del concreto hidráulico

<i>Aglutinante: cemento Portland, agua, aire</i>	<i>del 25% al 40%</i>
Volumen del cemento	del 7% al 15%
Volumen del agua	del 14% al 21%
Volumen aire	hasta el 8%
<i>Agregados</i>	<i>del 60% al 75%</i>

Fuente: (Guzmán V. E., 2009)

En el estado fresco se caracteriza por presentar plasticidad lo que favorece la trabajabilidad sin generar segregación, por ello se puede verter en moldes y además presenta un nivel de compactación adecuado; en el estado endurecido se caracteriza por presentar tanto durabilidad como resistencia mecánica a la compresión, en donde se obtienen valores de 250kg/cm^2 y lograr una condición de 450kg/cm^2 ; teniendo en cuenta estos factores las pruebas que se pueden realizar en laboratorio son diversas, algunas de ellas cubren desde la toma de muestras, establecimiento de la temperatura del concreto fresco, masa unitaria y rendimiento, exudación, compresión de cilindros de concreto, módulo de ruptura, asentamiento del concreto y elaboración de curado en especímenes de concreto(Rodríguez & Gómez, 2014).

De acuerdo a lo expuesto la generalidad en la configuración del concreto está en comprender que el volumen del concreto endurecido está determinado por el porcentaje de agua en relación al porcentaje de cemento incluido en la mezcla, en donde además se debe tener cuidado de cubrir los agregados adecuadamente; en donde la controlada reducción de agua para formar la pasta confiere al concreto las características de mejorar la resistencia que pueda presentar el concreto ante la compresión y la flexión; adquiere menor permeabilidad lo que denota mayor hermeticidad y por consiguiente menor absorción, lo cual mejora la resistencia ante el intemperismo; se obtiene efectividad en la unión que se realiza entre capas, el concreto y los refuerzos(Guzmán V. E., 2009); en suma se minimiza la presencia de agrietamientos como resultado de la contracción.

En la elaboración de mezcla del concreto hidráulico también se han empleado elementos alternativos como la ceniza volante, el humo de sílice y puzolanas de origen natural, en ensayos de laboratorio se han evidenciado beneficios en el comportamiento de la mezcla del concreto hidráulico, en el punto fresco como en el endurecido; la inclusión de este tipo de elementos, considerados como material cementante suplementario o aditivo mineral, ayuda a minimizar los procesos deteriorantes ejercidos por la interacción con el medio ambiente y además favorece el ahorro de energía(Moliné, 2017), además favorecen la cohesión del concreto. Una de las formas que puede adoptar el concreto hidráulico es la de elemento estructural prefabricado, el cual se usa actualmente de forma amplia en todo el mundo.

1.5.2 Fibras metálicas

En términos generales se denomina concreto con fibras, al hormigón de características normales en donde la mezcla incluye la adición de fibras; dentro de las cuales están las de acero, nylon, plástico, poliéster, asbesto, polipropileno, polietileno, vidrio, yute, caña de azúcar, coco y fibras de fique(Rivera, 2006), entre otras opciones.

Desde épocas antiguas existen referentes del empleo de fibras en el fortalecimiento de ciertos materiales de construcción, por ejemplo las cerdas de crin de caballo aplicadas en morteros, también las fibras de paja usadas para dar refuerzo en la elaboración de los ladrillos con base de barro o adobe; se sabe que las fibras de yute y las del bambú confieren elasticidad aplicadas a manera de fibras largas; hacia 1900 se presentaron adiciones con fibras de asbesto, que se incluían en la mezcla de la pasta, también se incluyeron pesuñas tajadas y espigas propias del trigo, elementos que confirieron fortaleza ante la resistencia.

En los años 50se usaron materiales compuestos (FRC) y fibras de vidrio y hacia los 60 se empezaron a incluir fibras de acero y polipropileno, otros sintéticos y fibras vegetales; en esas décadas se estableció que las inclusión de fibras de acero generaban un aumento considerable de la resistencia a la tensión en el concreto y de la tenacidad; desde 1980 a la fecha los materiales de estos tipos para ser adicionados a las mezclas se producen de diversas formas dando mayores opciones en la industria de la construcción.

Los diferentes emisores de las normas en el mundo (ACI, ASTM, RILEM, EFNARC) han dado reconocimiento a este tipo aplicaciones para generar concretos

fibroreforzados, generándose así cuatro tipos básicos de fibras: metálicas, de vidrio, de origen natural y sintéticas (Nematl, 2013), lo cual se presenta en la tabla 2; debido a los resultados reportados en las investigaciones y ensayos realizados, la adición de fibras en el concreto se presenta como una de las innovaciones principales en el campo de la construcción, en donde aún se requiere la realización de ensayos para usos específicos de las mezclas a obtener, con el fin de tener datos base para las aplicaciones que puedan surgir.

Tabla 2. Tipos de fibras para ser incluidas en el concreto

Grupo	Fibras
Metálicas	acero, carbono, ligados, aluminio
Naturales	asbesto, celulosa, carbón, estopa de coco, sisal, lechuguilla
Sintéticas	nylon, polietileno, polipropileno, aramida, acrílico, poliéster, poliacrílico
Vidrio	Fibras de vidrio

Fuente: (Nematl, 2013, pág. 35)

Entonces las fibras metálicas suelen ser filamentos de acero que han sido cortados en trozos y al ser incluidos en la mezcla de concreto confieren propiedades importantes y no inducen alteraciones en los componentes restantes, deben ser distribuidas en alto porcentaje por kg considerado en la mezcla, asimismo debe lograrse una distribución homogénea, obteniendo así las ventajas y propiedades conferidas; en la actualidad el reforzamiento realizado al concreto con fibras de acero, resulta ser más ampliamente popular y admitido, de tal forma que las normas mundiales generan recomendaciones específicas para la ejecución de ensayos y construcciones con base a esta adición, uno de los tipos de fibras de acero usados es el producido en Bélgica (Dramix®), donde las fibras se presentan en 3D, 4D y 5D

como se presenta en la figura 2; otras de las presentaciones que pueden encontrarse en el mercado son las presentadas en la figura 3.

Como ya se expuso las fibras pueden clasificarse de acuerdo al material del que provienen, asimismo pueden ser clasificadas de acuerdo a características como la funcionalidad, la geometría y también por la dosificación; es así como las *microfibras* funcionan evitando la presencia de fisuras en el concreto, las más comunes son las de polipropileno, su presentación se da en monofilamentos o fibriladas; las *macrofibras* se dirigen a prevenir las fisuraciones que se evidencian en el estado endurecido de la mezcla, pueden ser sintéticas o metálicas (Sika, 2014), su aspecto puede ser como el relacionado en las figuras 2 y 3; con aplicabilidad en pisos, pavimentos prefabricados, hormigón proyectado y otras estructuras.

Figura 2. Fibras de acero Dramix



Fuente: (Thooft & Frutos, 2013)

Figura 3. Fibras de acero Ramgra



Fuente: (Ind. Ramgra, 2015)

También se reconocen las fibras estructurales: se les aduce un componente de energía ante la rotura y mayor resistencia a la fisuración en el estado endurecido, y fibras no estructurales: que en estado fresco ejercen control a la fisura generada por la retracción, favorecen una respuesta adecuada ante el fuego, los procesos abrasivos y los impactos. Desde la norma ASTM – 820 las fibras son clasificadas como tipo 1: alambre trefilado en frío; tipo 2: hojas sueltas; tipo 3: extraídos en fusión y tipo 4: otras fibras(Rodriguez, 2016).

Para la vigencia de 2017, aun no existían variados estudios que incluyesen la descripción del comportamiento que asume el concreto con contenidos de fibras metálicas en ensayos específicos como el de la fatiga por flexión; uno de los ensayos recientes, realizados en este tema es el presentado por (Ruiz, Ridríguez, & León, 2017), en donde el análisis de la inclusión de fibras metálicas en la mezcla de concreto para ser usado en pavimentos encontrando que: “En los rangos de esfuerzos estudiados, la vida de fatiga no aumenta para contenido de fibras de 20 kg/m³ y aumenta un 6% para 40 kg/m³ (0.5%) y 25% para 80 kg/m³ (1%) comparado con la mezcla control” (p. 45).

1.5.3 Resistencia a la compresión

Establecer la resistencia a la compresión en el concreto, es valorar el desempeño a través de la creación de estructuras cilíndricas preparadas con la mezcla y sometidas a ensayos preestablecidos por las normas referentes, lo cual es el método estándar; con ello es posible originar el cálculo del dimensionamiento y del refuerzo(Rivera, 2006), esto dentro de la configuración de la mezcla dentro de un proceso constructivo.

Desde esta perspectiva resulta importante el diseño de mezclas que demuestren diferentes propiedades mecánicas y que contribuyan de esta forma al diseño y resultado final de una estructura específica; en la prueba se generan probetas de concreto de forma cilíndrica, como se observa en la figura 4, los cálculos surgen al obtener “la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascales (MPa) en unidades SI”(IMCYC, 2006, pág. 20).

Con los resultados es posible demostrar el cumplimiento de la especificación técnica, son determinantes en el control de calidad y permiten la predicción del comportamiento del concreto como formador de estructuras, la norma matriz de estos lineamientos adaptados en cada país es la ASTM (American Society for Testing and Materials); en ellas se establece que: “Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensaye a la misma edad”(IMCYC, 2006, pág. 21).

Figura 4. Prueba resistencia a la compresión



Fuente: Autora

En Colombia la resistencia a la compresión valorada en el cemento está regida por la norma NTC 220, que determina la resistencia de morteros de cemento hidráulico, mediante el uso de cubos de 50mm o de 50.8mm de lado, la cual reporta el control de calidad; la NTC 121 establece los parámetros de calidad que debe observarse en los cementos, las especificaciones se realizan por desempeño y plantea las medidas de durabilidad, en el caso de especímenes de concreto se valoran de acuerdo a la NTC 673.

Por su parte las normas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), ofrecen los parámetros y las especificaciones para las construcciones de carreteras y puentes; de estas normas las que plantean las especificaciones para el concreto se encuentran en la sección 400, dentro de ellas el concreto hidráulico, se encuentra en la sección E – 410; estas normas usan como referente las disposiciones de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales, en donde de manera específica se aplica la ASTM C 39, que estipula la valoración de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

1.5.4 Módulo de rotura

Esta prueba se dirige a obtener un valor que determina la resistencia que posee la probeta (viga) a la tensión por ensayo a la flexión, como se observa en la figura 5; la aplicación de la carga debe realizarse manteniendo una fuerza uniforme, al lograrse la falla se generan las valoraciones mediante la aplicación de fórmulas predeterminadas en la norma a cumplir.

Figura 5. Prueba de módulo de rotura



Fuente: Autora

Esta medida de resistencia a la tracción puede ser valorada en especímenes en forma de viga y también en losas de concreto, la expresión del valor se da como módulo de rotura (MR), este valor resulta ser entre el 10 al 20% de la resistencia que se presenta a la compresión; esta prueba se realiza de forma primordial para aplicar los resultados a la construcción de pavimentos, también actúa como valor para determinar calidad del concreto de pavimentos; en el proceso los ensayos se realizan a probetas con nivel de humedad de acuerdo a lo descrito en la norma.

Es claro que el valor del módulo de rotura del concreto es menor si se tiene en cuenta el valor de la resistencia a la compresión, pero también será mayor si se

evalúa la resistencia existente a la tracción pura(Rivera, 2006);para el caso puntal de la valoración a realizarse dentro de este proyecto, se aplica la ASTM C 78, denominada “Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre”.

1.6 MARCO LEGAL

El marco legal expone los lineamientos que se siguen dentro de la investigación para hallar la resistencia a la compresión del concreto hidráulico así como el módulo de rotura, ello teniendo en cuenta que la normativa a emplearse proviene de procedimientos establecidos y aceptados globalmente.

Si bien es cierto la**Norma INVIAS**, Sección 400 que estipula lo referente al concreto hidráulico(INVIAS, 2012). Son especificaciones que reglamentan el tema de construcción de carreteras dentro del estado, también cubren los aspectos de “rehabilitación, rectificación, mejoramiento y conservación de carreteras y puentes” (p.100-1); estas responden a adaptaciones realizadas en su mayoría de las proferidas por la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (American Society of Testing Materials. ASTM); por lo cual serán los referentes a seguir dentro de esta investigación.

ASTM C192, Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio; establece el procedimiento de elaboración y curado de probetas de concreto en laboratorio bajo el estricto control de la calidad y uniformidad de los materiales y las condiciones ambientales que puedan llegar a influir en el desarrollo del muestreo.

La norma proporciona los requisitos normalizados para tratar los materiales, el mezclado del concreto, la elaboración de los especímenes y su correcto curado garantizando que las probetas fabricadas como lo indica el procedimiento cumplen con las cualidades para que sean empleadas con fines investigativos, proporcionando información precisa sobre el comportamiento mecánico del concreto.

ASTM C 39, Resistencia a la Compresión de cilindros de concreto; este ensayo se realiza en probetas cilíndricas de concreto, limitado a concretos que presentan densidad mayor a 800kg/m^3 , el proceso estipula la colocación de una carga tipo axial, aplicando una velocidad preestablecida, mantenida hasta obtener la falla del cilindro; “La resistencia a compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen”.

La norma describe el equipo para realizar la prueba, teniendo en cuenta la máquina de ensayo y su diseño, la exactitud; detalla la indicación de carga y los especímenes de ensayo; luego denota el procedimiento a seguirse durante todo el tiempo de la prueba; tiene en cuenta los cálculos a ser realizados, las fórmulas y los esquemas necesarios para guiar la medición; además estipula la forma y los datos requeridos en la presentación del informe.

Los complementos normativos que limitan las aplicaciones técnicas del procedimiento esta regulados por las ASTM C39/ C39M–12, y la ASTM E 74; en donde la ASTM C39/ C39M–12 genera los lineamientos para medir la resistencia a la compresión en cilindros de concreto, y la ASTM E 74estipula la forma de calibración de los equipos.

ASTM C 78, Resistencia a la Flexión del concreto; este ensayo se realiza en probetas de viga que se encuentre “simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre, las vigas deben ser preparadas y curadas en la forma como se define en los lineamientos ASTM, los datos obtenidos deben presentarse como “módulo de rotura”; estos resultados permiten establecer si se cumplen los lineamientos en torno a los procesos de “dosificación, de mezcla y de colocación del concreto”; además aplica en la evaluación de losas de concreto tipo estructural, así como en “el diseño y control de la construcción de pavimentos rígidos”.

Igual que en la norma de resistencia a la compresión, esta norma describe el equipo para realizar la prueba, teniendo en cuenta la máquina de ensayo y el aparato de carga; detalla la indicación para los especímenes de ensayo; luego denota el procedimiento a seguirse durante todo el tiempo de la prueba, especificando la medición de los mismos en el momento posterior a la falla; tiene en cuenta los cálculos a ser realizados y las fórmulas para guiar la medición; además estipula la forma y los datos requeridos en la presentación del informe.

Las normas de referencia, que establecen las especificaciones técnicas durante el proceso son las ASTM C78/ C78M-10; en donde se generan los lineamientos para medir el espécimen una vez realizado el ensayo del módulo de rotura, y se reglamenta la elaboración del curado de las probetas de concreto en el laboratorio para ser usados en los ensayos de compresión y de flexión, también se estipula la forma en la que se obtienen y se realizan los ensayos de núcleos de concreto que están endurecidos, según el caso.

1.7 METODOLOGIA

La metodología a seguir en este estudio se presenta a través de la selección del tipo de investigación y la descripción, según la norma, de las pruebas a ser realizadas.

1.7.1 Tipo de Investigación

La investigación a ser realizada se enmarca dentro de los diseños mixtos(Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), debido a que aplica los preceptos de la investigación cualitativa así como de la investigación cuantitativa en la medida en la que se presentan resultados que detallan los procesos realizados y responden a la aplicación de fórmulas y estadísticas de frecuencia; ello requiere realizar un proceso en donde se recolectan, se analizan y se integran datos tanto cuantitativos como cualitativos, con lo cual se pueden realizar las inferencias pertinentes; el diseño específico a ser usado es el explicativo secuencial.

