



DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD MÍNIMA DEL TRASLAPO Y LA  
RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON BARRAS  
GFRP.

**PRESENTADO POR:**

Lina Paola Buitrago Villamil Cod.507422

Cesar Augusto Pérez Díaz Cod.507351

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2021



DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD MÍNIMA DEL TRASLAPO Y LA  
RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON BARRAS  
GFRP.

**Trabajo de grado en modalidad de proyecto investigativo.**

**PRESENTADO POR:**

Lina Paola Buitrago Villamil Cod.507422

Cesar Augusto Pérez Díaz Cod.507351

**DIRECTOR:**

Ing. Héctor Camilo Higuera Flórez

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.

2021



## Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).



**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

**BOGOTÁ D.C.**



## DEDICATORIA

Dedicado con todo mi amor y cariño a Dios por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de mi estudio. A mis padres Carmen Villamil y Saúl Buitrago, por su sacrificio y esfuerzo, quienes son mi pilar fundamental y me han apoyado durante mi formación académica, les agradezco lo que soy como persona, los valores que me inculcaron y mi perseverancia.

A mi hermano Emerson Buitrago Villamil por su compañía y apoyo incondicional, finalmente a todas las personas que hicieron posible este trabajo.

*Lina Paola Buitrago Villamil*

Dedicado a mi padre, porque a lo largo de este proceso, siempre me acompañó y brindo su apoyo para sacar adelante esta etapa de mi vida.

A mi hermana y su esposo por el amor, compañía, consejo y entera confianza para lograr culminar esta meta y hacerla posible.

A mi sobrina, ya que ella es el principal motor en mi vida para hacer las cosas lo mejor posible.

A mi madre, que, aunque ya no se encuentra conmigo, es quien me dio la fortaleza mental y espiritual para seguir adelante.

Cesar Augusto Pérez Díaz



## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a la Universidad Católica de Colombia quien nos acogió como estudiantes y nos brindó todos sus recursos y herramientas para volver a la sociedad como profesionales.

Así mismo, a nuestro tutor el Ingeniero Héctor Camilo Higuera Flores por compartir su conocimiento y experiencia la cual fue enriquecedora para el desarrollo de este trabajo, para él, nuestra admiración y respeto. A personal de laboratorio de pruebas y ensayos de la Universidad prestos siempre a colaborar muchas gracias. Hacemos una mención especial a la empresa Aritrec S.A quienes proporcionaron las barras de fibra de vidrio y mostraron gran interés a lo largo de la elaboración de nuestro proyecto.

Finalmente, queremos agradecer a nuestras familias quienes han sido incondicionales durante este proceso, con su amor y apoyo pudimos recorrer este largo camino de éxito hasta hoy.

A todos muchas gracias.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>19</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>1 PRELIMINARES Y GENERALIDADES.....</b>	<b>22</b>
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	22
1.1.1 ANTECEDENTES.....	22
1.1.2 JUSTIFICACIÓN.....	24
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	30
1.3 MARCO DE REFERENCIA.....	32
1.3.1 MARCO TEÓRICO.....	32
1.3.2 MARCO CONCEPTUAL.....	39
1.3.3 MARCO LEGAL.....	43
1.4 ESTADO DEL ARTE.....	47
1.5 OBJETIVOS.....	55
1.5.1 GENERAL.....	55
1.5.2 ESPECÍFICOS.....	55
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	55
1.6.1 ALCANCES.....	56
1.6.2 LIMITACIONES.....	56
1.7 METODOLOGÍA.....	57



<b>2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....</b>	<b>59</b>
2.1	AGREGADOS .....	59
2.1.1	AGREGADO FINO.....	59
2.1.2	AGREGADO GRUESO. ....	66
2.2	CEMENTO.....	74
2.2.1	DENSIDAD.....	74
2.2.2	CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO. ....	77
2.2.3	TIEMPOS DE FRAGUADO .....	78
<b>3</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLA Y FABRICACIÓN. ....</b>	<b>81</b>
3.1	DISEÑO DE MEZCLA .....	81
3.2	ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS. ....	90
3.2.1	CILINDROS DE CONCRETO .....	92
3.2.2	VIGUETAS .....	94
3.2.3	PROCESO DE CURADO .....	97
<b>4</b>	<b>ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y RESULTADOS.....</b>	<b>98</b>
4.1	MECÁNICOS.....	98
4.1.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ....	98
4.1.2	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. ....	102
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>113</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>



<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO B. PROCESO DE OXIDACIÓN ACERO VS FIBRA DE VIDRIO. ....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO C. LABORATORIOS DE CARACTERIZACIÓN.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO D. FABRICACIÓN DE CUERPOS DE PRUEBA.....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXO E. CARACTERIZACIÓN DE ESPECIMENES.....</b>	<b>140</b>
<b>ANEXO F. FORMATOS Y FICHAS TÉCNICAS.....</b>	<b>145</b>



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Empalmes por traslapo en tracción. ....	33
<b>Tabla 2:</b> Propiedades mecánicas genéricas de GFRP. ....	41
<b>Tabla 3:</b> Determinación de la humedad natural .....	60
<b>Tabla 4:</b> Datos obtenidos en el laboratorio. ....	64
<b>Tabla 5:</b> Cálculos densidad relativa .....	65
<b>Tabla 6:</b> Cálculos de la densidad en condición seca al horno. ....	66
<b>Tabla 7:</b> Porcentaje de absorción .....	66
<b>Tabla 8:</b> Determinación de la humedad natural del agregado fino. ....	67
<b>Tabla 9:</b> Análisis granulométrico .....	69
<b>Tabla 10:</b> Resumen del método .....	70
<b>Tabla 11:</b> Análisis granulométrico del agregado fino. ....	70
<b>Tabla 12:</b> Datos obtenidos en el laboratorio. ....	72
<b>Tabla 13:</b> Cálculo de la densidad relativa .....	73
<b>Tabla 14:</b> Cálculo de la densidad en condición seca .....	74
<b>Tabla 15:</b> Porcentaje de absorción .....	74
<b>Tabla 16:</b> Parámetros de partida. ....	76



<b>Tabla 17:</b> Resultados de penetración. ....	78
<b>Tabla 18:</b> Resultados en tiempos de fraguado.....	79
<b>Tabla 19:</b> Determinación del asentamiento. ....	82
<b>Tabla 20:</b> Tamaño máximo nominal del agregado.....	83
<b>Tabla 21:</b> Porcentaje de aire aproximado.....	83
<b>Tabla 22:</b> Elección de la cantidad de agua para la mezcla. ....	84
<b>Tabla 23:</b> Determinación de la relación a/c. ....	85
<b>Tabla 24:</b> Relación b/bo .....	86
<b>Tabla 25:</b> Determinación de los volúmenes de los especímenes de prueba. ....	90
<b>Tabla 26:</b> Dosificación para cilindros de concreto.....	90
<b>Tabla 27:</b> Dosificación para viguetas de concreto. ....	91
<b>Tabla 28:</b> Dimensiones del cilindro N.1 .....	99
<b>Tabla 29:</b> Resultados obtenidos cilindro N1.....	99
<b>Tabla 30:</b> Dimensiones del cilindro N.2 .....	100
<b>Tabla 31:</b> Resultados obtenidos cilindro N2.....	100
<b>Tabla 32:</b> Dimensiones del cilindro N.3 .....	101
<b>Tabla 33:</b> Resultados obtenidos cilindro N3.....	101
<b>Tabla 34:</b> Toma de datos para el concreto convencional. ....	105



<b>Tabla 35:</b> Determinación del cortante y el momento. Viguetas sin refuerzo. ....	106
<b>Tabla 36:</b> Determinación del módulo de rotura. Viguetas sin refuerzo. ....	106
<b>Tabla 37:</b> Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP sin traslapo.....	106
<b>Tabla 38:</b> Determinación del cortante y el momento. Viguetas sin traslapo.....	107
<b>Tabla 39:</b> Determinación del módulo de rotura. Viguetas sin traslapo. ....	107
<b>Tabla 40:</b> Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP y traslapo de 10cm.....	108
<b>Tabla 41:</b> Determinación del cortante y el momento. Vigüeta con refuerzo de 10cm.....	109
<b>Tabla 42:</b> Determinación del módulo de rotura. Vigüeta con refuerzo de 10cm. .	109
<b>Tabla 43:</b> Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP y traslapo de 15cm.....	109
<b>Tabla 44:</b> Determinación del cortante y el momento. Vigüeta con refuerzo de 15cm.....	110
<b>Tabla 45:</b> Determinación del módulo de rotura. Vigüeta con refuerzo de 15cm. .	111
<b>Tabla 46:</b> Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP y traslapo de 20cm.....	111
<b>Tabla 47:</b> Determinación del cortante y momento. Vigüeta con refuerzo de 20cm. ....	112
<b>Tabla 48:</b> Determinación del módulo de rotura. Vigüeta con refuerzo de 20cm. .	112



<b>Tabla 49:</b> Promedio de los valores MR calculados para las viguetas de prueba.	113
<b>Tabla 50:</b> Cálculo del MR en porcentaje.....	113
<b>Tabla 51:</b> Resumen comparativo. ....	116



## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1:</b> Porcentajes de acero traslapado.....	33
<b>Ilustración 2:</b> Fracturamiento del concreto a lo largo del refuerzo.....	34
<b>Ilustración 3:</b> Fallas por adherencia.....	34
<b>Ilustración 4:</b> Trabajo a flexión.....	36
<b>Ilustración 5:</b> Clasificación de vigas por secciones geométricas y por la función del acero de refuerzo.....	37
<b>Ilustración 6:</b> Efecto de acuña-miento del hormigón entre corrugas.....	38
<b>Ilustración 7:</b> Curva de gradación.....	69
<b>Ilustración 8:</b> Elementos que componen el diseño de mezcla.....	81
<b>Ilustración 9:</b> Determinación de la relación a/c.....	84
<b>Ilustración 10:</b> Esquema de la viga.....	103
<b>Ilustración 11:</b> Relación entre la longitud del traslapo y el MR.....	114



## LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen 1:</b> Corrosión del acero. ....	26
<b>Imagen 2:</b> Corrosión del acero. ....	26
<b>Imagen 3:</b> Proceso de oxidación del acero VS fibra de vidrio. ....	31
<b>Imagen 4:</b> Elementos estructurales con barras GFRP. ....	39
<b>Imagen 5:</b> Muestra de la arena de río. ....	60
<b>Imagen 6:</b> Lavado de agregado fino “Muestra aleatoria en cantidad” ....	61
<b>Imagen 7:</b> Materiales necesarios. ....	61
<b>Imagen 8:</b> Extendido y secado del material. ....	62
<b>Imagen 9:</b> Prueba de cono de arena. ....	62
<b>Imagen 10:</b> Procedimiento gravimétrico. ....	63
<b>Imagen 11:</b> Toma de temperatura y proceso de secado de la muestra. ....	63
<b>Imagen 12:</b> Muestra de la arena de río. ....	67
<b>Imagen 13:</b> Análisis granulométrico de los agregados. ....	68
<b>Imagen 14:</b> Preparación y secado de la muestra de agregado grueso. ....	71
<b>Imagen 15:</b> Proceso de inmersión de la muestra. ....	71
<b>Imagen 16:</b> Determinación de la densidad del cemento. ....	75



<b>Imagen 17:</b> desplazamiento del cemento.....	75
<b>Imagen 18:</b> Consistencia normal del cemento. ....	77
<b>Imagen 19:</b> Medición de la consistencia en el vicat.....	78
<b>Imagen 20:</b> Determinación de tiempos de fraguado. ....	79
<b>Imagen 21:</b> Materiales utilizados para la fabricación de especímenes de concreto. .....	91
<b>Imagen 22:</b> Materiales para la fabricación de cilindros de concreto. ....	92
<b>Imagen 23:</b> Cilindros de concreto. ....	93
<b>Imagen 24:</b> Materiales para la fabricación de viguetas. ....	94
<b>Imagen 25:</b> Fabricación de viguetas de concreto reforzado con barras GFRP. ....	95
<b>Imagen 26:</b> Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP. ....	96
<b>Imagen 27:</b> Desencofre de viguetas. ....	96
<b>Imagen 28:</b> Cilindros de concreto a fallar. ....	98
<b>Imagen 29:</b> Ensayo de resistencia a la compresión. ....	99
<b>Imagen 30:</b> Cilindro número 1. ....	99
<b>Imagen 31:</b> Cilindro número 2. ....	100
<b>Imagen 32:</b> Cilindro número 3. ....	101
<b>Imagen 33:</b> Resistencia a la flexión en vigas de concreto reforzado con barras GFRP.....	102



<b>Imagen 34:</b> Montaje para las viguetas de concreto convencional. ....	105
<b>Imagen 35:</b> Resultado de la falla. ....	105
<b>Imagen 36:</b> Montaje para las viguetas de concreto reforzado con barras GFRP sin traslapo.....	107
<b>Imagen 37:</b> Resultado de la falla. ....	107
<b>Imagen 38:</b> Montaje para las viguetas de concreto reforzado GFRP con traslapo de 10cm.....	108
<b>Imagen 39:</b> Resultado de la falla. ....	108
<b>Imagen 40:</b> Montaje para las viguetas de concreto reforzado GFRP con traslapo de 15cm.....	110
<b>Imagen 41:</b> Resultado de la falla. ....	110
<b>Imagen 42:</b> Montaje para las viguetas de concreto reforzado GFRP con traslapo de 20cm.....	111
<b>Imagen 43:</b> Resultado de la falla. ....	112



## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS EN FIBRA DE VIDRIO. ....	124
ANEXO B. PROCESO DE OXIDACIÓN ACERO VS FIBRA DE VIDRIO.....	125
ANEXO C. LABORATORIOS DE CARACTERIZACIÓN. ....	126
ANEXO D. FABRICACIÓN DE CUERPOS DE PRUEBA. ....	136
ANEXO E. CARACTERIZACIÓN DE ESPECIMENES. ....	140
ANEXO F. FORMATOS Y FICHAS TÉCNICAS. ....	145



## RESUMEN

Este documento presenta la incidencia del uso de barras en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (su sigla PRFV, en inglés GFRP), como alternativa constructiva, al trabajo estructural tradicional con concreto reforzado. Para esto, se plantea una investigación de tipo experimental donde inicialmente se caracterizan las materias primas, con el fin de efectuar el diseño de mezcla de concreto que se va a emplear junto al material de refuerzo, dando así un punto de partida para moldear los prototipos de prueba.

Posteriormente, estos prototipos deben ser sometidos a diferentes ensayos en el laboratorio, identificando así las propiedades mecánicas y de durabilidad necesarias para hacer una comparación entre el concreto reforzado convencional y el concreto reforzado con barras PRFV. De acuerdo a estudios recientes, son muchas las ventajas que las barras PRFV ofrecen, por ejemplo, resuelve el problema de la corrosión, se reducen costos, es una excelente elección para disminuir la contaminación ambiental, además de sus características de resistencia que van de la mano con las atribuidas al acero. Sin embargo, hay ciertos parámetros que se quedan cortos, los cuales son esenciales al momento de hacer un diseño e implementarlo en la vida real.

Dado lo anterior, es necesario determinar la longitud mínima de los traslapes y la resistencia a la flexión del concreto reforzado con barras PRFV para con esto finalmente, evidenciar su funcionalidad como una excelente opción de diseño estructural diferente al acero o, por el contrario, demostrar que sus condiciones óptimas están por debajo de lo convencional.



## INTRODUCCIÓN

El concreto reforzado se conoce como una combinación de acero y concreto, siendo el material compuesto para construcción más utilizado en los proyectos de ingeniería civil a nivel mundial. En este caso en particular, el acero es el refuerzo que proporciona la resistencia a la tracción a la que se somete el concreto en diferentes sollicitaciones a nivel estructural, así como de resistir fuerzas de compresión como las que se generan en las columnas. Sin embargo, el acero presenta problemas de corrosión cuando es utilizado en zonas con presencia excesiva de sales, estructuras expuestas a productos químicos altamente corrosivos, o simplemente porque el recubrimiento en concreto no es el suficiente para evitar la corrosión del acero, lo que se transforma no solo en el deterioro de las estructuras, sino que adicionalmente genera sobrecostos en el reforzamiento de las mismas, impacto económico que, según estudios, genera pérdidas en el sector de la construcción por más de \$300.000 millones de dólares.

Los avances tecnológicos de los diferentes materiales de construcción permiten obtener ventajas económicas y de seguridad en la construcción de nuevas estructuras, específicamente buscando la mejor solución para subsanar la problemática que genera la corrosión en el acero de refuerzo. Dentro de la diversidad de estos materiales aparecen las barras de polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFPR), que por sus propiedades mecánicas como la alta resistencia a la tracción y al no oxidarse, hacen parte de las diferentes alternativas para reemplazar el acero como elemento de refuerzo para el concreto.

En Colombia, fundamentalmente los materiales de construcción más usados son el concreto y el acero, no solamente por la facilidad para adquirirlos y por su economía, sino porque siguiendo los parámetros y especificaciones de diseño estipulados en la normatividad, NSR-10 en este caso, permite la construcción de diferentes



elementos estructurales con grandes prestaciones sismo resistentes, razones por las cuales en la construcción Colombiana, aún hay cierto escepticismo a la hora de reemplazar el acero convencional por estas nuevas tecnologías.

Dentro de los análisis estructurales, la longitud del traslapo en el acero de refuerzo, es un parámetro fundamental para la transferencia correcta de las tensiones entre el concreto y su refuerzo, y de acuerdo a la normatividad, estas longitudes de traslapo se determinan fundamentalmente por el diámetro de la barra y la resistencia del concreto. Sin embargo, los estudios y normas respecto a estos parámetros para las barras GFRP no son tan extensos, lo que hace fundamental continuar con esa línea de investigación, por lo tanto, en el presente trabajo se estudió el comportamiento de elementos de concreto estructural con barras de refuerzo GFRP sometidos a flexión para determinar la longitud mínima de traslapo en la que se garantice una transferencia adecuada de los esfuerzos.