1.7.2 Diseño Explicativo Secuencial

Este diseño implica, el cubrimiento del proceso investigativo por etapas, en la primera se recolectan y son analizados los datos cuantitativos, en la segunda etapa se genera el procesamiento cualitativo de la información recolectada; para el momento de elaboración del informe que presenta el proceso y los resultados alcanzados se realiza una integración de la información hallada cualitativa y cuantitativamente(Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), lo cual permite comprender y explicar la aplicación realizada.

1.8 PRUEBAS A REALIZAR

Las pruebas a realizar son las estipuladas en las normativas guía, las cuales se describen a continuación, en primera instancia se presenta la secuencia para la resistencia a la compresión y luego la secuencia para establecer el módulo de rotura.

1.8.1 Resistencia a la Compresión (ASTM C 39)

Se aplica para determinar la resistencia que presentan probetas cilíndricas de concreto ante la compresión, mediante la aplicación de carga axial, con la velocidad preestablecida hasta lograrse la falla. Está limitado al concreto que presenta un peso unitario superior a 50lb/ ft³ (800kg/m³). Algunos de los lineamientos usados como base por la ASTM son la C31/ C31M, que se refiere a las prácticas para hacer y curar probetas de concreto; C192/C192M, explica la práctica para elaborar y curar hormigón.

La norma describe las particularidades del equipo a usarse, detalla las particularidades del espécimen a ensayar, establece el procedimiento para realizar la prueba, expone la forma como se aplican los cálculos y la manera como deben ser reportados los resultados alcanzados, dedicando especial atención a la precisión y la tendencia que marcan los resultados.

En cuanto a la máquina de prueba establece que debe ser capaz de proporcionar las tasas de carga prescritas; que en un principio la maquina debe ser calibrada bajo condiciones específicas y que debe responder a los parámetros de diseño que se plantean, lo cual permite puntualizar en la precisión que se confiere al

funcionamiento correcto de la máquina, por ello el rango propuesto de uso de la maquina no debe exceder el 61,0% de la carga indicada. La exactitud, debe ser verificada con cinco cargas de ensayo y con cuatro incrementos iguales en orden ascendente, en cuyo caso no debe exceder “más de un tercio la diferencia entre las cargas de ensayo máxima y mínima”.

El cálculo del error (E) y del porcentaje de error (Ep), se realiza con las ecuaciones:

$$E = A - B$$

$$Ep = 100\left(\frac{A - B}{B}\right)$$

Donde:

A= carga indicada por la máquina que está siendo verificada, kN (lbf)

B= carga aplicada, determinada por el elemento de calibración, kN (lbf).

En cuanto al diámetro máximo dado por las estipulaciones presentes en la norma ASTM C 39 en la tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones sobre el diámetro de la cara de carga

Diameter of Test Specimens, Maximum Diameter of Bearing Face,	
in. [mm]	in. [mm]
2 [50]	4 [105]
3 [75]	5 [130]
4 [100]	6.5 [165]
6 [150]	10 [255]
8 [200]	11 [280]

NOTE 5—Square bearing faces are permissible, provided the diameter of the largest possible inscribed circle does not exceed the above diameter.

Fuente: (ASTM, 2004, pág. 3)

Lo cual fue traducido literalmente en Colombia por el INVIAS como se presenta en la figura 6.

Figura 6. Especificaciones sobre el diámetro de la cara de carga INVIAS

DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO, mm (pg.)	DIÁMETRO MÁXIMO DE LA CARA DE CARGA, mm (pg.)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (5)
100 (4)	165 (6.5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Fuente: (INVIAS, 2012, págs. E 410-5)

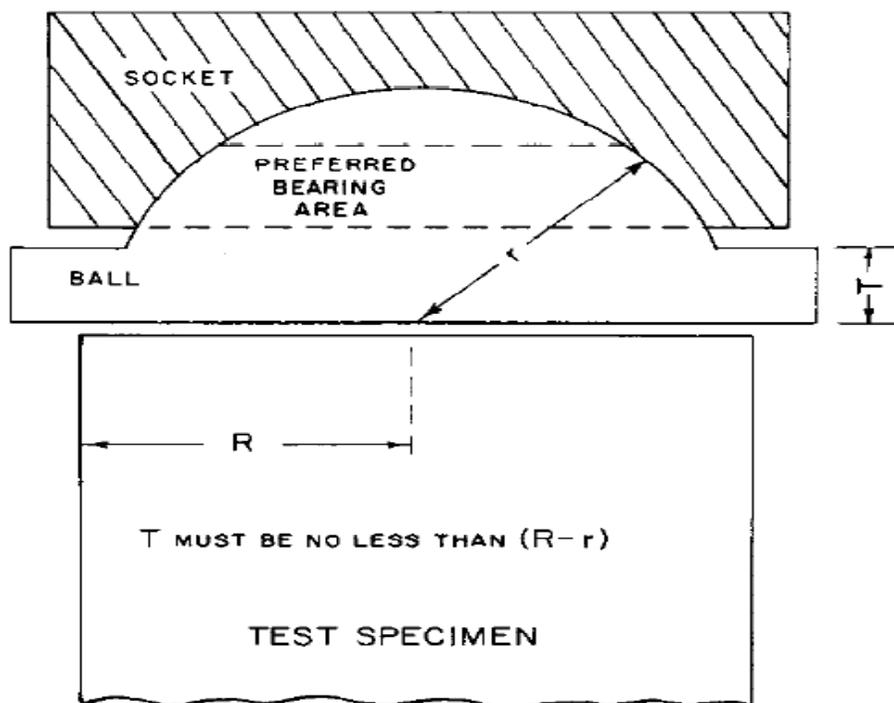
El proceso siguiente es seguir las indicaciones de carga y verificar el diámetro de las probetas; la norma establece que el centro de la esfera debe coincidir con la superficie de la cara del rodamiento, esto dentro de una tolerancia del 65% del radio de la esfera; y que el diámetro de la esfera será al menos 75% del diámetro de la muestra a analizar; por ello la bola y el casquillo deben diseñarse de manera que el acero en el área de contacto no se deforme de manera permanente cuando se cargado a la capacidad de la máquina de prueba.

Por lo expuesto se espera que el área de contacto presente la forma de un anillo, esta será denominada área de rodamiento, como se muestra en la figura 7.

En cuanto a la indicación de carga: se especifica que el dial deberá “ser legible dentro del 1% de la carga indicada en cualquier nivel de carga dado dentro del rango

de carga”(ASTM, 2004); asimismo la velocidad de carga debe ser aplicada de forma continua sin impacto.

Figura 7. Esquema de un típico rodamiento esférico



Fuente: (ASTM, 2004, pág. 3)

Para el caso de los especímenes establece que las muestras no deben presentar entre si una diferencia en diámetros mayor al 2%, por ello debe fijarse especial atención en el estado de los moldes; antes de realizar las pruebas: “ninguno de los extremos de los especímenes deberá salir de la perpendicularidad al eje en más de 0.5° ”, equivalente a 1 mm en 100mm (ASTM, 2004, pág. 4).

En el procedimiento la prueba de muestrascuradas en húmedo, se realizará inmediatamente después de la eliminación del almacenamiento húmedo. Por lo cual deberán probarse en la condición húmeda; en este caso los especímenes de prueba para una edad de prueba determinada se romperán dentro de las tolerancias permisibles prescritas como se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Edad y plazo de ensayo

Test Age Permissible Tolerance	
24 h	± 0.5 h or 2.1 %
3 days	2 h or 2.8 %
7 days	6 h or 3.6 %
28 days	20 h or 3.0 %
90 days	2 days 2.2 %

Fuente: (ASTM, 2004, pág. 4)

Los cálculos se realizan por dividiendo de la carga máxima transportada por la muestra durante la prueba por el área promedio de la sección transversal determinada y expresa el resultado a los 10 psi más cercanos [0.1 MPa]. En los casos en los que la relación entre la longitud y el diámetro de la muestra es 1.75 o menos, corresponde corregir el resultado obtenido en 8.1 multiplicando por el factor de corrección apropiado que se muestra en la tabla 5. Los factores de corrección dependen de varias condiciones tales como humedad, nivel de resistencia y módulo elástico.

Tabla 5. Determinación de los factores de corrección para L/D

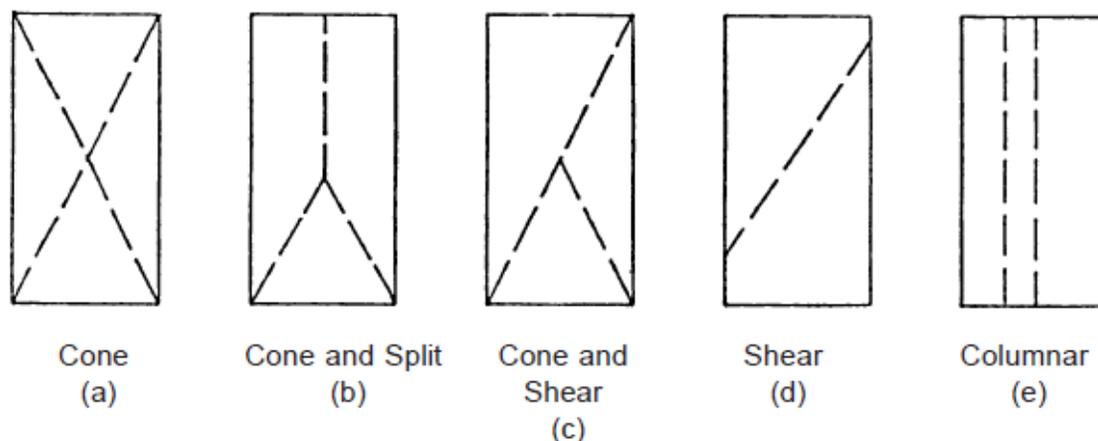
L / D:	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor:	0.98	0.96	0.93	0.87

Fuente: (ASTM, 2004, pág. 4)

Las descripciones respecto la forma de presentar los resultados alcanzados se tendrán en cuenta en el capítulo de resultados dentro de la presente investigación; en el cual se presenta el número de identificación del espécimen, datos de diámetro y longitud en milímetros, área de sección transversal en milímetros cuadrados, carga máxima, en kilo-newton, resistencia a la compresión calculada a los 10 psi más cercanos, tipo de fractura, si no es el cono usual como aparece en la figura 8;

también debe incluirse en el reporte los defectos presentes en los especímenes o en las tapas y la edad presente en cada espécimen.

Figura 8. Tipos de fracturas



Fuente: (ASTM, 2004, pág. 5)

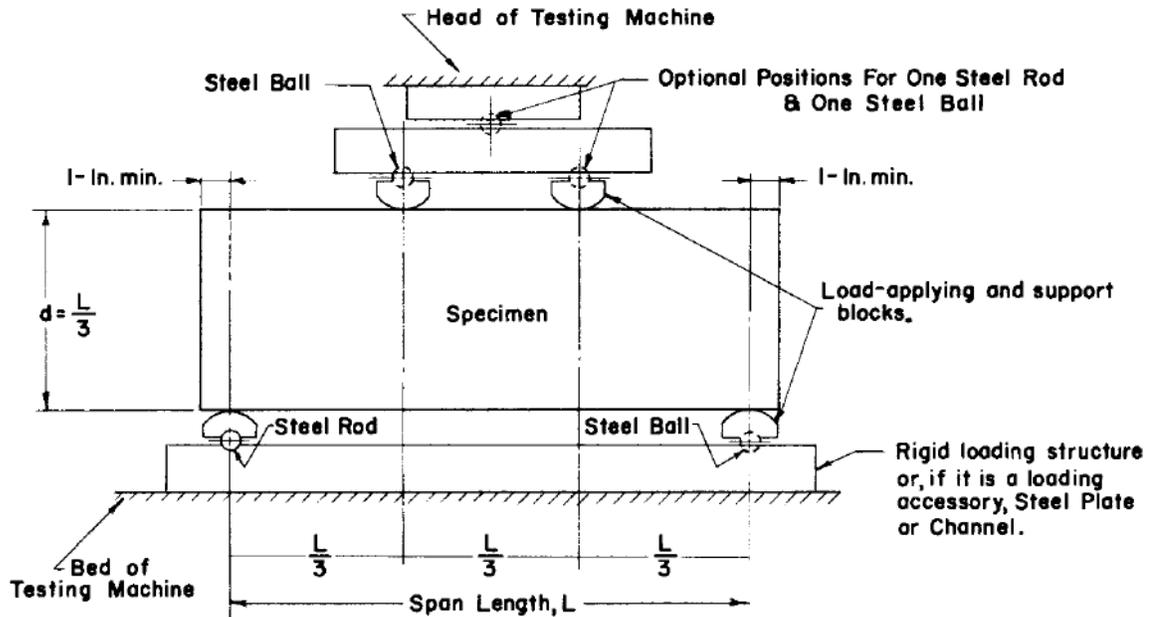
1.8.2 Módulo de Rotura (ASTM C 78)

Se aplica para determinar la resistencia que presentan vigas de concreto ante la flexión, mediante la aplicación de carga de tercer punto. Los valores estándar se registran en pulgadas-libras; algunos documentos referentes son los estandarizados dentro de la norma ASTM: C 31 elaboración y curado de probetas de concreto y C 192 elaboración y curado de muestras de prueba de hormigón en el Laboratorio; los resultados de esta prueba describen el módulo de ruptura (ASTM, 2002).

Los resultados obtenidos con este método de prueba pueden usarse en la determinación del cumplimiento ante las especificaciones, de igual forma sirven como base para determinar la dosificación en las mezclas, “se usa para probar el concreto en la construcción de losas y pavimentos” (ASTM, 2002, pág. 1); el equipo de prueba debe ser calibrado antes de la prueba de acuerdo a los lineamientos

señalados en la norma ASTM E 4, el método de carga de puntose dirige a obtener pruebas de flexión de concreto, para lo cual se usan bloques de rodamiento que avalarán que las fuerzas aplicadas alhaz sea perpendicular a la cara de la muestra, lo cual se representa en la figura 9.

Figura 9. Esquema de un equipo adecuado para el módulo de rotura



Fuente: (ASTM, 2002, pág. 2)

En el procedimiento debe centrarse el sistema de carga, el cual va en relación con la fuerza que se aplica, el bloque se pone en contacto con la superficie de la muestra en el tercer punto con lo cual se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga final que se ha estimado; la carga de la muestra debe realizarse de forma continua y sin golpes, la carga deberá aplicarse a una tasa constante hasta llegar al modo de ruptura, para lo cual la tasa de carga se obtiene al aplicar la siguiente formula:

$$r = \frac{S b d^2}{L}$$

Donde:

r= velocidad de carga, N/min (lbf/min)

S= rata de incremento en el esfuerzo máximo sobre la cara en tensión, MPa/min
(lbf/pg²/min)

b= ancho promedio del espécimen, mm (pg).

d= altura promedio del espécimen, mm (pg)

L= longitud de la luz libre del espécimen, mm (pg).

Una vez realizados los ensayos se realizan mediciones que determinan las diferentes dimensiones logradas en el módulo de rotura; los cálculos se aplican dependiendo de la zona de la ruptura, para el caso de fractura ubicada dentro del tercio medio de la luz libre, la formula aplicable es:

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

Donde:

R= módulo de rotura, MPa (lb/pg).

P= carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf)

L= luz libre entre apoyos, mm (pg).

b= ancho promedio del espécimen en el sitio de fractura, mm (pg)

- la norma reza: “cuando la fractura ocurre en la zona de tensión por fuera del tercio medio de la luz libre, a una distancia no mayor de 5% de la luz libre, el módulo de rotura se calcula” con la siguiente formula:

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

Donde:

a= distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medida sobre la superficie de tensión de la viga, mm (pg).

Ahora bien, el reporte de resultados se presenta teniendo en cuenta la siguiente información respecto de los especímenes: número de identificación, ancho promedio al más cercano (1mm), profundidad promedio al más cercano (1mm), longitud del tramo en mm, carga máxima aplicada en libras de fuerza, módulo de ruptura calculado al más cercano 0,05 MPa, historial de curado y condición aparente de humedad del espécimen para el momento de la prueba y edad de las muestras.