Para la realización del presente estudio, el trabajo se estructuró en 5 capítulos. En el Capítulo I “Preliminares y Generalidades” se enfatiza en conceptos teóricos para una mejor comprensión del fenómeno estudiado, así como la normatividad y estudios preliminares. En el Capítulo II “Caracterización de Materias Primas” se determinan las propiedades físicas de cada uno de los componentes que hacen parte de los elementos estructurales estudiados, siguiendo parámetros normativos. El Capítulo III “Diseño de Mezcla y Fabricación” establece las dosificaciones, propiedades y procedimientos necesarios para la correcta elaboración de las probetas a ensayar. El Capítulo IV “Ensayos de Caracterización y Resultados” describe las pruebas de laboratorio efectuadas a cada elemento estructural, así como los resultados obtenidos, efectuados en laboratorio de la Universidad Católica de Colombia. Finalmente, en el Capítulo V “Análisis de Resultados” se evalúan los datos obtenidos frente a las normatividades vigentes para el fenómeno motivo de este estudio.



## 1 PRELIMINARES Y GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

#### 1.1.1 ANTECEDENTES

En el concreto armado, la corrosión es un problema que afecta el sistema estructural y consigo también compromete la resistencia de los elementos, esto debido a que la permeabilidad favorece la generación de la corrosión y reduce los espesores de las secciones y por ende genera fallas por agrietamiento. En condiciones normales, el concreto (de recubrimiento) provee de un ambiente protector al acero de refuerzo ya que su elevada alcalinidad ( $\text{pH} > 12,5$ ) hace que el acero se encuentre en un estado denominado pasivo, siendo su velocidad de corrosión despreciable. No obstante, la presencia de agentes agresivos (cloruros, sulfatos y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )) en la superficie de las armaduras causan la pérdida de pasividad del acero y crea condiciones propicias para el inicio de la corrosión de las armaduras. Los efectos de la corrosión se manifiestan de cinco formas diferentes que pueden ser o no simultáneas: expansión del acero de refuerzo, figuración interna del concreto, disminución de la capacidad mecánica del concreto, baja adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo y reducción de la sección transversal del acero de refuerzo, decreciendo su capacidad mecánica.

Cuando la capa pasivadora se destruye de forma natural sobre el acero que se encuentra embebido en el concreto se genera la corrosión, esto se debe a que la alcalinidad del concreto reacciona con sustancias acidas o simplemente a la presencia de cloruros pero puntualmente el factor con más incidencia para que se presente este fenómeno es la permeabilidad en el recubrimiento, influenciado por procesos de difusión, los cuales generar carbonatación y reducción en el PH, acelerando la corrosión del acero de refuerzo. Las barras GFRP (Glass Fiber



Reinforced Polymer, por sus siglas en inglés) es la alternativa más usada en sustitución de las barras de acero convencionales, elemento de refuerzo que se ha estudiado por parte de profesionales de la Ingeniería Civil para determinar sus propiedades mecánicas y las ventajas que ofrecen para su utilización en la construcción. Estos elementos poseen destacadas ventajas sobre los de acero, como una mayor resistencia a la tracción, al no oxidarse son más duraderos, su menor peso reduce gastos de transporte y mayor facilidad en la manipulación, y sus propiedades antimagnéticas y dieléctricas optimizan la relación costo beneficio.

La adherencia entre las barras de refuerzo y el concreto es una de las propiedades que determinan la resistencia y durabilidad de las estructuras. Las barras GFRP sometidas a ensayos para este tipo de análisis, evidencian que esta propiedad depende de factores como el tipo de fibra y resina utilizadas, el acabado superficial o el diámetro de la barra. Adicionalmente se ha encontrado que la resistencia de adherencia es superior para diámetros de barras inferiores, y la adherencia es inferior para diámetros de barras superiores.

Las características mecánicas que se han estudiado en este tipo de refuerzo, evidencian comportamientos favorables al ser sometidos a ensayos de tracción, sin embargo, diferentes estudios recomiendan continuar con estos análisis, con el fin de “desarrollar exhaustivamente el método experimental de la obtención de la resistencia a tracción mediante el ensayo de flexión, hasta llegar a obtener unas directrices o reglas que acoten su uso y sean aplicables a todo tipo de redondos de GFRP” [1].

De acuerdo con las características ya mencionadas y los resultados positivos presentados por variedad de estudios, las empresas encargadas de su comercialización y producción, también destacan las ventajas que tienen estos elementos sobre el acero convencional, y afirman que las barras GFRP son exitosas en mampostería, balcones, tanques y áreas comunes, y por esta razón se aproxima



su uso en elementos estructurales del sistema sismo-resistente, como columnas y vigas, con la próxima expedición del Código estructural ACI 440, del American Concrete Institute.

### 1.1.2 JUSTIFICACIÓN.

Actualmente se cuenta con diversidad de materiales constructivos y muchos de ellos se encuentran en diferentes presentaciones y mejoras de acuerdo al proceso para el cual sean requeridos. El acero es por excelencia un material muy utilizado en el sector constructivo y muchas veces se encuentra en diferentes presentaciones según la calidad requerida y el proceso constructivo que lo requiera. El acero corrugado es especialmente usado en la construcción para ser empleado en el concreto reforzado, estas barras presentan nervaduras a lo largo de su cuerpo lo que facilita la adherencia con el concreto. “La fabricación de acero corrugado se realiza en tamaños que van desde 6mm a 40mm de diámetro” y cada una de ella cuenta con sus especificaciones técnicas para asegurar el cálculo correspondiente de las estructuras de concreto reforzado. Al igual que otros tipos de acero, los componentes principales son hierro y carbono. Las propiedades del acero estructural hacen que sea un material excelente para elementos como, pilas, vigas, columnas y otros elementos que forman parte del sistema estructural. Entre las propiedades más relevantes tenemos las siguientes.

- El acero estructural tiene una gran firmeza, una característica que permite que sea utilizado para estructuras con una gran eficacia. El acero estructural es capaz de soportar grandes pesos, sin que su forma sea dañada o modificada.
- La ductilidad es también muy importante cuando hablamos de materiales de construcción. La ductilidad es la propiedad de los materiales para soportar grandes deformaciones sin que se presente falla, esto estando sometidos a grandes esfuerzos de tensión. El acero estructural puede sufrir grandes



presiones, que incluso lleguen a influir en buena medida en su forma original, sin que la estructura llegue a colapsar y romperse.

- La tenacidad. La tenacidad es una característica que hace referencia a la resistencia, siendo un material capaz de absorber energía en grandes cantidades. En condiciones de impacto, este material es capaz de soportar su forma sin llegar a sufrir roturas.
- La semejanza es otra de las características que hacen del acero estructural un material óptimo para la construcción. La semejanza se refiere a que, por mucho tiempo que pase, el acero estructural no cambia de apariencia, y es que las condiciones climatológicas o de otro tipo apenas inciden en este material. Por el contrario, el fuego sí que puede deteriorarlo en gran medida.

Aunque no se torne con gran relevancia esta última característica se convierte en un problema grande y actualmente es catalogado a nivel mundial, pues la corrosión es un problema continuo que afecta directamente al acero y que puede llegar a generar pérdidas de miles de dólares en reparación de estructuras para mantener su funcionamiento y que se ven afectadas con este fenómeno; Ciertamente, las cargas y los esfuerzos se transmiten a la armadura desde el hormigón por el efecto de adherencia entre el acero y este material. Es por ello, que resulta de vital importancia para la transmisión de estos esfuerzos y, en definitiva, para la capacidad portante de la estructura, una buena unión. En este sentido, la corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón genera un descenso importante en esta adherencia, sobre todo en elementos que no disponen de estribos que sustenten el sistema.

En consecuencia, la corrosión disminuye la unión acero-hormigón reduciendo la capacidad portante de la estructura. “El riesgo potencial de la corrosión en las estructuras es muy impredecible, por lo que su monitoreo, predicción, prevención y rehabilitación del daño del acero por corrosión en estructuras de concreto ha sido una importante área de interés en la investigación” [2].



Las estructuras en zonas donde se presentan cambios bruscos de humedad y secado son altamente susceptibles a corroerse, pues se ha demostrado con estudios científicos que cuando la relación agua/material cementante excede 0,6, la hermeticidad se disminuye y la permeabilidad a los fluidos e iones aumenta considerablemente debido al incremento en la porosidad capilar. La permeabilidad de la capa superficial del concreto puede afectarse a causa de un curado insuficiente con secado prematuro de la superficie del concreto. Por esto, las medidas de curado deben iniciar inmediatamente después de que se haya presentado el fraguado final y no deben ser interrumpidas durante mínimo siete días.

*Imagen 1: Corrosión del acero.*



*Fuente [3]*

*Imagen 2: Corrosión del acero.*



*Fuente [3]*



A continuación, se resaltan los factores más relevantes en este fenómeno.

- El espesor de recubrimiento: no se conserva el recubrimiento mínimo.
- Corrosión electroquímica: el paso de corriente eléctrica directa a través del concreto genera corrosión.
- Corrosión uniforme y localizada: pérdida de la capa pasivadora.
- Corrosión por picaduras: la capa pasivadora se destruye como por ejemplo diferencias en la composición del metal o ingreso de iones de cloruro.

El deterioro de las estructuras a causa de este fenómeno se considera como un problema de índole social y que actualmente ha sido muy difícil de solucionar. Varios estudios e investigaciones sugieren la necesidad de generar una alternativa menos costosa para combatirlo a pie de obra; con el tiempo se ha demostrado la costosa necesidad de proteger el concreto reforzado debido a la exposición a agentes atmosféricos y el contacto directo a sales en zonas costeras, en estas zonas existen miles de estructuras en concreto reforzado muy deterioradas debido a la corrosión generada atmosféricamente, en varios países que presentan estos problemas por su cercanía geográfica a sales, se plantea que el objetivo fundamental del sector constructivo es la prevención de la corrosión del acero de refuerzo y no su combate a pie de obra, permitir implantar medidas encaminadas a la disminución de la importación de aditivos, tecnologías y productos especializados de un elevado precio en el mercado, pues económicamente afecta el alto costo de los trabajos, materiales que se usan para la reparación y mantenimiento de estructuras dañadas por este fenómeno, la idea fundamental se centra en que prever la inversión es economizar.

A continuación, se resaltan las pérdidas económicas debidas al factor de corrosión en las estructuras de concreto reforzado y teniendo en consideración que los mayores gastos están atribuidos al mantenimiento de dichas estructuras, la contratación de la mano de obra calificada para estos procesos y el alto costo de



los materiales requeridos en este proceso. “El costo anual de reparación en las estructuras de hormigón armado ubicadas en zonas costeras deterioradas por la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en el Reino Unido es alrededor de 755’000.000 de libras esterlinas. Del mismo modo que, de acuerdo con un reporte de la Sociedad Americana de Ingeniería Civil, se necesitan invertir alrededor de 660.000.000 de dólares en trabajos de mantenimiento y reparación para que la infraestructura costera norteamericana alcance un estado favorable.” [4]

“El costo directo de los trabajos de mantenimiento y reparación en las estructuras de hormigón armado intensamente afectadas por la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en zonas costeras de Estados Unidos, ha sido aproximadamente de 276’000.000 de dólares, representando el 3,1% del producto interno bruto de ese país desde el año 1999 al 2001”. [4] “En Cuba, existe la misma problemática que a nivel mundial, basado en lo difícil que ha sido cuantificar y demostrar las pérdidas directas o indirectas, relacionadas con el deterioro de las estructuras debido al fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. Sin embargo, el costo total de los trabajos de reparación en ocho estructuras en la capital y otras zonas costeras del país de elevado potencial constructivo fue de \$ 2’667.055.53 en moneda nacional (CUP) y pesos convertibles (CUC), manteniéndose casi esta misma tendencia durante años anteriores”. [4]

Esto significa que se necesita al menos una quinta parte de la producción del acero del mundo, para reemplazar las piezas que se requieran en el sector constructivo, si bien estas pérdidas representan un problema económico también representan un problema de seguridad considerable pues se puede generar la falla del sistema estructural. “La restauración de la estatua de La Libertad, víctima de cien años a la intemperie, costó 67 millones de dólares a los Estados Unidos en 1986. Anualmente se gastan 700 toneladas de pintura para evitar que la torre Eiffel en París se dañe. En estos dos ejemplos, el responsable es el mismo: la corrosión, fenómeno definido



por los especialistas como el deterioro de los materiales, especialmente metálicos, por su interacción (electroquímica) con el medio ambiente.” [5]

Carlos Enrique posada Arroyave, vicerrector del departamento de tecnología, ciencia e innovación de la universidad de Antioquia menciona en una publicación realizada por el periódico el tiempo, cuatro aspectos importantes relacionado a continuación.

1. Para 1.965 de 70 millones de toneladas de acero consumidas en la Rusia, cerca del 10 por ciento se perdieron por corrosión.
2. En el mismo año en los Estados Unidos, la Oficina Nacional de Estándares estimaba los costos de la corrosión en 10.000 millones de dólares. Para 1982, en Estados Unidos los estimativos eran de 167.000 millones de dólares.
3. Datos obtenidos en Gran Bretaña, calcularon allí los costos de la corrosión en 1970 en cerca del 3.5 por ciento del Producto Interno Bruto, una cifra brutal, que para ese año significó casi 1.365 millones de libras esterlinas.
4. Haciendo proporciones con los Estados Unidos, y con varios métodos e indicadores, se calcula que en Colombia los costos de la corrosión son del orden de 3.4 al 4.8 por ciento del Producto Interno Bruto.

Finalmente, una investigación realizada por estudiantes de la universidad tecnológica de Bolívar en Cartagena resalto que, los costos para minimizar el daño causados por la corrosión en la refinería de Ecopetrol S.A.S, fue alrededor de \$10.000'000.000 de pesos en el año 2008.



## 1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La corrosión del acero de refuerzo en los elementos estructurales, es sin lugar a duda el principal problema que se presenta en las estructuras de concreto reforzado, y que a largo plazo genera gastos adicionales y excesivos en las reparaciones y reforzamientos a las que se tienen que someter las edificaciones con el fin de aumentar el tiempo de vida útil, para que, de esta manera, siga prestando las mismas solicitaciones de resistencia con las que fueron diseñadas inicialmente.

Los avances tecnológicos para combatir esta problemática en los últimos años, han encontrado que las barras de refuerzo compuestas de polímeros reforzados con fibra de vidrio, son una alternativa viable para reemplazar al acero, por sus características físicas, mecánicas y químicas, que en algunas de ellas pueden ser mejores que el material a reemplazar, como la resistencia a la flexión, menor peso y la nula presencia de oxidación. A continuación, se presenta una demostración experimental.

- Se tomaron dos barras de diferente material e igual diámetro y longitud, seguidamente fueron colocadas en un recipiente cerrado que contenía una solución de agua (solvente) y sal (solute); Para ello se utilizó una concentración del 10% en el soluto con respecto al volumen general utilizado.
- Mediante el seguimiento fotográfico que se realizó, se logró evidenciar de forma detallada el deterioro corrosivo que sufre el acero, dicho proceso que se genera en diversos ambientes y frente a la exposición de agentes atmosféricos como el aire, el agua, la humedad y las salpicaduras de agua salada.



*Imagen 3: Proceso de oxidación del acero VS fibra de vidrio.*



*Fuente: [Los autores]. Ver anexo [B].*

Teniendo en cuenta las consideraciones y características expuestas, este estudio quiere profundizar en el análisis del comportamiento de elementos estructurales reforzados con barras GFRP, cuando son sometidos a ensayos de flexión, dentro de sus unidades de análisis se logró identificar que la longitud del traslape es un parámetro crítico de discusión y un ítem bastante fuerte de investigación debido a que el comportamiento resistente de las estructuras en concreto reforzado se basa en la transferencia correcta de tensión entre el concreto y el acero; frente a estudios relacionados con la longitud mínima de una barra para transferir su fuerza en el concreto y los datos sobre su desempeño son bastante limitados y algunos parámetros de estudio que relacionan dicha característica presentan investigaciones completas y otros aun no, es importante generar un equilibrio si se pretende sustituir un material para ser usado estructuralmente. Tomando esto como referencia es necesario preguntarse:

***¿Cuál debe ser la longitud mínima de empalme del refuerzo para que se garantice la transmisión correcta de esfuerzos, en un elemento estructural reforzado con varilla de fibra de vidrio sometido a ensayos de flexión?***



## 1.3 MARCO DE REFERENCIA

### 1.3.1 MARCO TEÓRICO.

#### **Traslapes.**

Comúnmente, las barras de acero que son utilizadas en el concreto reforzado son fabricadas en longitudes que van desde los 12 hasta los 18 metros, y en muchos casos no se ajustan a las dimensiones de los elementos estructurales, por lo que es necesario emplear empalmes. El más común de los empalmes consiste en traslaparlas en contacto una con la otra y amarradas con alambre, el cual suele ser práctico y económico en varillas de diámetros pequeños, mientras que, en barras de diámetros superiores, los costos aumentan debido a la longitud de traslape requerida y los posibles congestionamientos de refuerzo que se pueden presentar, por lo que también se usan empalmes mecánicos o soldados para evitar estos inconvenientes.

Estos empalmes generan concentraciones de esfuerzos que no son recomendables, por lo que se deben evitar en secciones críticas y en lo posible hacer coincidir los empalmes en una misma sección. En la longitud de traslape de cada una de las varillas se debe desarrollar el esfuerzo de fluencia cuando es sometido a flexión, de esta manera la fuerza se trasmite entre las barras, así como por el concreto que las rodea por medio de la adherencia, donde también influye la capacidad del concreto y la presencia del refuerzo transversal que proporciona una acción confinante.