1.9 ALCANCE DE LA OPCIÓN DE GRADO

El alcance de la investigación propuesta se dirige a presentar la relación existente ante los ensayos de la resistencia a compresión (ASTM C 39) y módulo de rotura (ASTM C 78) del concreto hidráulico usando adición de fibras metálicas, dichos resultados servirán para determinar la funcionalidad de la mezcla optima obtenida ante las necesidades de elaboración de concreto como pavimento y estructural; con lo cual se llega a establecer el aseguramiento de la calidad de este tipo de concreto, para ser usado en vías y en estructuras, que se construyan en el municipio de Armenia en el departamento del Quindío.

1.10 DELIMITACIÓN

La delimitación del estudio está dada por la ubicación geográfica y física donde se adelantarán los ensayos, se considera el tiempo que se emplea en el desarrollo del

proyecto lo cual cubre el aspecto cronológico y se determinan las delimitaciones conceptuales sobre las que se suscribe el tema de investigación.

1.10.1 Geográfica

Todo el proceso investigativo se desarrolla el municipio de Armenia en el departamento de Quindío; los materiales del rio Barragán de la Planta Arisol; las pruebas de Resistencia a compresión y Módulo de rotura se desarrollan en el Laboratorio Para Ensayos De Construcciones Civiles LECIV S.A.S., ubicado en la calle 5 # 15-09 Armenia.

1.10.2 Conceptual

La delimitación conceptual está dada por la consideración dentro del marco teórico de los aspectos que resultan determinantes en cuanto a:

- Resistencia a la compresión del concreto hidráulico
- Módulo de rotura del concreto hidráulico
- Fibras metálicas
- Concreto hidráulico

2. CAPITULO 2. RESULTADOS

Este segmento de resultados inicia con la selección del método para guiar el diseño empleado en la elaboración de la mezcla; posterior a ello se presenta el proceso de elaboración y curado de las probetas tanto cilíndricas como las vigas, seguido a esto se realizan las pruebas y se presentan los resultados obtenidos.

2.1 Método usado para el diseño de la mezcla

La elaboración de la mezcla siguió parámetros establecidos como el “Método de la Road Note Laboratory (RNL)”(Gómez & Sánchez, 1997), de tal forma que en el caso de la granulometría la mezcla se llevó a la optimización aplicando la gradación de Fuller y Thompson, aplicando la fórmula:

$$p = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

En donde:

p = porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura d.

D = tamaño máximo de agregados

Cabe aclarar que esta granulometría puede percibirse áspera por su bajo contenido de arena, por lo cual ensayos realizados a partir de la formulación presentada por Fuller y Thompson, buscaron un rango para la granulometría, debido a que con ellos se obtuvieron mezclas manejables, sin presencia exagerada de

espacios libres, no costosas y con posibilidades de lograr mayores resistencias a la compresión; estos ensayos permiten lograr la especificación para la granulometría según el tamaño máximo, optimizada con la mezcla de arena y de concreto, por lo cual el resultado es la presencia de las propiedades de manejabilidad y también de resistencia ante la cantidad de cemento que se estipula (Gómez & Sánchez, 1997).

Es decir que en estos casos lo indicado es realizar los cálculos aplicando el “Método de la Road Note Laboratory (RNL)” N°4. Las indicaciones seguidas para la aplicación de este método son:

Dibujar un cuadrado, teniendo en cuenta el plano cartesiano, donde se contenga diez divisiones en (y) ordenadas, así como diez divisiones en (x) abscisas; los ejes de las coordenadas dentro del plano se enumeran desde abajo (0) hacia arriba (100), en la parte superior va de izquierda (0) a derecha (100) y en la parte inferior va de derecha (0) a izquierda (100), se verifica si la numeración correcta cuando al sumar de arriba abajo el resultado siempre es cien (Gómez & Sánchez, 1997).

Elaborado el cuadro, entonces, corresponde al eje superior señalar los porcentajes de arena, mientras el inferior denota los porcentajes de grava; así el eje de (y) que marca el 100% de la arena “se coloca la granulometría de la arena” y por consiguiente en el eje (x) del 100% de la grava se coloca la granulometría de la grava (Gómez & Sánchez, 1997).

Ahora corresponde unir con líneas rectas los puntos de cada tamiz para las dos granulometrías (arena y grava), la resultante son líneas que están inclinadas y denotan así los porcentajes correspondientes a los agregados que pueden ser usados para la elaboración de la mezcla.

La aplicación de la granulometría de Fuller y Thompson siguió lo plasmado en la tabla 6.

Tabla 6. Granulometría para tamaños máximos (Fuller y Thompson)

TAMIZ		D = 50 mm (2")	D=38 mm (1½")	D= 25 mm (1")	D=19 mm (¾")*	D= 12.5 mm (½")
pulg.	—					
2	50.8	100				
1½	38.1	87	100			
1	25.4	71	82	100		
¾	19.0	61	71	87	100	
½	12.5	50	58	71	82	100
3/8	9.5	43	50	61	71	87
No.4	4.8	31	35	43	50	62
No. 8	2.4	22	25	31	35	44
No. 16	1.2	15	18	22	25	31
No. 30	0.600	11	12	15	18	22
No. 50	0.300	8	9	11	13	16
No. 100	0.150	5	6	8	9	10

Fuente: (Gómez & Sánchez, 1997, pág. 201)

2.2 Desarrollo del método de diseño

Para el diseño de la mezcla se realizaron los procesos que se presentan en los registros de combinación de los dos agregados lo cual se verifica en la figura 10, Gradación de arena en la figura 11, gradación de grava ¾" en la figura 12, asimismo se presenta el registro del desarrollo de mezclas en obra en la figura 13, y el registro de la dosificación realizada para 1 bulto de cemento en la figura 14.

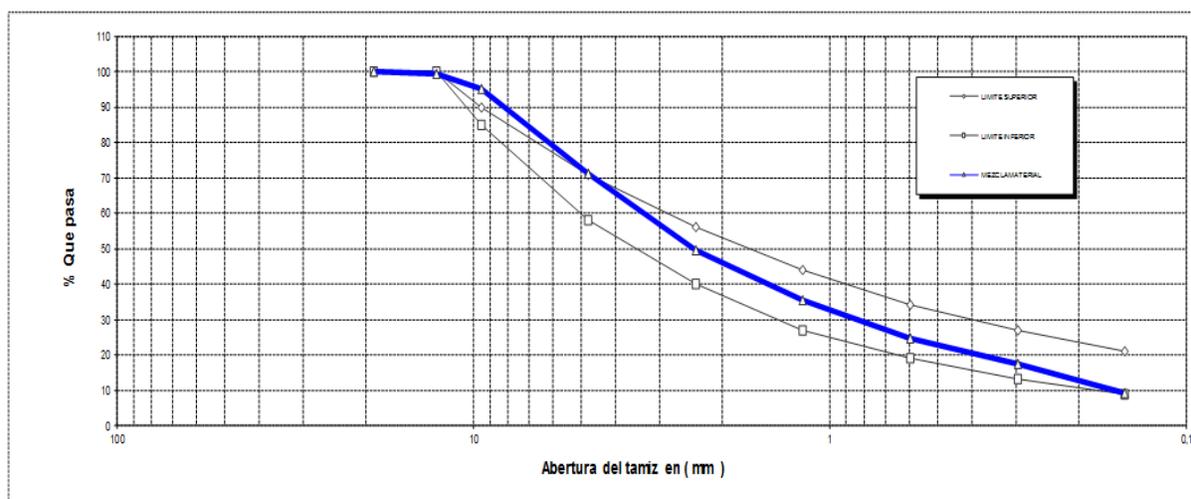
Figura 10. Combinación de los dos agregados

REGISTRO DE ENSAYO

COMBINACION DE AGREGADOS PARA DETERMINAR PROPORCIONES EN PESO

INFORME No	001/2019	SOLICITO	ANDREA AVELLANEDA
ORDEN DE TRABAJO No	2027-2039	Atn.	0
PROYECTO	TRABAJO DE GRADO ANDREA AVELLANEDA	FECHA RECIBIDO	2 de enero de 2019
TIPO DE MATERIAL	GRAVAS TRITURADAS Y ARENAS MANUFACTURADAS	FECHA ENSAYO	10 de enero de 2019
PROCEDENCIA	PLANTA ARISOL		

TAMIZ		GRADACIONES PROMEDIO				PROPORCION DE AGREGADOS				RESULTADO	GRADACION	
		PORCENTAJE QUE PASA				50	0	50	0		TMN (mm)	4
PULGADAS	MILIMETROS	ARENA 1	ARENA 2	GRAVA 1	GRAVA 2	ARENA 1	ARENA 2	GRAVA 1	GRAVA 2	100%	MIN	MAX
3/4"	19,1	100,0	0,0	100,0	0,0	50,0	0,0	50,0	0,0	100,0	100	100
1/2"	12,7	100,0	0,0	98,9	0,0	50,0	0,0	49,4	0,0	99,4	100	100
3/8"	9,51	99,9	0,0	90,4	0,0	50,0	0,0	45,2	0,0	95,2	85	90
4	4,76	99,0	0,0	43,3	0,0	49,5	0,0	21,6	0,0	71,2	58	71
8	2,38	82,5	0,0	16,4	0,0	41,3	0,0	8,2	0,0	49,4	40	56
16	1,19	62,1	0,0	9,1	0,0	31,1	0,0	4,5	0,0	35,6	27	44
30	0,595	43,0	0,0	6,5	0,0	21,5	0,0	3,2	0,0	24,7	19	34
50	0,297	29,3	0,0	5,6	0,0	14,7	0,0	2,8	0,0	17,5	13	27
100	0,149	13,6	0,0	4,7	0,0	6,8	0,0	2,3	0,0	9,1	9	21



OBSERVACIONES

Ing. Henry Rincón
Director Técnico

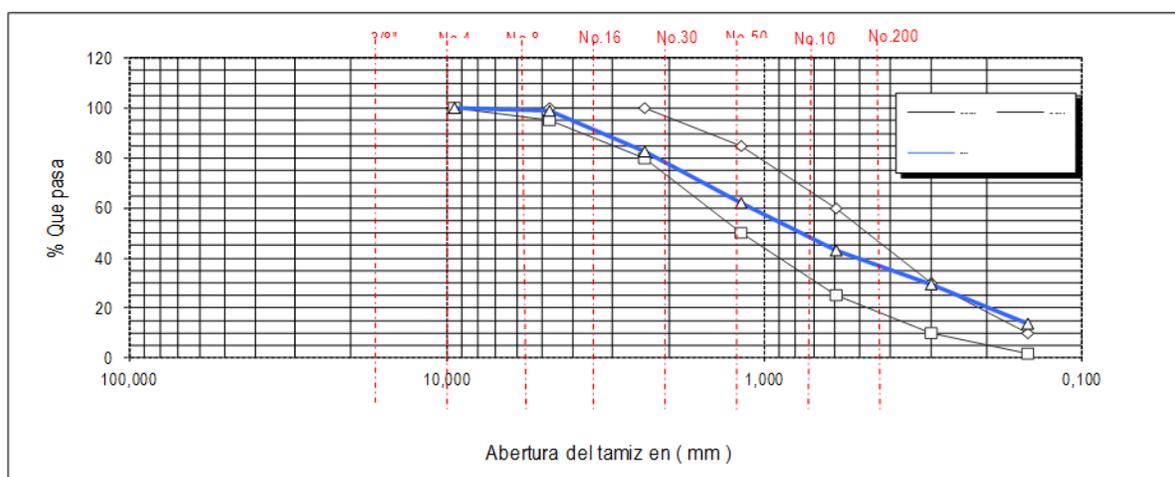
Fuente: Autora

Figura 11. Gradación Arena

REGISTRO DE ENSAYO
TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS (AGREGADOS O ARIDOS) N.T.C. 77
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS I.N.V E - 213

INFORME No	001/2019	SOLICITO	ANDREA AVELLANEDA
ORDEN DE TRABAJO No	2027-2039	Atn.	0
PROYECTO	TRABAJO DE GRADO ANDREA AVELLANEDA	FECHA RECIBIDO	02-ene-19
TIPO DE MATERIAL	ARENAS PARA CONCRETO	FECHA ENSAYO	10-ene-19
PROCEDENCIA	PLANTA ARISOL		

TAMIZ No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA ESPECIFICACION NTC-174		
					Límite Inferior	Promedio	Límite Superior
3/8"	9,51	3,4	0,1	99,9	100	100	100
4	4,76	35,7	0,9	99,0	95	85	100
8	2,38	673,1	16,5	82,5	80	80	100
16	1,19	831,7	20,4	62,1	50	70	85
30	0,595	780,2	19,2	43,0	25	60	60
50	0,297	555,8	13,6	29,3	10	50	30
100	0,149	639,4	15,7	13,6	2	6	10
200	0,074	196,9	4,8	8,8	0	0	0
FONDO		356,8	8,8	0,0			



Peso Material Sucio y seco (g)	4074,0
Peso Material Limpio y seco (g)	3718,0
Pasa Tamiz No. 200 (%)	8,8

OBSEVACIONES	CUMPLE	
	SI	NO
Los datos y resultados contenidos en este informe, corresponden a la muestra ensayada según la procedencia	X	

Ing. Henry Rincón
 Director Técnico

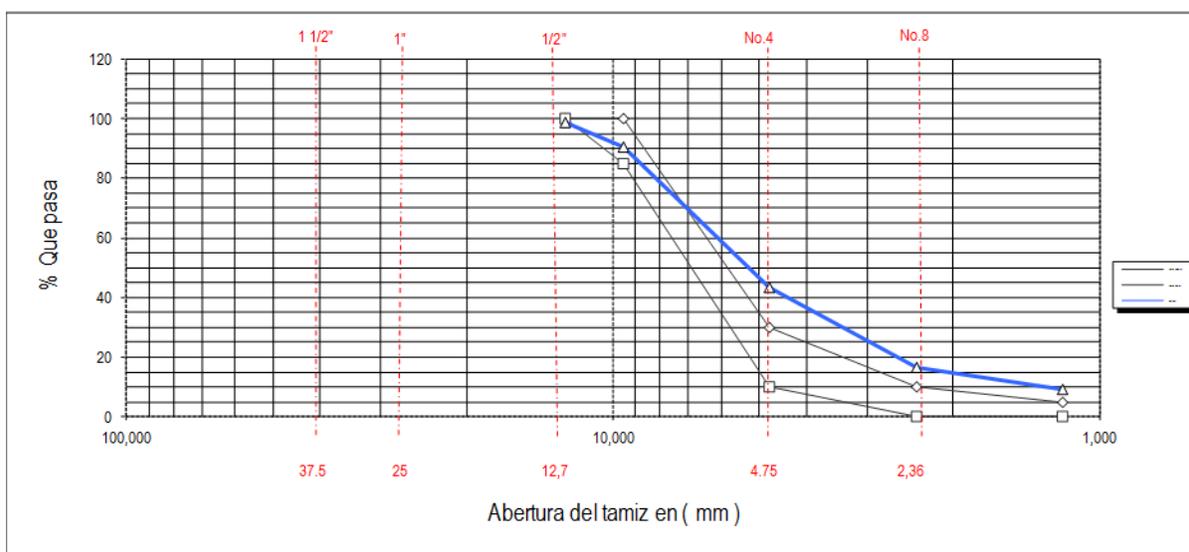
Fuente: Autora

Figura 12. Gradación de grava 3/4"

REGISTRO DE ENSAYO
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS NTC-77

INFORME No	001/2019	SOLICITO	ANDREA AVELLANEDA
ORDEN DE TRABAJO No	2027-2039	Atn.	0
PROYECTO	TRABAJO DE GRADO ANDREA AVELLANEDA	FECHA RECIBIDO	enero 2, 2019
TIPO DE MATERIAL	(TRITURADO) GRAVAS PARA CONCRETO	FECHA ENSAYO	enero 10, 2019
PROCEDENCIA	PLANTA ARISOL		

TAMIZ No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA		
						ESPECIFICACION NTC 174 TABLA 2 AGREGADO No. 8	Limite Inferior	Promedio
1/2"	12,500	45,4	1,1	1,1	98,9	100	100,0	100
3/8"	9,510	346,8	8,5	9,6	90,4	85	92,5	100
4	4,760	1925,8	47,1	56,7	43,3	10	20,0	30
8	2,380	1099,2	26,9	83,6	16,4	0	5,0	10
16	1,190	298,7	7,3	90,9	9,1	0	2,5	5
FONDO		370,1	9,1	100,0	0,0			



Peso Material Sucio y seco (g)	4086,0
Peso Material Limpio y seco (g)	3918,0
Pasa Tamiz No. 200 (%)	4,11

Tamaño Máximo del Material	1"-25,4 mm
Tamaño Máximo nominal	1"-25,4 mm

OBSERVACIONES	CUMPLE	
	SI	NO
Los datos y resultados contenidos en este informe, corresponden a la muestra ensayada según la referencia		X

Ing. Henry Rincón
 Director Técnico

Fuente: Autora

Figura 13. Desarrollo de mezclas en obra

DESARROLLO DE MEZCLAS EN OBRA			
TRABAJO DE GRADO ANDREA AVELLANEDA			
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN kg/cm ²	f'c	280	
ADITIVO	NO		
RELACION A/C	0,50		

Cemento Utilizado	ARGOS USO GENERAL	
Asentamiento	152	mm
Tamaño máximo	12,7	mm
Contenido de Aire	2	%
Agua de Mezclado	195	kg
CARACTERISTICAS DEL CEMENTO		
Peso Especifico del Cemento	3100	kg/m ³
Masa Unitaria del Cemento	1,042	gr/cm ³
CARACTERISTICAS DEL AGREGADO GRUESO		
Peso especifico aparente 23/23 °C del Agregado Grueso	2,925	
Absorción del Agregado Grueso	1,76	%
Masa Unitaria Suelta del Agregado Grueso	1,654	gr/cm ³
Masa Unitaria Compacta del Agregado Grueso	1,767	gr/cm ³
CARACTERISTICAS DEL AGREGADO FINO		
Peso especifico aparente 23/23 °C del Agregado Fino	2,851	
Absorción del Agregado Fino	1,5	%
Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino	1,637	gr/cm ³
Masa Unitaria Compacta del Agregado Fino	1,745	gr/cm ³
PROPORCIONES DE AGREGADOS		
Proporción de Agregado Fino	50	%
Proporción de Agregado Grueso	50	%

MATERIA PRIMA NECESARIA POR M ³		
RENDIMIENTO DE CEMENTO	0,37	m ³
RENDIMIENTO DE AGREGADO FINO	0,58	m ³
RENDIMIENTO DE AGREGADO GRUESO	0,58	m ³
AGUA DE MEZCLADO	0,20	m ³

DOSIFICACION POR PESO		
CONTENIDO DE CEMENTO	390	kg
PESO SECO DEL AGREGADO GRUESO	952	kg
PESO SECO DEL AGREGADO FINO	952	kg
PESO DE AGUA	195	kg
DENSIDAD POR METRO CUBICO	2489	kg/m ³

DOSIFICACION POR VOLUMEN		
CEMENTO	1	un
AGREGADO FINO	1,6	un
AGREGADO GRUESO	1,5	un
AGUA DE MEZCLADO	0,50	un

VOLUMENES ESPECIFICOS POR M ³		
VOLUMEN DE CEMENTO	126	litr
VOLUMEN DE AGREGADO FINO	334	litr
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO	325	litr
VOLUMEN DE AGUA	195	litr
VOLUMEN TOTAL	1000	litr

Fuente: Autora

Figura 14. Dosificación para un bulto de cemento

DOSIFICACION DEPENDIENDO DE LA HUMEDAD DE LOS MATERIALES

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN kg/cm ²	=	280
RELACION AC	=	0,50

DISEÑO TRABAJO DE GRADO ANDREA AVELLANEDA

DISEÑO SECO	VOLUMEN (m ³)	PESO (kg)	M.U.S (kg/m ³)	% ABSORCION
CEMENTO	1,0	390	1042	
AGREGADO FINO	1,6	952	1637	1,47
AGREGADO GRUESO	1,5	952	1654	1,76
AGUA	0,5	195	1000	

%w ARENA	4	5	6	7
%w GRAVA	0,5	0,5	0,5	0,5
CEMENTO (SACO 42,5Kg)	1	1	1	1
ARENA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
GRAVA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
AGUA (valdes de 6 ltr)	3,3	3,2	3,0	2,8

%w ARENA	4	5	6	7
%w GRAVA	1	1	1	1
CEMENTO (SACO 42,5Kg)	1	1	1	1
ARENA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
GRAVA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
AGUA (valdes de 6 ltr)	3,2	3,1	2,9	2,7

%w ARENA	4	5	6	7
%w GRAVA	1,5	1,5	1,5	1,5
CEMENTO (SACO 42,5Kg)	1	1	1	1
ARENA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
GRAVA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
AGUA (valdes de 6 ltr)	3,2	3,0	2,8	2,6

%w ARENA	4	5	6	7
%w GRAVA	2	2	2	2
CEMENTO (SACO 42,5Kg)	1	1	1	1
ARENA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
GRAVA (valdes de 6 ltr)	11	11	11	11
AGUA (valdes de 6 ltr)	3,1	2,9	2,7	2,5

Fuente: Autora

De acuerdo a las normas referentes: **ASTM C 39**, Resistencia a la Compresión de cilindros de concreto y **ASTM C 78**, Resistencia a la Flexión del concreto; los ensayos fueron realizados en probetas cilíndricas de concreto para la primera y para la segunda en probetas de viga; en donde “La resistencia a compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen” y en donde las probetas de viga “simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre, los datos obtenidos se presentan como “módulo de rotura”.

Los resultados que aquí se exponen permiten establecer si se cumplen los lineamientos en torno a los procesos de “dosificación, de mezcla y de colocación del concreto”; además aplica en la evaluación de losas de concreto tipo estructural, así como en “el diseño y control de la construcción de pavimentos rígidos”.

2.3 Elaboración y Curado de las probetas de concreto

Se elaboraron 2 clases de mezclas de concreto segmentadas por los tipos de ensayo a realizar, compresión y flexión y por los componentes, sin fibras metálicas y con fibras metálicas. Guiados por los siguientes diseños de mezcla elaborados según la Norma Sismo Resistente NSR-10.

Concreto sin fibra metálica para ensayo de compresión

F'c: 4000 PSI (Resistencia obtenida con los ensayos)

Relación Agua-Cemento: 0.50

Asentamiento: 4 ±1”

Concreto sin fibra metálica para ensayo de flexión

MR: 42 (Resistencia obtenida con los ensayos)

Relación Agua-Cemento: 0.50

Asentamiento: 4 ± 1 "

Concreto con fibra metálica para ensayo de compresión

F'c: 5000 PSI (Resistencia obtenida con los ensayos)

Relación Agua-Cemento: 0.50

Asentamiento: 4 ± 1 "

Concreto con fibra de metálica para ensayo de flexión

MR: 45 (Resistencia obtenida con los ensayos)

Relación Agua-Cemento: 0.50

Asentamiento: 4 ± 1 "

El siguiente procedimiento describe la secuencia de actividades con las cuales se elaboró y curó cada tipo, es decir, las probetas tipo cilindro y tipo viga llevando a cabo un estricto control de la dosificación de materiales, condiciones ambientales y operaciones de moldeo reglamentadas por la norma ASTM C192 (Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio), lo que garantiza que el empleo de estas probetas sirva para generar información idónea para los fines de la investigación.

2.3.1 Preparación de Equipos utilizados

Se verifica el correcto estado y funcionamiento de los siguientes equipos:

- Moldes cilíndricos de 4" de diámetro
- Moldes prismáticos
- Varilla de compactación
- Mazo de goma
- Cono para medir asentamiento
- Flexómetro
- Balanzas
- Horno desecador
- Mezcladora de concreto
- Recipientes plásticos impermeables
- Equipo misceláneo
- Cubierta plástica

2.3.2 Preparación de los materiales

En este apartado se especifican las cantidades de materiales que se preparan para el moldeo de las diferentes probetas para ensayo de compresión y flexión.

2.3.2.1 Cilindros de concreto sin fibra metálica

Cemento: Se pesan en la balanza 6.6 kilogramos de cemento portland colocándolo en un recipiente plástico impermeable y perfectamente seco, como se observa en la ilustración 1.

Ilustración 1. Pesaje del cemento



Fuente: Autora

Agregado grueso: se tiene que el agregado presenta una absorción de 1.74%, se determina la humedad de la grava siendo 2.8%, se realizan los cálculos para determinar el peso húmedo necesario y luego se pesan en la balanza 16.3 kilogramos de grava colocándola en un recipiente plástico seco, lo cual se evidencia en la ilustración 2.

Ilustración 2. Pesaje del agregado grueso



Fuente: Autora

Agregado fino: se tiene que el agregado presenta una absorción de 2.9%, se determina la humedad de la arena siendo 4.0%, se realizan los cálculos para determinar el peso húmedo necesario y luego se pesan en la balanza 16.1 kilogramos de arena colocándola en un recipiente plástico seco, tal como se presenta en la ilustración 3.

Ilustración 3. Pesaje del agregado fino



Fuente: Autora

Agua: se realizan los cálculos para determinar la cantidad de agua presente en los agregados y se sustrae de la cantidad total necesaria para el mezclado, se pesan en la balanza 3.0 kilogramos de agua en un recipiente plástico.

2.3.2.2 Vigas de concreto sin fibra

Se toman las muestras en vigas usando la misma mezcla que se hizo con los cilindros.

2.3.2.3 Cilindros de concreto con fibra metálica

Se adiciona a la mezcla anterior las fibras de cemento en un porcentaje del 3% de la cantidad de cemento usada, lo cual se presenta en la ilustración 4.

Ilustración 4. Porcentaje de fibras metálicas adicionadas a los cilindros



Fuente: Autora

2.3.2.4 Vigas de concreto con fibras metálicas

La mezcla es igual a la usada para los cilindros con fibras, como se evidencia en la ilustración 5.

Ilustración 5. Porcentaje de fibras metálicas adicionadas a las vigas



Fuente: Autora

2.3.3 Mezcla de concreto

En este apartado se describe el orden del proceso de colocación de materiales en la maquina mezcladora diferenciado por la colocación de la fibra metálica en la mezcla, el mezclador se presenta en la ilustración 6.

Ilustración 6. Mezclador



Fuente: Autora

2.3.3.1 Mezcla de concreto sin fibra metálica

- Se coloca en el tambor de la mezcladora detenida la grava con aproximadamente $\frac{3}{4}$ del agua de mezclado
- Se coloca en funcionamiento la mezcladora y se cuentan 10 revoluciones
- Se coloca el cemento en el tambor
- Se coloca la arena en el tambor
- Se coloca el agua restante
- Se mezcla durante tres minutos
- Se detiene la mezcladora durante 3 minutos y se cubre la boca del tambor para evitar la evaporación
- Se vuelve a mezclar durante 2 minutos

2.3.3.2 Mezcla de concreto con fibra metálica

- Se coloca en el tambor de la mezcladora detenida la grava con aproximadamente $\frac{3}{4}$ del agua de mezclado
- Se coloca en funcionamiento la mezcladora y se cuentan 10 revoluciones
- Se coloca el cemento en el tambor
- Se coloca la arena en el tambor
- Se coloca el agua restante

- Se coloca la fibra metálica
- Se mezcla durante tres minutos
- Se detiene la mezcladora durante 3 minutos y se cubre la boca del tambor para evitar la evaporación
- Se vuelve a mezclar durante 2 minutos

2.3.4 Determinación del asentamiento

Inmediatamente después de terminar el mezclado se lleva a cabo la medición del asentamiento del concreto, lo cual se presenta en la ilustración 7, llevando a cabo los siguientes pasos:

- Se humedece el cono y se coloca en la cubierta plástica
- Se sujeta el molde firmemente con los pies
- Empleando el cucharón se llena el cono en tres capas uniformes en volumen
- Cada capa se apisona con 25 chuzones con la varilla compactadora distribuidos uniformemente
- Se aplanar la capa superior contra el borde del cono poniendo la varilla horizontalmente
- Se retiran los residuos de concreto que cayeron alrededor de la base del cono evitando interferencia en el proceso de asentamiento
- Se retira el molde levantando cuidadosamente el cono en dirección vertical
- Se determina el asentamiento midiendo con el flexómetro la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original desplazado.
- El asentamiento se debe medir en pulgadas con aproximación a $\frac{1}{4}$ ".

Ilustración 7. Determinación del asentamiento



Fuente: Autora

Obteniendo los siguientes resultados:

2.3.4.1 Asentamiento de la mezcla para cilindros de concreto sin fibra metálica

Resultado obtenido de asentamiento = 4"

Relación agua-cemento del diseño de mezcla 0,50

Asentamiento del diseño de mezcla: 4 ± 1 "

Se determina que la mezcla cumple con los parámetros de diseño

2.3.4.2 Asentamiento de la mezcla para vigas de concreto sin fibra metálica

Resultado obtenido de asentamiento = 4"

Relación agua-cemento del diseño de mezcla 0,50

Asentamiento del diseño de mezcla: 4 ± 1 "

Se determina que la mezcla cumple con los parámetros de diseño

La dosificación por M3 para la mezcla sin fibras metálicas se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Dosificación por M3 para mezcla sin fibras metálicas R a/c =0.50

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento	390 Kg
Agregado Grueso ½"	952 Kg
Arena Fina	952 Kg
Agua	195 Kg

Fuente: Autora

2.3.4.3 Asentamiento de la mezcla para cilindros de concreto con fibra metálica

Resultado obtenido de asentamiento = 4"

Relación agua-cemento del diseño de mezcla 0,50

Asentamiento del diseño de mezcla: 4 ± 1 "

Se determina que la mezcla cumple con los parámetros de diseño

2.3.4.4 Asentamiento de la mezcla para vigas de concreto con fibra metálica

Resultado obtenido de asentamiento = 4"

Relación agua-cemento del diseño de mezcla 0,50

Asentamiento del diseño de mezcla: 4 ± 1 "

Se determina que la mezcla cumple con los parámetros de diseño

La dosificación por M3 para la mezcla con fibras metálicas se presenta en la tabla 8.

Tabla 8. Dosificación por M3 para mezcla con fibras metálicas R a/c =0.50

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento	400 Kg
Agregado Grueso ½"	966 Kg
Arena Fina	966 Kg
Agua	200 Kg
Fibras Metálicas	12Kg

Fuente: Autora

2.3.5 Elaboración de probetas

En este apartado se describe la operación de moldeo llevada a cabo para cada tipo de mezcla y de probeta; después de realizar la medida del asentamiento del concreto la mezcla se vierte en la cubierta plástica no absorbente y limpia evitando pérdidas y contaminación, se recupera todo el mortero que este adherido a las paredes del tambor de la mezcladora con el fin de no alterar la dosificación, con palustre o pala se procede a re-mezclar hasta alcanzar la uniformidad de la mezcla y posteriormente se empieza a colocar la mezcla en los moldes del siguiente modo:

2.3.5.1 Moldeo de probetas para cilindros de concreto sin fibra metálica

- Usando un cucharón se colocan dos (2) capas de concreto en el molde de cilindro moviendo el cucharón al rededor del borde superior a medida que se descarga la mezcla para asegurar la ubicación simétrica y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde
- Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla de 3/8" dando veinticinco (25) chuzones por capa, uniformemente distribuidos en la sección transversal
- La capa inicial se apisona llevando la varilla hasta el fondo del molde
- La segunda capa se apisona traspasando la varilla 25mm (1") en la primera capa para garantizar la integración de estas

- Luego de apisonar cada capa se dan 15 golpes ligeramente en los lados del molde con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas
- Se remueve el exceso de concreto que sobresalga de los bordes del molde y se empareja con la varilla apisonadora
- Con un palustre se retira el concreto excedente en los bordes, la secuencia se presenta en la ilustración 8.