De acuerdo con la sección C.12.15 Empalmes de alambres y barras corrugadas en tracción, de la NSR-10, especifica que la longitud mínima del empalme por traslape en tracción debe ser la requerida para empalmes por traslapos Clase A o B, pero no menores de 300mm, la cual está en función de la longitud de desarrollo:



Empalme por traslapo Clase A: \_\_\_\_\_ 1.0Ld

Empalme por traslapo Clase B: \_\_\_\_\_ 1.3Ld

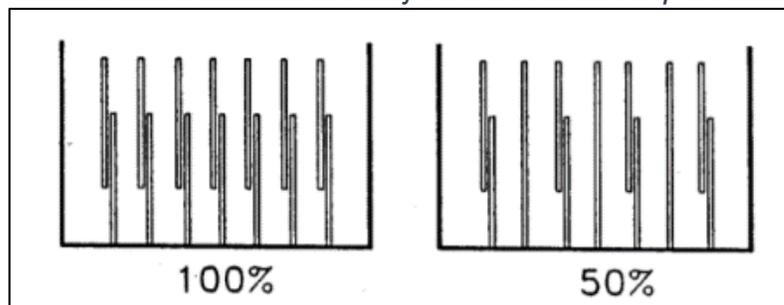
La siguiente tabla muestra los requisitos de traslapos según la NSR-10:

**Tabla 1:** Empalmes por traslapo en tracción.

$A_s$ proporcionado $A_s$ requerido	Porcentaje máximo de $A_s$ empalmado en la longitud requerida para dicho empalme	
	50	100
Igual o mayor que 2	Clase A	Clase B
Menor que 2	Clase B	Clase B

Fuente [6]

**Ilustración 1:** Porcentajes de acero traslapado.



Fuente [7]

En el caso de las barras de refuerzo GFRP, la longitud necesaria para la transmisión eficaz de la resistencia entre dos barras cuando están traslapadas, se aconseja efectuar un empalme con una longitud de 40 veces el diámetro de la barra.

### Longitud de desarrollo.

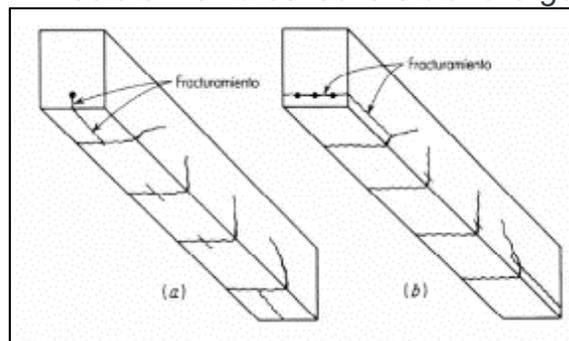
Es la distancia de la barra  $l_d$ , en donde se puede incrementar el esfuerzo desde 0 hasta el esfuerzo de fluencia  $F_y$  en la barra o, dicho de otra forma, es la distancia necesaria para que la barra no se desprenda del concreto. Cuando la distancia  $l_d$  es menor a la necesaria, los esfuerzos que actúan sobre el elemento son superiores a los de adherencia, lo que lleva a que el acero de refuerzo se desprenda del concreto;



Este tipo de falla provoca una fisuración del concreto en sentido longitudinal de la barra, ya sea vertical u horizontalmente.

Cabe resaltar que generalmente el fractura-miento inicia con una grieta en sentido diagonal, lo que quiere decir que la resistencia de adherencia y las fallas por cortante están relacionadas.

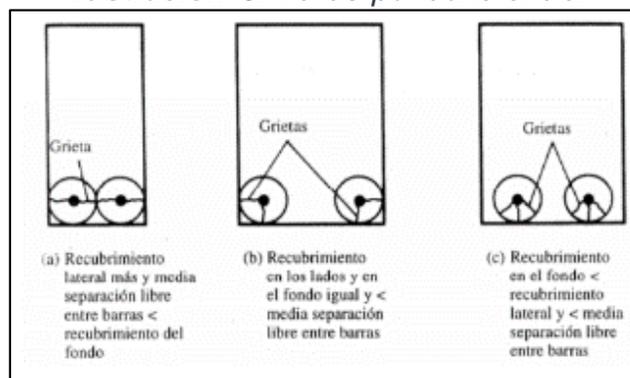
**Ilustración 2:** *Fracturamiento del concreto a lo largo del refuerzo.*



Fuente [8]

La resistencia al deslizamiento depende de diversos factores o características del elemento estructural, como el tipo de agregado presente en el concreto, el espaciamiento entre las barras de refuerzo o el espesor del recubrimiento de las mismas. Así mismo, para que no se presenten fallas por adherencia, la longitud de desarrollo también depende del diámetro de la barra, entre mayor es el diámetro, mayor será  $l_d$ , lo que permite desarrollar el esfuerzo de fluencia sin fallar.

**Ilustración 3:** *Fallas por adherencia.*



Fuente [8]



Existen algunos factores que pueden afectar la longitud de desarrollo y por lo tanto inducir en las fallas por adherencia, cuando en la parte inferior del refuerzo superior del elemento queda con demasiado concreto, se puede presentar exudación del agua de la mezcla y del aire presente, que durante la vibración se desplazan hacia arriba, quedando por debajo del refuerzo lo que genera pérdida en la resistencia de adhesión entre el concreto y el acero, lo que implica un aumento en la longitud de desarrollo en un factor de 1.3, para barras con más de 300mm de concreto fresco por debajo de ellas. Las sustancias epóxicas utilizadas en los refuerzos cuando las obras están en ambientes agresivos o en zonas costeras, también afectan la resistencia a la adherencia entre el acero y el concreto, lo que implica un factor multiplicador de 1.5 para la longitud de desarrollo.

Otro factor que afecta la  $l_d$  son las barras en paquete, que en ocasiones son convenientes ya sea por congestión de refuerzos, mejorar el vaciado del concreto o porque el refuerzo no cabe en la sección. Cuando se empaquetan 3 barras, ya sea en forma de triángulo o en L, la longitud de desarrollo debe aumentarse un 20% de la  $l_d$  de la barra individual para todas las barras del paquete, y cuando son paquetes de 4 barras, la longitud de desarrollo se debe aumentar en un 33% de la  $l_d$  de la barra individual. En casos de refuerzo en exceso que se presenta en determinadas obras, ya sea por requisitos de código o temas constructivos, la longitud de desarrollo se puede reducir multiplicándola por la relación entre el área requerida y la suministrada.

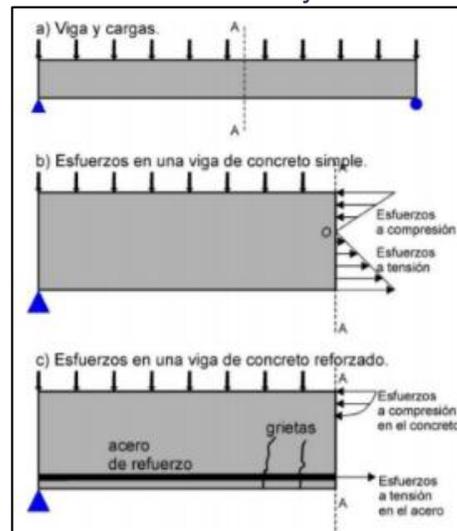
### **Trabajo a flexión.**

Como ya se sabe, el concreto cuando es sometido a esfuerzos es bastante resistente a compresión, pero no lo es a tensión, por lo que se ve la necesidad de reforzarlo con acero.

Cuando una viga es sometida a cargas externas, se presentan momentos a flexión, y cuando la viga es de concreto simple, es decir, sin refuerzo, los momentos

generados son resistidos por el par tensión-compresión que se presentan respecto a "O", como se muestra en la **Figura 6**, y que posteriormente la viga fallara repentina y completamente al aparecer la primera grieta. Cuando se adiciona acero de refuerzo, éste asumirá las fuerzas de tensión al aparecer la primera grieta en el elemento.

**Ilustración 4:** Trabajo a flexión.



Fuente [8]

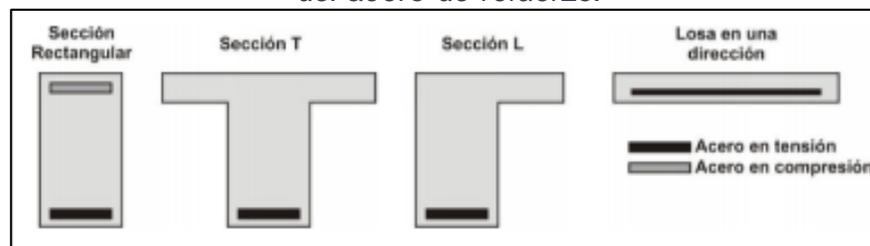
De acuerdo a este principio, se deben considerar dos parámetros básicos para el diseño de vigas en concreto reforzado. El dimensionamiento de la sección, el cual hace énfasis en la dimensión vertical del elemento, que tiene como fin asegurar deflexiones mínimas cuando el elemento es sometido a cargas de servicio, y a una dimensión horizontal adecuada. La determinación del área de acero de refuerzo y el complementario, en donde el acero de refuerzo determina la resistencia y el tipo de falla que se presentara, y el complementario se encargara de resistir otro tipo de efectos.

### **Tipos de geometría de vigas y posición de refuerzo.**



Las secciones más comunes de vigas que se presentan son las Rectangulares, en T y en L, y en ocasiones, las losas cuando trabajan en una sola dirección, también se pueden considerar como vigas. La sección rectangular, es la más usada en estructuras de concreto. Las secciones en T y en L, son usadas en ocasiones especiales, fundiendo monólicamente una sección rectangular con una franja de losa, formando un patín adicional y que proporciona una fuerza de compresión extra al elemento, y generando mayor resistencia al momento por flexión. Las losas macizas que trabajan en una dirección, son aquellos elementos apoyados en la totalidad de su perímetro o en algunos de sus apoyos, y la relación de sus lados, el corto y el largo, debe ser mayor a 2, y en donde el acero de refuerzo se considera por el lado más corto. En la ilustración 7 se muestran secciones y las posiciones del acero de refuerzo (parte inferior) que trabaja a flexión generada por las cargas de servicio y que el concreto no resiste, y el acero de refuerzo que trabaja a compresión (parte superior) en conjunto con el concreto. Esta distribución de los refuerzos, aplica cuando los momentos son positivos, y en el caso de que sean negativos, las posiciones se pueden invertir.

**Ilustración 5:** Clasificación de vigas por secciones geométricas y por la función del acero de refuerzo.



Fuente [7]

### Adherencia.

En el concreto reforzado debe existir una correcta transmisión de los esfuerzos, y para que esto funcione correctamente, se debe garantizar una interface continua y adecuada entre el acero y el concreto, por lo tanto, el deslizamiento de las barras entre el concreto que lo rodea debe ser prácticamente nulo. La fuerza de adherencia



es la manera en que se garantiza que se cumpla este principio, y que a su vez asegura un correcto anclaje de las barras de refuerzo con el concreto. Los mecanismos de adherencia entre estos dos elementos, generalmente son influenciados por diferentes factores, tanto físico-químicos, como mecánicos.

Factores físico-químicos:

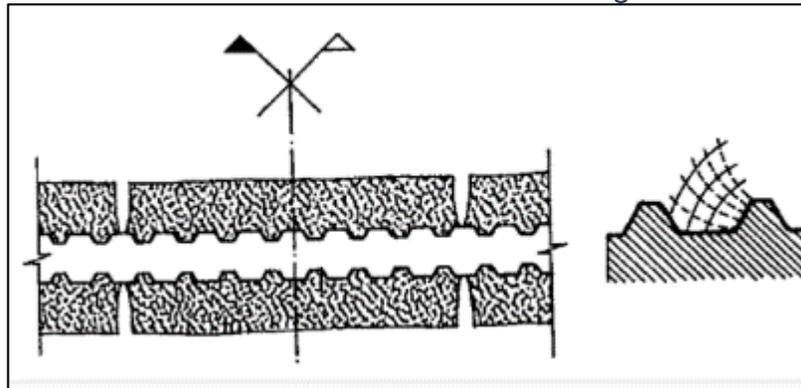
- Adhesión del acero con el concreto debido a fuerzas capilares.
- Interacción molecular.

Factores mecánicos:

- Rozamiento por la penetración del concreto en fisuras de las barras lisas.
- Acuñaamiento del concreto entre los resaltos de las barras corrugadas.

La adherencia es mayor en barras corrugadas, debido al aplastamiento que ejerce el concreto alrededor de las corrugaciones presentes en este tipo de varillas, lo que restringe su deslizamiento.

**Ilustración 6:** Efecto de acuña-miento del hormigón entre corrugas.



Fuente [7]



### 1.3.2 MARCO CONCEPTUAL.

Para desarrollar adecuadamente este proyecto de investigación y práctica, es importante conocer algunos conceptos claves y de esta manera entender cada uno de los procesos que se van desarrollando y explicando posteriormente.

#### **Barras GFRP.**

Las barras GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) están hechas con hilos de fibra de vidrio las cuales son impregnadas con una resina termofraguante, y que posteriormente son sometidas a tensión para lograr un comportamiento adecuado que lo constituya como un único elemento, el cual se conoce como proceso de pultrusión.

*Imagen 4: Elementos estructurales con barras GFRP.*



*Fuente [9]. Ver anexo [A].*

El producto terminado es capaz de resistir la corrosión y los álcalis, característica que lo hace un reemplazo adecuado del acero de refuerzo en estructuras de concreto, y adicionalmente para aumentar su capacidad de adhesión, son revestidas con granos de arena grueso en la parte exterior o con realces en la superficie.

#### **Ventajas:**



- Mayor durabilidad de las estructuras de Ingeniería Civil en las que están presentes.
- Reducción en los trabajos de reforzamiento y mantenimiento de elementos estructurales.
- Resistentes a la corrosión en presencia de sustancias agresivas y de iones cloro.
- Resistencia a la tracción superior a la del acero, aproximadamente de 1 a 2 veces.
- Su bajo peso con relación al del acero (una cuarta parte) facilitan el transporte y su manipulación.
- Transparentes a campos magnéticos y radiofrecuencias.
- Capacidad de aislamiento térmico y eléctrico.
- Resistentes a choques, cargas puntuales y repentinas.
- Excelente resistencia a la fatiga bajo cargas cíclicas.

#### **Usos:**

- Estructuras expuestas a sales anticongelantes, como cubiertas de puentes, losas de acercamiento, estructuras de estacionamientos, equipos para el almacenamiento de sal, entre otras.
- Estructuras expuestas a sales marinas, como diques, muelles, edificaciones en zonas costeras, plataformas en mar abierto, escolleras artificiales o rompeolas, estructuras especiales para criaderos marinos, acuarios o parques de diversiones.
- Estructuras expuestas a elementos agresivos, como instalaciones para tratamientos de aguas, instalaciones petroquímicas, tinas para decapado y galvanización, equipos para escorias nucleares, cubas para refinación electrolítica, entre otros.



- Estructuras con secciones finas, como elementos prefabricados para usos arquitectónicos como cornisas o balcones.
- Estructuras para aplicaciones electromagnéticas, como laboratorios de exámenes de resonancia magnética en hospitales, edificios para calibración de instrumentos, instalaciones militares, torres de control en aeropuertos, estaciones de transformación del sector eléctrico, entre otros.
- Estructuras en el sector de la excavación, como túneles, pozos verticales o muros de contención.
- Adicionalmente son utilizadas para reparaciones estructurales de la madera, para cemento polimérico y en anclas.

### Propiedades Mecánicas:

*Tabla 2: Propiedades mecánicas genéricas de GFRP.*

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Esfuerzo de adhesión máximo (pull-out test)	11,6 MPa
Resistencia a la tracción - Barra de Ø16	655 MPa
Resistencia al corte - Barra de Ø16	140 MPa
Módulo de elasticidad a tracción	40800 MPa
Coeficiente de dilatación térmica (Basado en ACI 440)	
En dirección transversal	21 - 23 x 10 <sup>-6</sup> °C
En dirección longitudinal	6 - 10 x 10 <sup>-6</sup> °C
Dureza Barcol	mín. 60 (ASTM D2583)
Contenido de fibras de vidrio en peso	70% mínimo (ASTM D2584)
Peso específico	1,9 g/cm <sup>3</sup> (ASTM D792)

*Fuente [10]*

### Fibra.

Se denomina fibra a un objeto de origen natural o sintético que se muestra con forma de hilo muy delgado, su longitud se caracteriza alrededor de 100 veces su diámetro y estos varían de 0,1 y 0.13 mm.

### Fibra de vidrio.



La fibra de vidrio se obtiene a partir de un material orgánico que se enfría pero no se cristaliza, este se usa como un elemento de refuerzo junto con varios productos poliméricos. La fibra de carbono por poco es más fuerte y rígida, pero la de vidrio tiene una gran ventaja en cuanto a su economía y a sus propiedades específicas de resistencia, sus diámetros en la utilización como refuerzo van desde 9 y 23 micrones.

### **Polímero.**

El polímero se obtiene de forma sintética o natural, tiene alto peso molecular gracias a su cantidad ilimitada de moléculas.

### **Resina y matriz.**

Los requerimientos de las resinas utilizadas en este proceso son especiales, el principio general se basa en su aporte de resistencia frente a procesos químicos y sus cualidades están fijadas por su uso. Durante la etapa de procesamiento que sufre el polímero se conoce con el nombre de resina y luego del curado se le conoce como matriz, se conocen dos grandes grupos:

*Los Termoplásticos* que al ser calentados pasan a un estado líquido y se endurecen cuando son enfriados, su composición molecular tiene muy pocos entrecruzamientos, entre ellos se destaca, el polipropileno, polietileno, PVC, etc.

*Los Termoestables* que se descomponen químicamente al calentarse, esto se debe a que su estructura presenta muchos entrecruzamientos y estos impiden los desplazamientos de las moléculas, entre ellos se destaca, los epóxidos, los fenoles, la vinílica, etc.

En general la resina solamente cumple una función de unión (actúa como aglomerante), su objetivo principal es la configuración geométrica del material compuesto. La matriz es flexible y de poca resistencia, esta tiene el objetivo de



transmitir los esfuerzos que se generan de unas fibras a otras y luego a la superficie adyacente, también actúa para proteger las fibras de daños mecánicos y ambientales.

### **Forma.**

Se establece un tamaño de forma para la pieza a trabajar teniendo en cuenta las consideraciones mínimas y la normatividad, en este caso el tamaño de la barra debe ser el adecuado para que se pueda comparar el requerimiento de resistencia y deformación para el cual se va a usar.

### **Refuerzo.**

La función principal de las fibras de refuerzo en la dirección del eje de la fibra y de la carga es el aporte de una resistencia elevada a la tracción y alta rigidez, el refuerzo puede ser de origen natural o artificial, pero generalmente son más comerciales los sintéticos, los más usados en la ingeniería civil son: el vidrio, el basalto, el carbón y la aramida. El refuerzo debe elegirse considerando los espesores mínimos y las resistencias máximas proporcionadas, en el proceso de fabricación y adquisición debe verificarse la cantidad y calidad de la fibra, pues entre más alejado el eje neutro este aumenta su inercia y su rigidez, esto se logra usando las proporciones adecuadas de fibra de vidrio las cuales deben considerarse en las especificaciones de los fabricantes.