Ilustración 8. Moldeo de probetas cilíndricas sin fibra metálica



Fuente: Autora

2.3.5.2 Moldeo de probetas para vigas de concreto sin fibra metálica

- Usando un cucharon se colocan dos (2) capas de concreto en el molde rectangular moviendo el cucharon al rededor del borde superior a medida que se descarga la mezcla para asegurar la distribución uniforme y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde
- Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla de 5/8" dando cincuenta y cuatro (54) chuzones por capa, uniformemente distribuidos en la sección transversal
- La capa inicial se apisona llevando la varilla hasta el fondo del molde

- La segunda capa se apisona traspasando la varilla 25mm (1") en la primera capa para garantizar la integración de estas
- Luego de apisonar cada capa se dan 15 golpes ligeramente en los lados del molde con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas
- Se remueve el exceso de concreto que sobresalga de los bordes del molde y se empareja con la varilla apisonadora
- Con un palustre se retira el concreto excedente en los bordes; la secuencia se presenta en la ilustración 9.

Ilustración 9. Moldeo de probetas para vigas sin fibra metálica



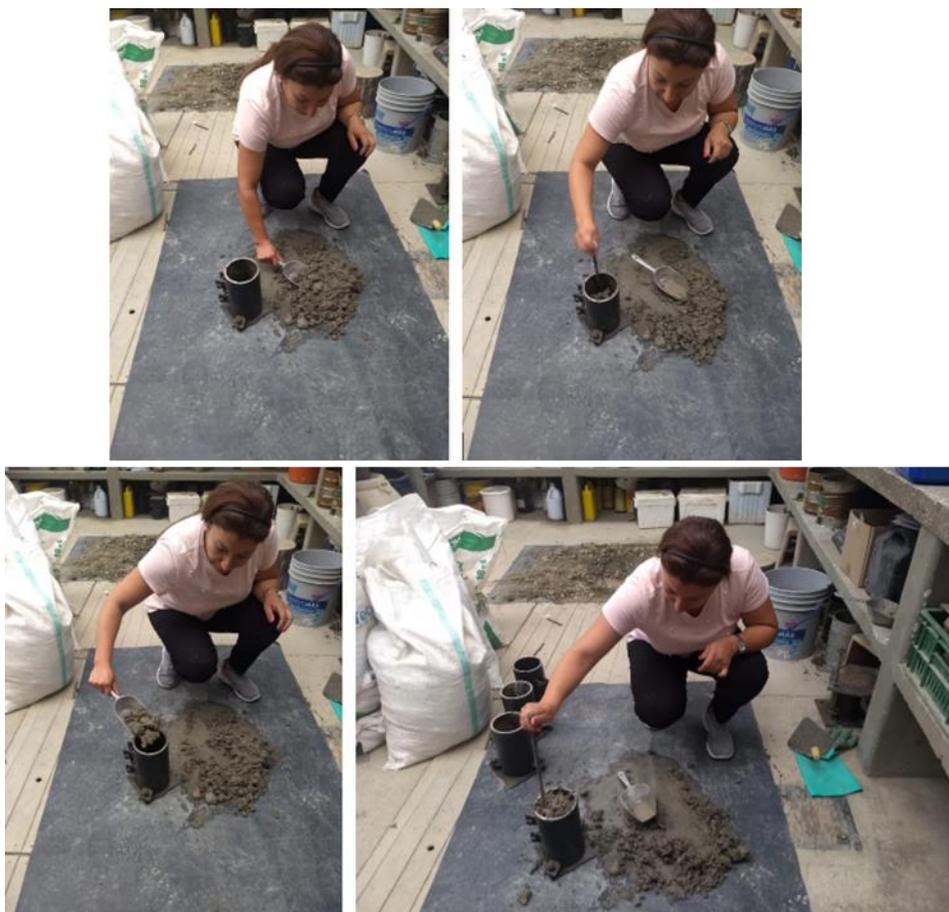
Fuente: Autora

2.3.5.3 Moldeo de probetas para cilindros de concreto con fibra metálica

- Usando un cucharón se colocan dos (2) capas de concreto en el molde de cilindro moviendo el cucharón al rededor del borde superior a medida que se descarga la mezcla para asegurar la ubicación simétrica y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde
- Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla de 3/8" dando veinticinco (25) chuzones por capa, uniformemente distribuidos en la sección transversal
- La capa inicial se apisona llevando la varilla hasta el fondo del molde
- La segunda capa se apisona traspasando la varilla 25mm (1") en la primera capa para garantizar la integración de estas
- Luego de apisonar cada capa se dan 15 golpes ligeramente en los lados del molde con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas

- Se remueve el exceso de concreto que sobresalga de los bordes del molde y se empareja con la varilla apisonadora cuidando que no queden expuestas las fibras de acero
- Con un palustre se retira el concreto excedente en los bordes; la secuencia se presenta en la ilustración 10.

Ilustración 10. Moldeo de probetas cilíndricas con adición de fibras metálicas



Fuente: Autora

2.3.5.4 Moldeo de probetas para vigas de concreto con fibra metálica

- Usando un cucharón se colocan dos (2) capas de concreto en el molde rectangular moviendo el cucharón al rededor del borde superior a medida que se descarga la mezcla para asegurar la distribución uniforme y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde
- Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla de 5/8" dando cincuenta y cuatro (54) chuzones por capa, uniformemente distribuidos en la sección transversal
- La capa inicial se apisona llevando la varilla hasta el fondo del molde

- La segunda capa se apisona traspasando la varilla 25mm (1") en la primera capa para garantizar la integración de estas
- Luego de apisonar cada capa se dan 15 golpes ligeramente en los lados del molde con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas
- Se remueve el exceso de concreto que sobresalga de los bordes del molde y se empareja con la varilla apisonadora cuidando que no queden expuestas las fibras de acero
- Con un palustre se retira el concreto excedente en los bordes; la secuencia se presenta en la ilustración 11.
-

Ilustración 11. Moldeo de probetas para vigas de concreto con fibra metálica



Fuente: Autora

Extracción de probetas: Las probetas fueron extraídas de los moldes a las 24 horas de la elaboración

Curado de probetas: Después de la extracción de las probetas de los moldes fueron colocadas en el tanque de curado en donde toda su superficie estuvo en contacto continuo con agua a través de la inmersión y hasta el momento de prepararse para el ensayo correspondiente.

2.4 Resistencia a la Compresión de cilindros de concreto (ASTM C 39)

El proceso de ensayo consistió en aplicar una compresión de carga axial a las probetas cilíndricas, usando la velocidad establecida en el rango prescrito, esto hasta obtener la falla; el cálculo se estableció dividiendo el máximo de carga alcanzada durante el proceso, por el área de sección transversal de la probeta.

Los datos pertinentes se presentan a continuación, mostrando inicialmente los valores correspondientes a los especímenes sin la adición de fibras metálicas y acto seguido se presentan los resultados obtenidos en probetas con la adición de las fibras metálicas.

2.4.1 Resultados de la resistencia a la compresión sin adición

En primera instancia se realizó la verificación de la calibración de la máquina, el procedimiento seguido para realizar las pruebas de compresión a las probetas curadas en estado húmedo, esto una vez han salido del almacenamiento húmedo; las muestras para la prueba respondieron a los parámetros de edad y tolerancias admisibles de tiempo, las cuales se establecen en la norma como aparece en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de edad y tolerancias

Test Age	Permissible Tolerance
24 h	+/- 0.5 h or 2.1 %
3 days	2 h or 2.8 %
7 days	6 h or 3.6 %
28 days	20 h or 3.0 %
90 days	2 days 2.2 %

Fuente: (ASTM, 2004, pág. 4)

Para el informe el Número de identificación asignado a las probetas consto de un componente de ID marcado: SIN FIBRAS o CON FIBRAS y los números de 1 a 9, en

cada caso; el diámetro y la longitud de los especímenes permaneció dentro del rango estipulado por la norma (de 1.8 D a 2.2 D, en mm); la base de datos se completó con los reseñas referentes de: fecha fundida, edad y la fecha en la que se alcanzó dicha edad, L(cm), b(cm), d(cm), carga (kN), Mpa, Kg/cm², P.S.I., MR esperada y porcentaje obtenido, lo cual se relaciona en el anexo 1.

En el ensayo como tal, se aplicó la carga hasta lograr la falla de los especímenes que no contenían adición de fibras metálicas, el registro de la carga máxima transportada en las probetas en el proceso generó los resultados que se presentan en la tabla 10; en la cual se observan los efectos obtenidos para 7 y 28 días de edad, los datos presentados en las siguientes columnas permiten visualizar la relación encontrada en lo obtenido de acuerdo a lo esperado, para las edades valoradas; la información se complementa con los datos presentados en las dos últimas columnas donde se registran los valores de la desviación la cual se encontró a los 7 días en 24,89, mientras a los 28 días puntuó en 20,36.

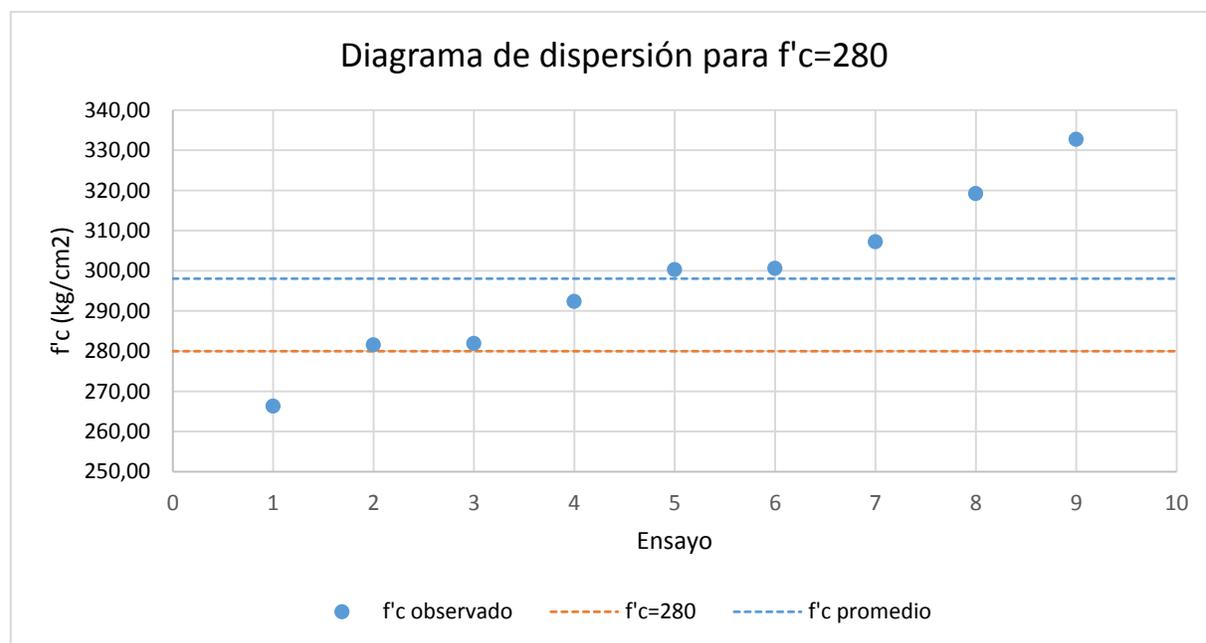
Tabla 10. Pruebas sin adición de fibras metálicas

Resultados obtenidos de f _c		Relación f _c obtenido vs esperado		Desviación	
7	28	7	28	7	28
189,86	266,33	0,68	0,95	555,73	1004,38
193,43	281,55	0,69	1,01	400,25	271,43
196,03	281,92	0,70	1,01	302,79	259,47
196,41	292,36	0,70	1,04	289,99	32,05
198,07	300,29	0,71	1,07	236,21	5,13
209,66	300,62	0,75	1,07	14,24	6,75
243,34	307,20	0,87	1,10	894,43	84,26
246,65	319,22	0,88	1,14	1103,06	449,07
247,47	332,73	0,88	1,19	1158,27	1204,29
213,44	298,02	0,76	1,06	Suma	
				4954,97	3316,84
				Desviación	
				24,89	20,36
Edad	Promedio				
0	298,02				
10	298,02				

Fuente: Autora

De acuerdo a los valores obtenidos en donde se considera $f'c=280$, como se observa en el diagrama de dispersión presente en la figura 15, en donde los valores de f_c (Kg/cm^2) van de 250,00 a 340,00 para las edades entre 0 a 10 días, relacionando la f_c observada sobre el promedio.

Figura 15. Diagrama de dispersión para la resistencia a la compresión



Fuente: Autora

2.4.2 Resultados de la resistencia a la compresión con la adición de fibras metálicas

El registro completo de los datos se presenta en el anexo 2. De forma similar al proceso seguido para las probetas sin adición, el ensayo partió de aplicar la carga hasta lograr la falla de los especímenes que contenían adición de fibras metálicas, el registro de la carga máxima transportada en las probetas en el proceso generó los resultados que se presentan en la tabla 11; en la cual se observan los efectos obtenidos para 7 y 28 días de edad, los datos presentados en las siguientes

columnas permiten visualizar la relación encontrada en lo obtenido de acuerdo a lo esperado, para las edades valoradas.

La información se complementa con los datos presentados en las dos últimas columnas donde se registran los valores de la desviación, la cual se encontró a los 7 días en 33,03, mientras a los 28 días puntuó en 38,29.

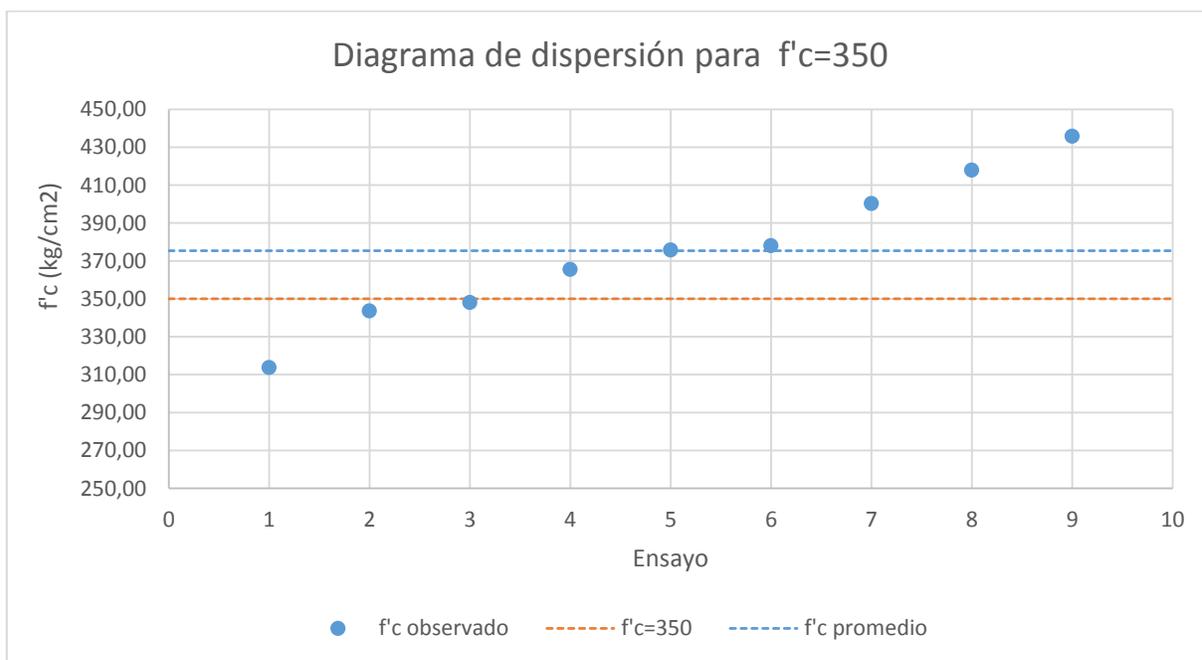
Tabla 11. Pruebas con adición de fibras metálicas

Resultados obtenidos de f_c		Relación f_c obtenido vs esperado		Desviación	
7	28	7	28	7	28
238,19	313,72	0,68	0,90	1913,74	3799,93
241,47	343,53	0,69	0,98	1637,23	1013,06
256,49	348,05	0,73	0,99	647,53	746,03
267,70	365,46	0,76	1,04	202,49	97,98
282,35	375,70	0,81	1,07	0,18	0,12
299,04	377,99	0,85	1,08	292,79	6,92
306,00	400,20	0,87	1,14	579,29	617,00
317,27	417,88	0,91	1,19	1248,55	1808,06
328,88	435,71	0,94	1,24	2204,56	3642,54
281,93	375,36	0,81	1,07	Suma	
				8726,36	11731,65
Edad	Promedio			Desviación	
0	375,36			33,03	38,29
10	375,36				

Fuente: Autora

De acuerdo a los valores obtenidos en donde se considera $f_c=350$, como se observa en el diagrama de dispersión presente en la figura 16, en donde los valores de f_c (Kg/cm^2) van de 250,00 a 450,00 para las edades entre 0 a 10 días, relacionando la f_c observada sobre el promedio.