### 1.3.3 MARCO LEGAL.

A nivel mundial se han desarrollado normas que establecen los parámetros y especificaciones técnicas para el uso de las barras de refuerzo GFRP en estructuras de concreto reforzado, entre los que se encuentran algunos de los siguientes códigos de construcción y guías de diseño:



## Colombia:

**NTC 6280:2018** – *Especificaciones para polímeros reforzados con fibras.*

En esta norma se enumeran los requisitos que se deben considerar en la fabricación de polímeros de fibra de vidrio que serán usados en elementos tipo malla que hacen parte de componentes no pre-esforzados de concreto para puentes, edificios y estructuras marítimas.

## Asia y Japón:

***Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforced Materials – 2007 (JSCE)***. En 1989 el Comité de Concreto de la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles establece un "Comité de Investigación sobre Materiales de Refuerzo Continuo de Fibras (CFRM), el cual realiza estudios sobre parámetros de diseño de estructuras para enfrentar aspectos como la durabilidad y sobre la metodología de ensayo sobre este tipo de material.

Posteriormente en 1992 se publica el trabajo realizado en la revista Concrete Library, No 72, mediante un informe sobre la "aplicación de materiales de refuerzo de fibra continua a estructuras de hormigón". En 1996 se publica el segundo trabajo de investigación en la revista Concrete Library No 88, en donde se incluyen las recomendaciones de diseño y construcción, métodos de prueba estándar, especificaciones y los datos necesarios para el uso de materiales de refuerzo de fibra continua.

## Italia:

***CNR-DT 203/2006 Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber Reinforced Polymer Bars – Consejo Nacional de Investigación Italiana***: Este documento que hace parte de una serie de documentos emitidos por la CNR (Comité Asesor de Recomendaciones Técnicas para la Construcción) que



establecen parámetros de diseño para el uso de polímeros reforzados con fibra FRP, hace referencia al uso de estos elementos en sustitución del acero convencional como refuerzo interno de elementos estructurales de hormigón, en donde se hacen análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los FRP, métodos de diseño y características generales, considerando su uso en diferentes partes del mundo y las grandes ventajas que ofrece sobre el acero convencional.

### **Canada:**

**CSA S806-12** – *Design and construction of building structures with fiber-reinforced polymers. (CSA Standards).*

**CSA S6-14** – *Canadian Highway Bridge Design Code*: Esta norma establece los parámetros de diseño de elementos de construcción elaborados en polímeros reforzados con fibra FRP, que serán utilizados en componentes reforzados para la construcción de edificios, dentro de los cuales incluyen barras, esteras, tendones, láminas, rejillas, mechas y laminados.

### **Estados Unidos:**

**ACI 440.1R-15** - *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars*. En esta guía se especifican generalidades de los refuerzos FRP como su historial de uso a nivel mundial, sus características y propiedades físico mecánicas, así como especificaciones y parámetros de diseño y construcción de elementos estructurales de hormigón reforzado con este tipo de materiales.

**AASHTO LRFD 2009** - *Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete*. Esta guía de diseño, describe las propiedades físico-mecánicas de los materiales compuestos de polímero reforzado en fibra de vidrio GFRP, y las especificaciones de diseño y construcción de plataformas y barandas para puentes



en concreto reforzado con barras GFRP. Adicionalmente se incluyen los avances y nuevas especificaciones para los materiales, que se han obtenido en diferentes experiencias de campo.

***ACI 440.2R-08 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.***

**Panamá:**

***REP 2014 – Reglamento Estructural Panameño. Capítulo 13. Materiales Compuestos Avanzados:*** Este reglamento busca establecer una normatividad adecuada y moderna, actualizando conocimientos previos, teniendo en cuenta los últimos métodos de diseño y los nuevos materiales de construcción. El capítulo 13 de este reglamento, referencia las normas internacionales a considerar para el diseño de estructuras de concreto reforzado con barras de Polímeros reforzados con fibras.

**Europa:**

***FIB Task Group 9.3 – Bulletin 40 – FRP Reinforcement in RC Structures – 2007***

El Boletín FIB-40, es un informe técnico sobre el uso de las barras FRP que son utilizadas para el refuerzo interno de elementos estructurales en concreto reforzado, donde se tratan las principales propiedades mecánicas y físicas de las armaduras de PRFV. Adicionalmente por ser un material relativamente nuevo en la construcción, proporciona conocimientos básicos para su aplicación, así como productos típicos disponibles en el mercado internacional.



## 1.4 ESTADO DEL ARTE.

Con el presente trabajo se quiere estudiar el comportamiento de elementos estructurales en concreto reforzado con barras GFRP, así como determinar una longitud de traslapes que garantice una transmisión de esfuerzos adecuada. A continuación, se señalan diferentes estudios que se han realizado en los últimos años referentes al tema de estudio:

**Objetivo:** Evaluar propiedades físico mecánicas del concreto reforzado con barras de FRP, en este caso resistencia a la flexión y adherencia, sobre vigas de sección rectangular. Para el desarrollo del trabajo, se realizaron ensayos de flexión, y para el análisis cualitativo de la adherencia se utilizaron el Microscopio Electrónico de Barrido y el Microscopio Estereoscópico, equipos instalados en la Universidad Nacional con sede en Medellín.

### IDENTIFICACION:

*De la Cruz Morales, Claudia Jenny, "Resistencia a la Flexión y adherencia en vigas de hormigón armado con barras de polímeros reforzados con fibra FRP", Maestría en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín 2004.*

### CONCLUSION.

- Al evaluar la resistencia en las vigas de concreto simple y las de concreto reforzado con acero y barras FRP, se observa un incremento en la resistencia de las vigas reforzadas.
- El módulo de rotura en las vigas reforzadas con polímero plano, es mayor que las reforzadas con acero convencional.
- La adherencia de las barras FRP, garantiza que la falla se da por el aplastamiento del mortero, mas no por el desprendimiento del refuerzo.



Los resultados obtenidos garantizan un buen comportamiento de elementos estructurales reforzados con barras FRP.

**(Muestras a los 28 días de edad)**

- Vigas patrón en concreto simple con arena Ottawa (160x40x40) mm:  
Resistencia (Kgf) = 227  
Momento (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 794  
Módulo Rotura (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 74.5
- Vigas en concreto reforzado con acero corrugado de 4.49 mm y arena de Ottawa (160x40x40) mm:  
Resistencia (Kgf) = 437.5  
Momento (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 1312.5  
Módulo Rotura (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 123
- Vigas en concreto reforzado con acero corrugado de 4.49 mm y arena normal (140x40x40) mm:  
Resistencia (Kgf) = 427.4  
Momento (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 1280  
Módulo Rotura (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 120.3
- Vigas en concreto reforzado con Barras FRP sección circular de 9.44 mm y arena normal (140x27x27) mm:  
Resistencia (Kgf) = 214  
Momento (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 642  
Módulo Rotura (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 195.7
- Vigas en concreto reforzado con Barras FRP plano de espesor e=5mm, ancho b=29mm, longitud L=260mm y arena normal (285x50x50) mm:  
Resistencia (Kgf) = 551



Momento (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 3310

Módulo Rotura (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 158.5

- Vigas en concreto reforzado con barras FRP sección circular de 21.86 mm y arena normal (285x50x50) mm:

Resistencia (Kgf) = 676

Momento (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 4060

Módulo Rotura (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 194.5

**Objetivo:** Definir un método de diseño para elementos de hormigón armado con redondos de fibra de vidrio, considerando directrices existentes en códigos y guías vigentes.

#### IDENTIFICACION.

*Almerich Chulia, Ana Isabel, "Diseño, según estados límites, de estructuras de hormigón armado con Redondos de fibra de vidrio GFRP", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. España 2010*

#### CONCLUSION.

- Definir un método de diseño para elementos de hormigón armado con redondos de fibra de vidrio, considerando directrices existentes en códigos y guías vigentes.
- Una vez recolectados los resultados de los ensayos de tracción, compresión, cortante y adherencia para determinar las características mecánicas de las probetas, se busca la ratificación de los resultados por parte del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) con el fin de ratificar su uso como armadura en elementos de hormigón armado.



El comportamiento de los redondos de GFRP que fueron ensayados, es adecuado cuando son sometidos a cargas de compresión, por lo tanto, se determina que son óptimos para su uso en elementos estructurales que trabajan a compresión.

Para evitar una ruptura frágil de las barras de fibra de vidrio, se recomienda el uso de la armadura mínima en elementos de hormigón armado de acuerdo al modelo analítico. Esta teoría se ratifica con los resultados obtenidos con respecto a la deformación calculada teóricamente y experimentalmente, donde los valores se correlacionan satisfactoriamente. Se deben desarrollar estudios experimentales más profundos para determinar la resistencia a tracción mediante ensayos de flexión, y de esta manera obtener parámetros aplicables para el uso de barras GFRP.