Figura 16. Diagrama de dispersión con la adición de fibras



Fuente: Autora

2.5 Resistencia a la Flexión del concreto (ASTM C 78)

El proceso de ensayo consistió en la determinación de la resistencia a la flexión de probetas, preparadas y curadas, elaboradas con hormigón a manera de viga simple, aplicando una carga en el tercio central; teniendo en cuenta los valores declarados en la norma, el reporte se realiza a partir de los cálculos aplicados y presentados como módulo de ruptura. Esta información puede ser usada como base para la dosificación en la construcción de losas y pavimentos.

Los datos pertinentes se presentan a continuación, mostrando inicialmente los valores correspondientes a los especímenes sin la adición de fibras metálicas y acto seguido se presentan los resultados obtenidos en probetas con la adición de las fibras metálicas.

2.5.1 Resultados del módulo de ruptura sin la adición de fibras

Una vez extraídos los especímenes del almacenamiento húmedo se iniciaron los ensayos, esto debido a que al secarse la muestra el valor obtenido en el módulo de ruptura se disminuye; las probetas se usaron de acuerdo a lo que estipula la norma en cuanto a manipulación y colocación para ser ensayadas, centrando el sistema de carga en relación a la fuerza aplicada; en los terceros puntos se aplicó una carga entre el 3% y el 6% de la carga máxima estimada; una vez realizadas las pruebas se registraron los datos pertinentes que guían el cálculo del módulo de ruptura, determinando el ancho promedio y el promedio de profundidad; el registro de las medidas sin adición de las fibras se presenta en el anexo 3.

Cabe aclarar que no se presentaron fracturas en la superficie de tensión por fuera del tercio medio de la longitud del tramo en más del 5%, por lo cual no se realizaron descartes en el reporte de resultados.

En el ensayo, se aplicó la carga hasta lograr la falla de los especímenes que no contenían adición de fibras metálicas, el registro de la carga máxima transportada en las probetas en el proceso generó los resultados que se presentan en la tabla 12; en la cual se observan los efectos obtenidos para 7 y 28 días de edad, los datos presentados en las siguientes columnas permiten visualizar la relación encontrada en lo obtenido de acuerdo a lo esperado, para las edades valoradas; la información se complementa con los datos presentados en las dos últimas columnas donde se registran los valores de la desviación la cual se encontró a los 7 días en 7,27, mientras a los 28 días puntuó en 6,08.

Tabla 12. Módulo de ruptura sin la adición de fibras

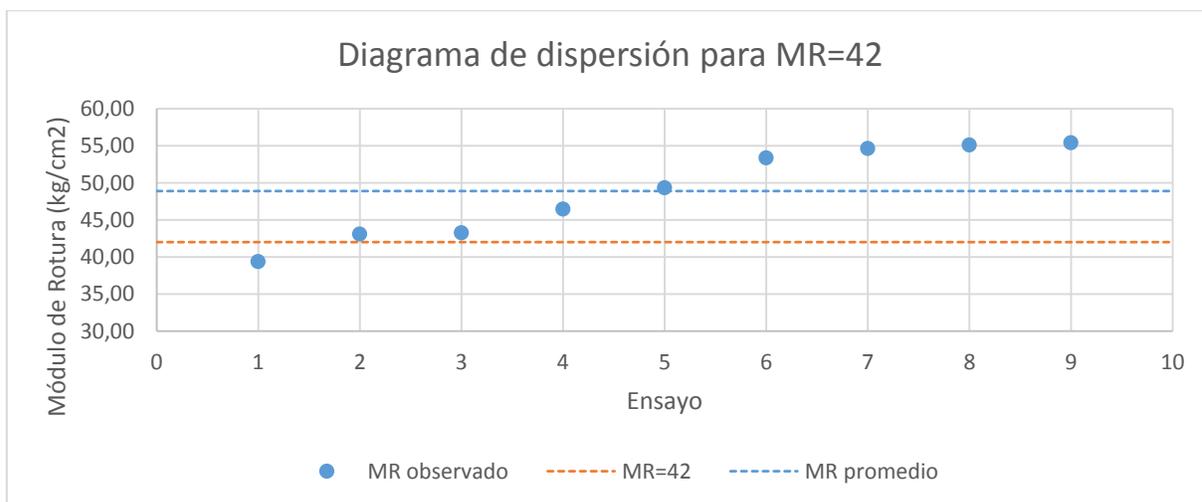
Ensayo	Resultados obtenidos de MR		Relación MR obtenido vs esperado		Desviación	
	7	28	7	28	7	28
1	30,07	39,38	0,72	0,94	117,06	90,42
2	34,04	43,08	0,81	1,03	46,91	33,71
3	34,78	43,26	0,83	1,03	37,35	31,70
4	37,44	46,46	0,89	1,11	11,87	5,90
5	43,20	49,33	1,03	1,17	5,35	0,20
6	43,94	53,36	1,05	1,27	9,30	20,01
7	44,25	54,62	1,05	1,30	11,31	32,84
8	47,68	55,10	1,14	1,31	46,11	38,63
9	52,60	55,40	1,25	1,32	137,13	42,38
Promedio	40,89	48,89	0,97	1,16	Suma	
					422,39	295,78
					Desviación	
					7,27	6,08

Edad	Promedio
0	48,89
10	48,89

Fuente: Autora

De acuerdo a los valores obtenidos en donde se considera MR=42, como se observa en el diagrama de dispersión presente en la figura 17, en donde los valores del módulo de ruptura (Kg/cm^2) van de 30,00 a 60,00 para las edades entre 0 a 10 días, relacionando el MR observado sobre el promedio.

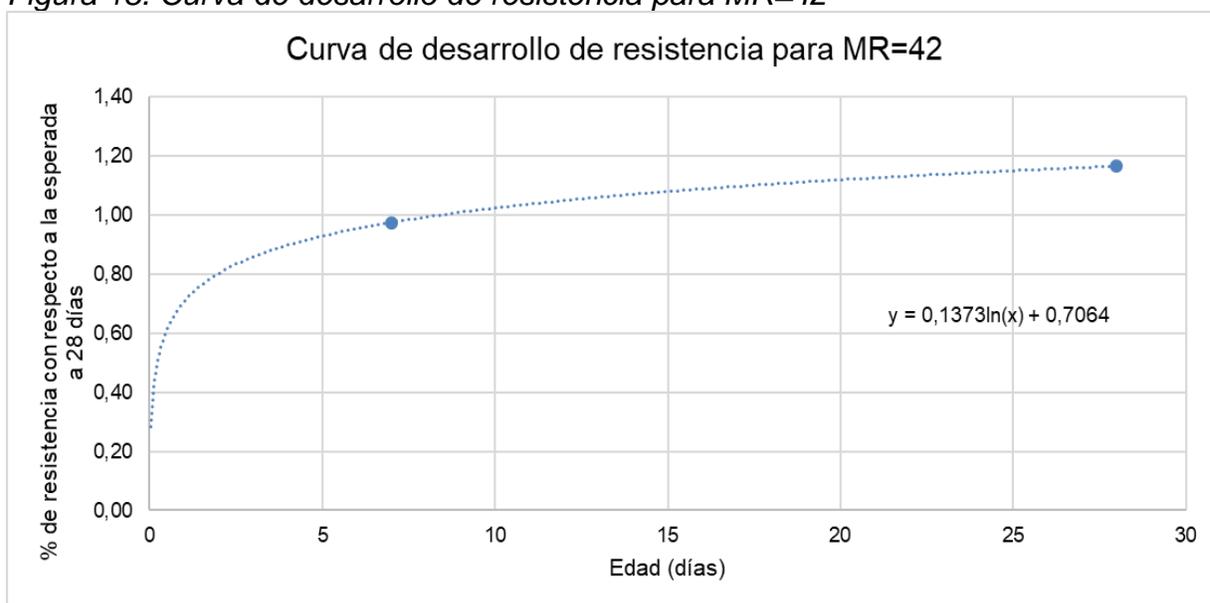
Figura 17. Diagrama de dispersión para MR sin adición de fibras



Fuente: Autora

En relación con lo expuesto, al graficar el porcentaje de resistencia con respecto a la esperada a los 28 días, se establece la curva que se presenta en la figura 18.

Figura 18. Curva de desarrollo de resistencia para MR=42



Fuente: Autora

2.5.2 Resultados del módulo de ruptura con la adición de fibras

El registro completo de los datos se presenta en el anexo 4. De forma similar al proceso seguido para las probetas sin adición, el ensayo partió de aplicar la carga hasta lograr la falla de los especímenes que contenían adición de fibras metálicas, el registro de la carga máxima hasta generar el módulo de ruptura en las probetas, el proceso generó los resultados que se presentan en la tabla 13; en la cual se observan los efectos obtenidos para 7 y 28 días de edad, los datos presentados en las siguientes columnas permiten visualizar la relación encontrada en lo obtenido de acuerdo a lo esperado, para las edades valoradas.

La información se complementa con los datos presentados en las dos últimas columnas donde se registran los valores de la desviación, la cual se encontró a los 7 días en 3,63, mientras a los 28 días puntuó en 6,59.

Tabla 13. Módulo de ruptura con adición de fibras

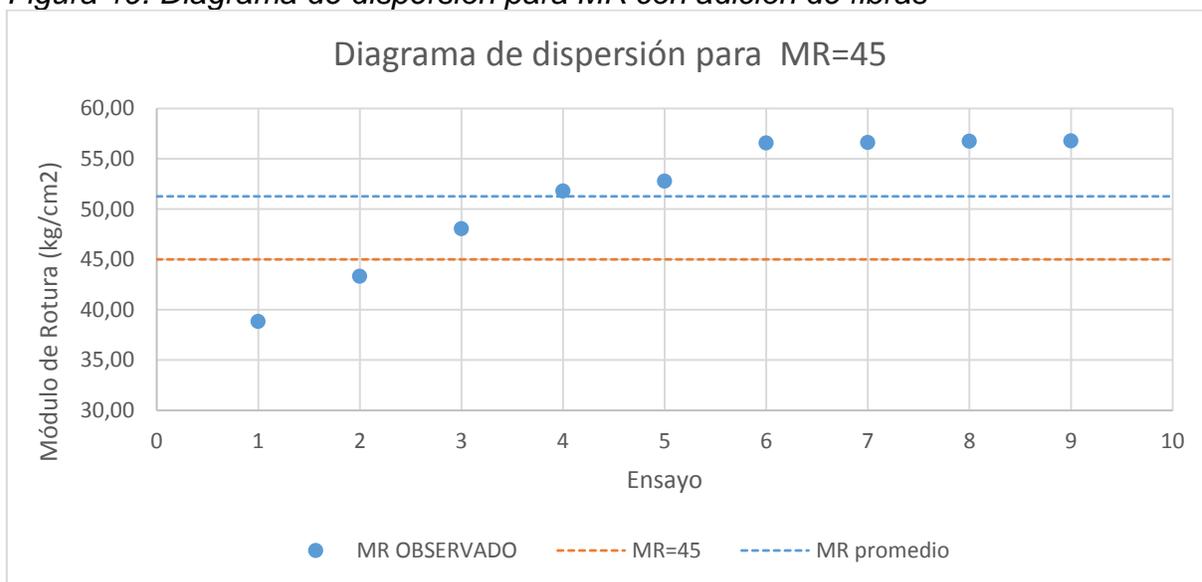
Ensayo	Resultados obtenidos de MR		Relación MR obtenido vs esperado		Desviación	
	7	28	7	28	7	28
1	34,85	38,82	0,77	0,86	23,78	154,87
2	36,56	43,32	0,81	0,96	10,03	63,23
3	36,81	48,05	0,82	1,07	8,52	10,37
4	38,82	51,78	0,86	1,15	0,82	0,26
5	39,92	52,77	0,89	1,17	0,04	2,26
6	40,92	56,56	0,91	1,26	1,41	27,98
7	40,94	56,61	0,91	1,26	1,47	28,53
8	41,49	56,73	0,92	1,26	3,11	29,88
9	47,24	56,77	1,05	1,26	56,40	30,27
Promedio	39,73	51,27	0,88	1,14	Suma	
					105,56	347,65
					Desviación	
					3,63	6,59

Edad	Promedio
0	51,27
10	51,27

Fuente: Autora

De acuerdo a los valores obtenidos en donde se considera MR=45, como se observa en el diagrama de dispersión presente en la figura 19, en donde los valores del módulo de ruptura (Kg/cm²) van de 30,00 a 60,00 para las edades entre 0 a 10 días, relacionando el MR observado sobre el promedio.

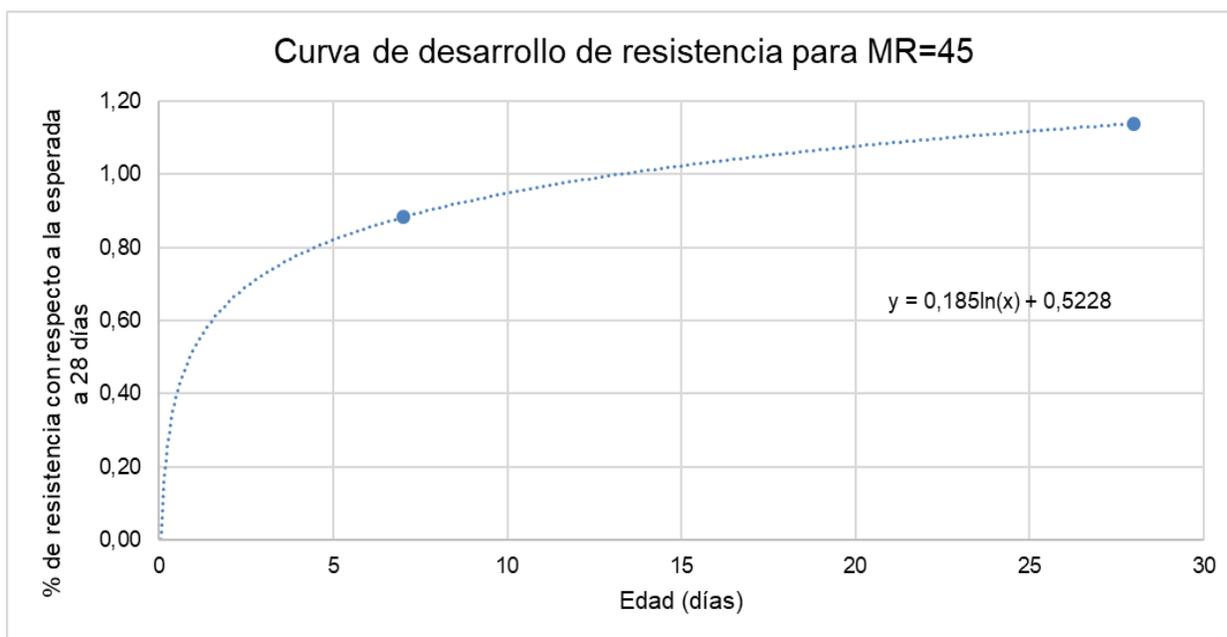
Figura 19. Diagrama de dispersión para MR con adición de fibras



Fuente: Autora

En relación con lo expuesto, al graficar el porcentaje de resistencia con respecto a la esperada a los 28 días, se establece la curva que se presenta en la figura 20.

Figura 20. Curva de desarrollo de resistencia para MR=45



Fuente: Autora

2.6 Tramo de prueba

Dentro del desarrollo del proceso investigativo seguido, se consideró la construcción de un tramo de prueba, ello consintió en adicionar a la mezcla previamente diseñada las fibras metálicas; así pues, esta mezcla con adición se usó en la vía ubicada en el Barrio la Primavera en Calarcá – Quindío.

La construcción del tramo se realizó, de forma normal, siguiendo las especificaciones para este tipo de vías de acuerdo a las normativas nacionales; la información obtenida en este segmento presentó deducciones acordes con lo presentado en esta sección de resultados.

El desarrollo de este tramo se evidencia en la ilustración 12.

Ilustración 12. Tramo de prueba, vía Barrio la Primavera Calarcá-Quindío



Fuente: Autora

2.7 Análisis Estadístico

Teniendo como punto referente lo establecido en la Norma ACI, la cual insta la práctica que debe seguirse con el fin de evaluar los resultados de los

ensayos realizados con concreto, se plasma a continuación el reporte estadístico, lo cual guía la interpretación de los resultados que denotan el adecuado proceso seguido para el diseño y con ello, el cumplimiento de las especificaciones propuestas dentro de este proceso investigativo. La norma, en mención, establece que para el caso de tenerse el dato de menos de 15 ensayos debe recurrirse al uso de lo plasmado en la tabla 14, la cual permite llegar a la resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Tabla 14. Resistencia promedio a la compresión

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: Norma ACI, resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Se realizó la proyección de los resultados obtenidos a los 7 días para obtener cifras hasta llegar a los 28 días, con lo cual se obtiene la cantidad de ensayos suficientes que beneficien el análisis estadístico confiable; de esta manera se presenta la tabla 15 de resistencia a la compresión 280kg/cm², con el análisis para nueve ensayos.

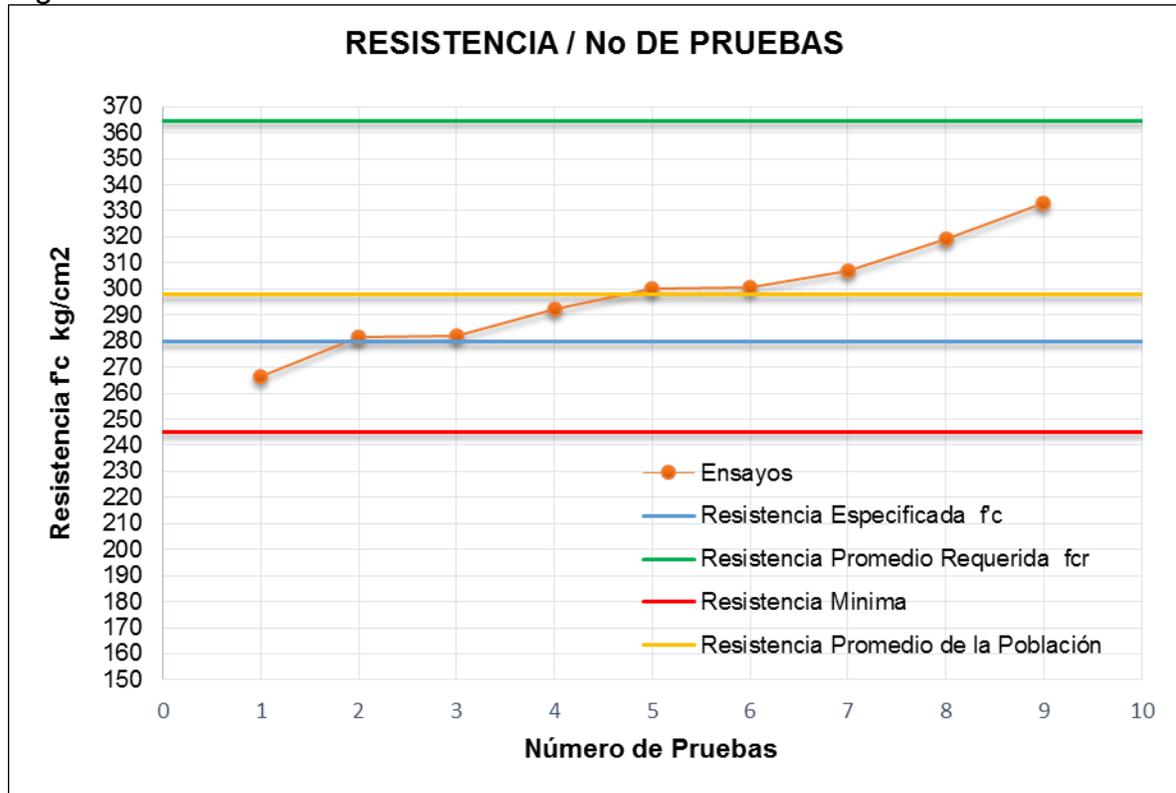
Tabla 15. Resistencia a la compresión 280kg/cm²

Ensayo		Resultados obtenidos de f_c	Relación f_c obtenido vs esperado
1		266,33	0,95
2		281,55	1,01
3		281,92	1,01
4		292,36	1,04
5		300,29	1,07
6		300,62	1,07
7		307,20	1,10
8		319,22	1,14
9		332,73	1,19
Media	\bar{X}	298,02	1,06
Número de Ensayos	N	9,00	
Resistencia Especificada	f'_c	280	
Resistencia Promedio Requerida	f_{CR}	364,6	

Fuente: Autora

Con esta información y de acuerdo al referente plasmado en la tabla 13, se puede realizar la representación de los valores en la figura 21, en la cual se observa en verde la resistencia promedio requerida f_{cr} , en amarillo la resistencia promedio, en rojo la resistencia mínima, en azul la resistencia especificada f'_c , y en naranja se representan los ensayos realizados, los cuales se ubican por debajo de la resistencia promedio requerida.

Figura 21. Resistencia Norma ACI / Resistencia obtenida



Fuente: Autora

CAPITULO 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En relación con los procesos seguidos y de acuerdo a las normas referentes, se presentan a continuación las conclusiones a las que se llegó tras los ensayos en el laboratorio; asimismo se consignan las recomendaciones que guían las aplicaciones del transcurso llevado a cabo y los usos del material logrado.

3. Conclusiones

Teniendo en cuenta el Objetivo General propuesto en el presente trabajo, el cual se dirigió a “Establecer el aumento de la resistencia a la compresión mediante lo indicado en las normas ASTM C 39 y ASTM C 78, del concreto hidráulico con adición de fibras metálicas, que garanticen la óptima construcción de vías y demás estructuras en el municipio de Armenia en el Departamento del Quindío.”; las conclusiones se presentan siguiendo la línea trazada por los objetivos específicos, los cuales en suma llevan al logro del objetivo general.

En relación con los dos primeros objetivos específicos: “Elaborar las probetas cilíndricas de concreto hidráulico con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 39”, y “Elaborar las probetas en viga de concreto hidráulico con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 78”; se cumplió con su logro, lo cual se evidencia en el apartado 2.3 Elaboración y curado de las probetas de concreto; concluyendo así que las probetas al ser elaboradas bajo los lineamientos específicos para ser objeto de

experimentación en el laboratorio, aseguran la calidad y el curado suficiente para tomar como fiables los resultados obtenidos.

Con el abordaje del siguiente objetivo específico: “Determinar la resistencia a la compresión según parámetros de la ASTM C 39”, se fabricaron 9 grupos de muestras de concreto sin adición de fibras metálicas y se obtuvo como resultado promedio 213,4 kg/cm² en el ensayo realizado a los 7 días de edad y 298,0 kg/cm² en el ensayo realizado a los 28 días de edad. Asimismo se fabricaron 9 grupos de muestras de concreto con adición de fibras metálicas y se obtuvo como resultado promedio 281,9 kg/cm² en el ensayo realizado a los 7 días de edad y 375,4 kg/cm² en el ensayo realizado a los 28 días de edad.

En cuanto al reporte sobre el siguiente objetivo específico: “Determinar el módulo de rotura según parámetros de la ASTM C 78”, se fabricaron 9 grupos de muestras de concreto sin adición de fibras metálicas y se obtuvo como resultado promedio 40,9 kg/cm² en el ensayo realizado a los 7 días de edad y 48,9 kg/cm² en el ensayo realizado a los 28 días de edad; de igual forma se fabricaron 9 grupos de muestras de concreto con adición de fibras metálicas y se obtuvo como resultado promedio 39,7 kg/cm² en el ensayo realizado a los 7 días de edad y 51,3 kg/cm² en el ensayo realizado a los 28 días de edad.

Con el anterior proceso realizado fue posible llegar al cumplimiento del último objetivo específico propuesto: “Establecer el análisis estadístico para la diferencia obtenida con los ensayos realizados con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 39 y con y sin adición de fibras metálicas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM C 78”, punto en el que se logran las

siguientes conclusiones: La relación hallada entre la resistencia a la compresión esperada y la resistencia a la compresión promedio hallada de cilindros normales de resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 sin adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 7 días es de 1:0,76; lo que representa el 76% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre la resistencia a la compresión esperada y la resistencia a la compresión promedio hallada de cilindros normales de resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 sin adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 28 días es de 1:1,06; lo que representa el 106% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre la resistencia a la compresión esperada y la resistencia a la compresión promedio hallada de cilindros normales de resistencia a la compresión de 350 kg/cm^2 con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 7 días es de 1:0,80; lo que representa el 80% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre la resistencia a la compresión esperada y la resistencia a la compresión promedio hallada de cilindros normales de resistencia a la compresión de 350 kg/cm^2 con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 28 días es de 1:1; lo que representa el 100% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre el módulo de ruptura esperado y el módulo de ruptura promedio hallado de vigas normales de resistencia a la flexión MR de 42 kg/cm^2 sin

adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 7 días es de 1:0,97; lo que representa el 97% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre el módulo de ruptura esperado y el módulo de ruptura promedio hallado de vigas normales de resistencia a la flexión MR de 42 kg/cm² sin adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 28 días es de 1:1,16; lo que representa el 116% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre el módulo de ruptura esperado y el módulo de ruptura promedio hallado de vigas normales de resistencia a la flexión MR de 45 kg/cm² con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 7 días es de 1:0,88; lo que representa el 88% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

La relación hallada entre el módulo de ruptura esperado y el módulo de ruptura promedio hallado de vigas normales de resistencia a la flexión MR de 45 kg/cm² con adición de fibras metálicas ensayados a la edad de 28 días es de 1:1,14; lo que representa el 114% de la resistencia esperada a los 28 días de edad.

2.2 Recomendaciones

Es importante tener en cuenta, que aunque la adición de fibras metálicas mejora notablemente la resistencia de la mezcla tanto a la flexión como a la compresión, se debe realizar en obra un proceso de instalación adecuado para que estos elementos no queden expuestos a la acción del medio ambiente, ya que se podría correr el metal causando una modificación en las propiedades, lo cual genera una afectación a la totalidad del pavimento, asimismo se disminuye la vida útil del mismo.

Se recomienda, para tramos muy largos de vías estar controlando la caracterización de los materiales, ya que es un aspecto importante en el diseño de la mezcla, de esto depende la optimización de la misma con mayor o menor cantidad de fibras metálicas.

Se recomienda al iniciar un trabajo de pavimentación hacer un tramo de prueba, para contar con la experiencia en la colocación de la mezcla, pues por la presencia de las fibras es un poco dispendioso este proceso.

Por último, es importante considerar la aplicabilidad de procesos investigativos de este tipo, por lo cual se recomienda realizar, como en este caso, la construcción de un tramo de prueba como el efectuado en la vía ubicada en el Barrio la Primavera en Calarcá – Quindío; o la construcción de estructuras que permitan abstraer la aplicabilidad de los resultados hallados.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de la resistencia a la compresión sin adición de fibras

ID	No	Fecha fundida	Edad	Fecha	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Carga (kN)	Mpa	kg/cm ²	P.S.I.	MR Esperada	PORCENTA JE OBTENIDO
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,5	15,4	35,40	4,33	44,19	628,54	42,00	105,21
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,6	15,3	33,60	4,14	42,22	600,53	42,00	100,52
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	28	05/02/2019	45	15,6	15,4	46,80	5,69	58,04	825,62	42,00	138,20
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	28	05/02/2019	45	15,6	15,5	42,60	5,11	52,16	741,86	42,00	124,18
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,9	15,5	32,90	3,88	39,52	562,13	42,00	94,10
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,7	15,4	28,70	3,47	35,37	503,08	42,00	84,21
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	28	06/02/2019	45	15,7	15,6	36,00	4,24	43,24	614,97	42,00	102,94
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	28	06/02/2019	45	15,8	15,5	35,80	4,24	43,28	615,55	42,00	103,04
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,8	15,5	28,30	3,35	34,21	486,59	42,00	81,45
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,6	15,4	28,50	3,47	35,35	502,78	42,00	84,16
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	07/02/2019	45	15,7	15,5	35,60	4,25	43,31	616,01	42,00	103,12
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	07/02/2019	45	15,6	15,5	35,00	4,20	42,85	609,51	42,00	102,03
SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,9	15,5	26,40	3,11	31,71	451,07	42,00	75,51
SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,8	15,4	29,70	3,57	36,37	517,32	42,00	86,60
SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	28	08/02/2019	45	15,8	15,7	38,80	4,48	45,72	650,24	42,00	108,85

SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	28	08/02/2019	45	15,7	15,6	39,30	4,63	47,20	671,34	42,00	112,38
SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,9	15,7	38,50	4,42	45,08	641,16	42,00	107,32
SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,7	15,5	35,70	4,26	43,43	617,74	42,00	103,40
SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	09/02/2019	45	15,6	15,4	42,70	5,19	52,96	753,29	42,00	126,09
SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	09/02/2019	45	15,7	15,1	43,90	5,52	56,27	800,41	42,00	133,98
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,8	15,6	40,30	4,72	48,09	684,07	42,00	114,51
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,8	15,4	38,60	4,64	47,27	672,34	42,00	112,54
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	15,8	15,5	43,90	5,20	53,07	754,82	42,00	126,35
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	16	15,8	46,70	5,26	53,65	763,10	42,00	127,74
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,9	15,5	33,40	3,93	40,12	570,67	42,00	95,53
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,8	15,4	39,00	4,68	47,76	679,31	42,00	113,71
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	15,7	15,6	40,90	4,82	49,12	698,67	42,00	116,95
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	16	15,5	41,50	4,86	49,54	704,64	42,00	117,95
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15,9	15,6	24,90	2,90	29,53	420,00	42,00	70,31
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15,8	15,4	25,00	3,00	30,61	435,45	42,00	72,89
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,7	15,9	34,70	3,93	40,12	570,61	42,00	95,51
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,9	15,7	33,00	3,79	38,64	549,56	42,00	91,99
SIN FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,9	15,7	44,30	5,09	51,87	737,75	42,00	123,49
SIN FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,9	15,5	44,40	5,23	53,33	758,62	42,00	126,99

SIN FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	28	14/02/2019	45	16,1	15,9	48,60	5,37	54,79	779,32	42,00	130,45
SIN FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	28	14/02/2019	45	16,2	15,5	47,50	5,49	56,00	796,55	42,00	133,34

Anexo 2. Datos de la resistencia a la compresión con adición de fibras

ID	N o	Fecha fundida	Eda d	Fecha	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Carg a (kN)	Mp a	kg/c m ²	P.S.I.	MR Esperad a	PORCENTA JE OBTENIDO
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,5	15,3	26,80	3,32	33,89	482,08	45,00	75,32
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,4	15,4	28,50	3,51	35,81	509,31	45,00	79,57
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	28	5/02/2019	45	15,5	15,4	44,40	5,44	55,42	788,33	45,00	123,16
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	28	5/02/2019	45	15,3	15,4	45,90	5,69	58,04	825,62	45,00	128,99
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,3	15,6	30,10	3,64	37,09	527,63	45,00	82,43
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,2	15,4	28,30	3,53	36,02	512,39	45,00	80,05
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	28	6/02/2019	45	15,5	15,6	40,00	4,77	48,66	692,12	45,00	108,13
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	28	6/02/2019	45	15,5	15,4	38,00	4,65	47,43	674,70	45,00	105,41
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,5	15,6	31,20	3,72	37,95	539,85	45,00	84,34
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,4	15,3	32,90	4,11	41,88	595,65	45,00	93,06
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	7/02/2019	45	15,5	15,4	38,30	4,69	47,81	680,03	45,00	106,24
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	7/02/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,4	15,2	29,20	3,69	37,66	535,64	45,00	83,68
CON FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,3	15,2	27,70	3,53	35,96	511,45	45,00	79,90
CON FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	28	8/02/2019	45	15,2	15,2	42,10	5,39	55,01	782,44	45,00	122,24
CON	4	viernes, 11 de enero de	28	8/02/201	45	15,	15,	44,5	5,7	58,53	832,5	45,00	130,07

FIBRAS		2019		9		1	2	0	4		2		
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,6	15,5	41,10	4,93	50,32	715,74	45,00	111,82
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,4	15,5	35,60	4,33	44,15	628,01	45,00	98,12
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	9/02/2019	45	15,5	15,4	40,60	4,97	50,68	720,86	45,00	112,62
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	9/02/2019	45	15,5	15,6	45,10	5,38	54,86	780,36	45,00	121,92
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,5	15,5	34,20	4,13	42,14	599,42	45,00	93,65
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,6	15,4	32,00	3,89	39,69	564,53	45,00	88,20
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	15,6	15,4	40,30	4,90	49,98	710,95	45,00	111,07
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	15,6	15,4	43,20	5,25	53,58	762,11	45,00	119,07
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15	15	30,50	4,07	41,47	589,83	45,00	92,15
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15,3	15,3	32,40	4,07	41,51	590,43	45,00	92,25
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,3	15,2	43,20	5,50	56,08	797,64	45,00	124,62
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,6	15,2	44,80	5,59	57,04	811,27	45,00	126,75
CON FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,4	15,4	30,90	3,81	38,82	552,20	45,00	86,27
CON FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,5	15,2	33,60	4,22	43,05	612,38	45,00	95,67
CON	9	jueves, 17 de enero de	28	14/02/20	45	15,	15,	44,5	5,6	57,41	816,5	45,00	127,57

FIBRAS		2019		19		6	1	0	3		5		
CON FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	28	14/02/20 19	45	15, 4	15, 5	45,0 0	5,4 7	55,81	793,8 3	45,00	124,02

Anexo 3. Datos del Módulo de ruptura sin la adición de fibras

ID	No	Fecha fundida	Edad	Fecha	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Carga (kN)	Mpa	kg/cm ²	P.S.I.	MR Esperada	PORCENTA JE OBTENIDO
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,5	15,4	35,40	4,33	44,19	628,54	42,00	105,21
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,6	15,3	33,60	4,14	42,22	600,53	42,00	100,52
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	28	05/02/2019	45	15,6	15,4	46,80	5,69	58,04	825,62	42,00	138,20
SIN FIBRAS	1	martes, 08 de enero de 2019	28	05/02/2019	45	15,6	15,5	42,60	5,11	52,16	741,86	42,00	124,18
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,9	15,5	32,90	3,88	39,52	562,13	42,00	94,10
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,7	15,4	28,70	3,47	35,37	503,08	42,00	84,21
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	28	06/02/2019	45	15,7	15,6	36,00	4,24	43,24	614,97	42,00	102,94
SIN FIBRAS	2	miércoles, 09 de enero de 2019	28	06/02/2019	45	15,8	15,5	35,80	4,24	43,28	615,55	42,00	103,04
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,8	15,5	28,30	3,35	34,21	486,59	42,00	81,45
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,6	15,4	28,50	3,47	35,35	502,78	42,00	84,16
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	07/02/2019	45	15,7	15,5	35,60	4,25	43,31	616,01	42,00	103,12
SIN FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	07/02/2019	45	15,6	15,5	35,00	4,20	42,85	609,51	42,00	102,03
SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,9	15,5	26,40	3,11	31,71	451,07	42,00	75,51
SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,8	15,4	29,70	3,57	36,37	517,32	42,00	86,60
SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	28	08/02/2019	45	15,8	15,7	38,80	4,48	45,72	650,24	42,00	108,85
SIN FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	28	08/02/2019	45	15,7	15,6	39,30	4,63	47,20	671,34	42,00	112,38

SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,9	15,7	38,50	4,42	45,08	641,16	42,00	107,32
SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,7	15,5	35,70	4,26	43,43	617,74	42,00	103,40
SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	09/02/2019	45	15,6	15,4	42,70	5,19	52,96	753,29	42,00	126,09
SIN FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	09/02/2019	45	15,7	15,1	43,90	5,52	56,27	800,41	42,00	133,98
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,8	15,6	40,30	4,72	48,09	684,07	42,00	114,51
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,8	15,4	38,60	4,64	47,27	672,34	42,00	112,54
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	15,8	15,5	43,90	5,20	53,07	754,82	42,00	126,35
SIN FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	16	15,8	46,70	5,26	53,65	763,10	42,00	127,74
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,9	15,5	33,40	3,93	40,12	570,67	42,00	95,53
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,8	15,4	39,00	4,68	47,76	679,31	42,00	113,71
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	15,7	15,6	40,90	4,82	49,12	698,67	42,00	116,95
SIN FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	16	15,5	41,50	4,86	49,54	704,64	42,00	117,95
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15,9	15,6	24,90	2,90	29,53	420,00	42,00	70,31
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15,8	15,4	25,00	3,00	30,61	435,45	42,00	72,89
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,7	15,9	34,70	3,93	40,12	570,61	42,00	95,51
SIN FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,9	15,7	33,00	3,79	38,64	549,56	42,00	91,99
SIN FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,9	15,7	44,30	5,09	51,87	737,75	42,00	123,49
SIN FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,9	15,5	44,40	5,23	53,33	758,62	42,00	126,99
SIN FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	28	14/02/2019	45	16,1	15,9	48,60	5,37	54,79	779,32	42,00	130,45

Anexo 4. Datos módulo de ruptura con la adición de fibras

ID	N o	Fecha fundida	Eda d	Fecha	L (cm)	b (cm)	d (cm)	Carg a (kN)	Mp a	kg/c m ²	P.S.I.	MR Esperad a	PORCENTA JE OBTENIDO
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,5	15,3	26,80	3,32	33,89	482,08	45,00	75,32
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	7	15/01/2019	45	15,4	15,4	28,50	3,51	35,81	509,31	45,00	79,57
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	28	5/02/2019	45	15,5	15,4	44,40	5,44	55,42	788,33	45,00	123,16
CON FIBRAS	1	martes, 8 de enero de 2019	28	5/02/2019	45	15,3	15,4	45,90	5,69	58,04	825,62	45,00	128,99
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,3	15,6	30,10	3,64	37,09	527,63	45,00	82,43
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	7	16/01/2019	45	15,2	15,4	28,30	3,53	36,02	512,39	45,00	80,05
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	28	6/02/2019	45	15,5	15,6	40,00	4,77	48,66	692,12	45,00	108,13
CON FIBRAS	2	miércoles, 9 de enero de 2019	28	6/02/2019	45	15,5	15,4	38,00	4,65	47,43	674,70	45,00	105,41
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,5	15,6	31,20	3,72	37,95	539,85	45,00	84,34
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	7	17/01/2019	45	15,4	15,3	32,90	4,11	41,88	595,65	45,00	93,06
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	7/02/2019	45	15,5	15,4	38,30	4,69	47,81	680,03	45,00	106,24
CON FIBRAS	3	jueves, 10 de enero de 2019	28	7/02/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,4	15,2	29,20	3,69	37,66	535,64	45,00	83,68
CON FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	7	18/01/2019	45	15,3	15,2	27,70	3,53	35,96	511,45	45,00	79,90
CON FIBRAS	4	viernes, 11 de enero de 2019	28	8/02/2019	45	15,2	15,2	42,10	5,39	55,01	782,44	45,00	122,24
CON	4	viernes, 11 de enero de	28	8/02/201	45	15,	15,	44,5	5,7	58,53	832,5	45,00	130,07

FIBRAS		2019		9		1	2	0	4		2		
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,6	15,5	41,10	4,93	50,32	715,74	45,00	111,82
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	7	19/01/2019	45	15,4	15,5	35,60	4,33	44,15	628,01	45,00	98,12
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	9/02/2019	45	15,5	15,4	40,60	4,97	50,68	720,86	45,00	112,62
CON FIBRAS	5	sábado, 12 de enero de 2019	28	9/02/2019	45	15,5	15,6	45,10	5,38	54,86	780,36	45,00	121,92
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	7	21/01/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	6	lunes, 14 de enero de 2019	28	11/02/2019	45	15,3	15,4	30,70	3,81	38,82	552,21	45,00	86,27
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,5	15,5	34,20	4,13	42,14	599,42	45,00	93,65
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	7	22/01/2019	45	15,6	15,4	32,00	3,89	39,69	564,53	45,00	88,20
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	15,6	15,4	40,30	4,90	49,98	710,95	45,00	111,07
CON FIBRAS	7	martes, 15 de enero de 2019	28	12/02/2019	45	15,6	15,4	43,20	5,25	53,58	762,11	45,00	119,07
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15	15	30,50	4,07	41,47	589,83	45,00	92,15
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	7	23/01/2019	45	15,3	15,3	32,40	4,07	41,51	590,43	45,00	92,25
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,3	15,2	43,20	5,50	56,08	797,64	45,00	124,62
CON FIBRAS	8	miércoles, 16 de enero de 2019	28	13/02/2019	45	15,6	15,2	44,80	5,59	57,04	811,27	45,00	126,75
CON FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,4	15,4	30,90	3,81	38,82	552,20	45,00	86,27
CON FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	7	24/01/2019	45	15,5	15,2	33,60	4,22	43,05	612,38	45,00	95,67
CON	9	jueves, 17 de enero de	28	14/02/20	45	15,	15,	44,5	5,6	57,41	816,5	45,00	127,57

FIBRAS		2019		19		6	1	0	3		5		
CON FIBRAS	9	jueves, 17 de enero de 2019	28	14/02/20 19	45	15, 4	15, 5	45,0 0	5,4 7	55,81	793,8 3	45,00	124,02

Bibliografía

- Acero, J. P. (2017). *Evaluación del uso combinado de fibras metálicas y sintéticas como refuerzo del concreto aplicado al soporte y revestimiento de túneles*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - Maestría en Ingeniería Civil.
- Álvarez, Á. (2010). Pavimentos - La apuesta española al concreto. *Revista Construcción y Tecnología*, 46-49.
- Álvarez, R., & Torres, S. (2015). *Evaluación de la capacidad de disipación de energía de sistemas losa columna fabricados en concreto con fibras de acero*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Ingeniería Civil.
- ASTM. (2002). *ASTM C 78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. West Conshohocken: American Society of Testing Materials. ASTM.
- ASTM. (2004). *ASTM C 39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken: American Society of Testing Materials. ASTM.
- Caballero, K. E. (2017). Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas. *Revista Prisma Tecnológico - Universidad Tecnológica de Panamá - Facultad de Ingeniería Civil*, 18-23.
- Cabrera, J. A. (2016). *Análisis y evaluación del aporte estructural a contrapisos de hormigón mediante la adición de fibras metálicas y fibras de polipropileno*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Carrera de Ingeniería Civil.
- Carrillo, J., Silva, D., & Sánchez Martha. (2016). Desempeño de losas de concreto sobre terrenos reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero. *Revista Ingeniería Investigación y tecnología - Universidad Militar Nueva Granada - Departamento de Ingeniería Civil - Universidad Nacional Autónoma de México - Facultad de Ingeniería*, 500-510.
- Cruz, C. A., & Rosales, S. X. (2018). *Diseño de hormigón bicompuesto con vidrio triturado y fibras de acero reciclado*. Quito: Universidad Central del Ecuador - Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática - Carrera de Ingeniería Civil.
- Gómez, J., & Sánchez, D. (1997). *Tecnología y Propiedades - Colección básica del concreto*. Bogotá: Instituto del Concreto - Asociación Colombiana de Productores de Concreto - Segunda edición.
- Guzmán, J. G. (2015). *Estudio técnico experimental de una placa de hormigón reforzada con fibras de acero apoyada en el suelo aplicado en obras portuarias*. València: Universidad Politécnica de València.
- Guzmán, V. E. (2009). *Manual de prácticas de concreto hidráulico*. Xalapa: Universidad Veracruzana - Facultad de Ingeniería Civil - Región Xalapa.

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill Education.
- IMCYC. (2006). *El Concreto en la Obra - Problemas, causas y soluciones - Pruebas de resistencias a la compresión del concreto*. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC).
- IMCYC. (2008). *El Concreto en la obra - Problemas causas y soluciones - Determinación de la resistencia a la flexión del concreto*. Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto AC.
- Ind. Ramgra. (2015). *RAMGRA Industriales S.A. de C.V.* Obtenido de Hecho en Mexico RAMGRA Diseñado por akitsu: <http://www.ramgra.com.mx/>
- INVIAS. (2012). Normas y Especificaciones 2012 INVIAS. Bogotá.
- Landeta, V. L. (2017). *Antiguo Egipto, Arte y Religión*. Quito: Universidad Central del Ecuador - Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación - Carrera de Ciencias Sociales.
- Larraín, A., Yáñez, F., & Verdugo, C. (2006). *Manual de Cálculo de Hormigón Armado - Segunda edición en base al código ACI 318-05*. Chile: Editorial Gerdau AZA.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. Mexico: Ediciones Alfaomega.
- Mendoza, A., Molina, E. Y., & Moya, V. M. (2014). *Determinación de la correlación entre el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales*. El Salvador: Universidad de el Salvador - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Ingeniería Civil.
- Mestanza, J. B. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - Carrera de Ingeniería Civil.
- Moliné, S. (2017). Avances en los prefabricados de concreto. *Revista Construcción y Tecnología - Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.*, 2.
- Mosquera, P. E., & Tenelema, R. E. (2017). *Análisis de vigas de hormigón sometidas a flexión que incorporan fibras metálicas obtenidas de neumáticos reciclados*. Quito: Universidad Central del Ecuador - Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática - Carrera de Ingeniería Civil.
- Nematl, K. (2013). *Progress in concrete technology. Fiber Reinforced Concrete, CM 425, Concrete Technology*. Washington: University Of Washington.
- Nilson, A., Darwin, D., & Dolan, C. W. (2004). *Desing of Concrete Structures*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Ospina, M. Á. (2016). *Estimación del efecto de las fibras metálicas sobre la resistencia a la flexión de vigas de concreto, mediante la técnica de velocidad de pulso ultrasónico (UPV)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Artes - Escuela de Arquitectura y Urbanismo - Maestría en Construcción .
- Polanco, A. (2014). *Manual de prácticas de laboratorio de concreto*. Chihuahua: Universidad Autónoma de Chihuahua - Facultad de Ingeniería.

- Rivera, G. A. (2006). *Concreto Simple - Resistencia del Concreto*. Popayan: Universidad del Cauca - Facultad de Ingenieria Civil.
- Rodriguez, C. S. (2016). *Análisis comparativo de un hormigon para la capa de rodadura con fibras de acero y sin ellas para utilización en pavimentos rígidos*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Escuela de Ingeniería Civil.
- Rodríguez, D. A., & Gómez, J. A. (2014). *Manual de guias de laboratorio enfocadas al control de calidad de materiales y tecnología del concreto*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia - Programa de Ingeniería Civil.
- Ruiz, D., Ridríguez, F., & León, M. (2017). Estudio del comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto para pavimentos reforzada con fibras metálicas. *Revista de Ingeniería y Construcción RIC - Pontificia Universidad Javeriana - Holcim Colombia S.A.* , 45-58.
- Sarta, H. N., & Silva, J. L. (2017). *Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 4% y 6%*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia - Facultad de Ingeniwería - Programa de Ingeniería Civil
- Sika. (2014). *Concreto reforzado con fibras*. Barranquilla: Sika Colombia S.A.S.
- Silva, A. M., Pavón, C. M., Hernández, L. S., Cárdenas, M. H., & Padilla, H. W. (2014). Relación de la resistencia a la compresión y módulo de ruptura del concreto hidráulico. *Revista Ciencia y Tecnología Innovare - Unitec*, 77-85.
- Thooft, H., & Frutos, C. (2013). Nueva generación de fibras de acero para el concreto. *Construcción y Tecnología del Concrcteto*, 24-26.