#### **Síntesis de los resultados.**

Características generales que determinan el comportamiento mecánico de los redondos ensayados (8, 10, 12, 16, 20, 25 y 32 mm), considerándolos como valores característicos del material para el diseño y comprobación de secciones:

- **Tracción:**

Módulo Elasticidad (MPa) = 38.555

Tensión de rotura (MPa) = 676.25

Alargamiento unitario a rotura = 3.11%

- **Compresión:**

Tensión de rotura (MPa) = 318.17

Módulo Elasticidad (MPa) = 42.055

Acortamiento unitario a rotura = 0.76%

- **Adherencia:**

Resistencia a la adherencia (MPa) = 5.91



Deslizamiento = 1mm

Longitud de anclaje obtenida = 18.75 veces el diámetro de la barra.

**Objetivo:** Comparar el comportamiento de diferentes barras corrugadas de refuerzo de diferentes materiales, como acero, acero inoxidable, fibra de basalto y fibra de vidrio, cuando son sometidas a diferentes ensayos geométricos, ponderales y de tracción. Adicionalmente, se hace un estudio cualitativo de los diferentes tipos de barras, con respecto a su capacidad de adecuación en la arquitectura sostenible.

#### IDENTIFICACIÓN.

*Torres Vergara, Javier. "Estudio comparativo de barras corrugadas de diferentes materiales para armar hormigón" Trabajo final de estudios de grado, Universidad Politécnica de Valencia, España 2018 – 2019.*

#### CONCLUSIÓN.

- El comportamiento mecánico de las barras FRP después de los ensayos realizados, describe un diagrama elástico lineal sin fase plástica, que determina un comportamiento frágil sin deformaciones en la rotura, lo que permite alcanzar resistencias superiores a los que pueden obtenerse con los refuerzos en acero convencional o acero inoxidable.
- La relación peso resistencia es una ventaja sobre la del acero, ya que el bajo peso de las barras FRP en conjunto con una mayor resistencia, ofrecen mejores ventajas en el desarrollo de los diseños estructurales, así como desde el punto de vista de sostenibilidad.
- Estos refuerzos FRP aún se encuentran en fase de desarrollo por falta de normativas, guías de diseño e investigaciones, las cuales son necesarias para la obtención de datos que determinen las propiedades y características



suficientes para establecer su uso de manera confiable como refuerzo en elementos estructurales de hormigón.

### **Resultados de la resistencia a tracción de los diferentes tipos de barras ensayadas:**

Resistencia a tracción ( $R_m$ ): Se define por la normativa como la carga unitaria correspondiente a la carga máxima que soporta la muestra en el ensayo, medida en MPa”

- **Barra corrugada de acero 6mm:**

$R_m$  (MPa) = 662.22

- **Barra corrugada de acero inoxidable 6mm:**

$R_m$  (MPa) = 956.03

- **Barra GFRP 6mm:**

$R_m$  (MPa) = 896

- **Barra BFRP (Basalto) 6mm:**

$R_m$  (MPa) = 907.7

- **Peso de las barras (Kg/m).**

Barra acero = 0.2177

Barra acero inoxidable = 0.2147

Barra GFRP = 0.0595

Barra BFRP = 0.0825

- **Relación peso-resistencia.**

Barra acero =  $3.28 \cdot 10^{-4}$

Barra acero inoxidable =  $2.24 \cdot 10^{-4}$



Barra GFRP =  $6.64 \cdot 10^{-5}$

Barra BFRP =  $8.39 \cdot 10^{-5}$

**Objetivo:** Descripción de las características generales, ventajas, usos y consideraciones de las barras reforzadas de fibra de vidrio GFRP y su modo de manipulación y aplicación en concreto reforzado.

#### IDENTIFICACION.

*Barras reforzadas de fibra de vidrio. Ficha técnica. [www.fortius.be](http://www.fortius.be) Bélgica*

#### CONCLUSION.

Para la transmisión de la resistencia adecuada entre dos barras GFRP cuando están empalmadas en sus extremidades, es recomendable que dicho empalme tenga una longitud igual a **40 veces el diámetro de las barras empalmadas.**

**Objetivo:** Mediante ensayos de flexión sobre vigas de concreto reforzadas con barras FRP de vidrio o carbono empalmados, se estudian los efectos del diámetro de la barra y la longitud de empalme, en cuanto a la resistencia en la unión. Adicionalmente se evalúan las recomendaciones existentes para estos elementos y sus empalmes (ACI 440.1R-03, CAN / CSA-S806-02, ISIS-M03-01 y CAN / CSA-S6-00).

#### IDENTIFICACION.

*Brahim Benmokrane, Ragi Aly y Usama Ebead.*

*“Empalme traslapado por tracción de barras de refuerzo de FRP en concreto”*

*Structural Journal, American Concrete Institute, 1/11/2006*

#### CONCLUSION.

- Los resultados determinaron que el límite de tensión de las barras FRP es directamente proporcional a la longitud del empalme.



- Se concluye que el método de análisis de resistencia final, puede determinar la tensión máxima de las barras FRP cuando están traslapadas.

Adicionalmente, se describen las diferentes longitudes de empalme mínimas de acuerdo al diámetro, así como las resistencias de unión promedio.

- Tensiones de unión críticas correspondientes a la longitud de empalme en barras CFRP:

$$\varnothing 9.5\text{mm} (\#3) = 6.4 \text{ MPa}$$

$$\varnothing 12.7\text{mm} (\#4) = 4.4 \text{ MPa}$$

- Tensiones de unión críticas correspondientes a la longitud de empalme en barras GFRP:

$$\varnothing 15.9\text{mm} (\#5) = 4.1 \text{ MPa}$$

$$\varnothing 19.1\text{mm} (\#6) = 3.0 \text{ MPa}$$

“La fuerza de unión crítica de las barras FRP empalmadas, es inversamente proporcional al diámetro de la barra y la longitud del empalme”

- Longitudes de empalme crítico para barras CFRP:

$$\varnothing 9.5\text{mm} (\#3) = 70 \text{ db (650mm)}$$

$$\varnothing 12.7\text{mm} (\#4) = 90 \text{ db (1120mm)}$$

- Longitudes de empalme crítico para barras GFRP:

$$\varnothing 15.9\text{mm} (\#5) = 40 \text{ db (600mm)}$$

$$\varnothing 19.1\text{mm} (\#6) = 50 \text{ db (950mm)}$$



## 1.5 OBJETIVOS.

### 1.5.1 GENERAL.

Estudiar el comportamiento de elementos de concreto estructural sometidos a flexión y determinar la longitud mínima de traslapo en la que se garantice una transferencia adecuada de los Esfuerzos, usando barras de refuerzo GFRP.

### 1.5.2 ESPECÍFICOS.

- Evaluar esfuerzos de flexión en vigas de concreto reforzadas con varillas GFRP.
- Analizar el comportamiento a flexión del concreto reforzado con varillas de fibra de vidrio (GFRP), mediante el ensayo “resistencia a la flexión”, utilizando como refuerzo varillas N.3 revestidas con granos de arena, evaluando diferentes longitudes de traslapo.
- Identificar la configuración del traslapo más favorable para el comportamiento mecánico de las vigas reforzadas con barras GFRP y realizar su posterior comparación con la normatividad actual para vigas reforzadas con acero del mismo diámetro.

## 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.

La presente propuesta de trabajo pretende complementar e investigar una alternativa estructural para el uso del concreto reforzado con barras GFRP, por medio de ensayos de laboratorio y análisis de resultados así se determinará la influencia de los traslapos sobre el concreto.



### 1.6.1 ALCANCES.

Teniendo claros los objetivos, se pretenden desarrollar los ensayos necesarios para determinar la longitud mínima de traslapo en el concreto reforzado con varillas de fibra de vidrio, estos ensayos se realizarán con diferentes configuraciones de longitud y posteriormente realizar su evaluación de esfuerzos a flexión. Para realizar el ensayo a flexión se debe contar con 10 viguetas de aproximadamente (5cm\*10cm\*55cm), con diferentes longitudes de traslapo y dos viguetas de cada configuración, con el fin de comprobar el efecto causado en cada uno de los especímenes y así poder determinar cuál muestra el comportamiento más óptimo. Finalmente se realizará una comparación entre los resultados de los especímenes que muestran las condiciones más favorables y la norma actual para refuerzo con varilla de acero con en el mismo diámetro.

### 1.6.2 LIMITACIONES.

- Es necesario planear adecuadamente las fechas en las que se realizaran los ensayos y considerando el tiempo de curado de los elementos que componen el objeto de prueba, pues el desarrollo de esta propuesta está sujeta a la disponibilidad de los laboratorios de la universidad.
- Los equipos con los que cuenta la universidad limitan mucho las investigaciones, algunos son antiguos y limitan las dimensiones de los especímenes y otras veces no se cuenta con el software adecuado para hacer la implementación con los equipos electrónicos.
- Las dimensiones de la viga limitan los ensayos pues no se cuenta con un apoyo para levantar el elemento; esto indica que se debe moldear un elemento que sea pequeño para poderse levantar, pero lo suficientemente grande para poder evaluar correctamente lo que se requiere.
- En cuestiones de movilidad la pandemia ocasionada por el Covid-19 ha afectado bastante la recolección de la información, pues es más difícil tener acceso a investigaciones de peso como guía para el enfoque de la propuesta,



así mismo fue difícil la comunicación con los proveedores para la solicitud característica de las barras y sus costos.

## 1.7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo es necesario dividir en etapas, dentro de las cuales se debe considerar la recolección de la información, las herramientas a utilizar, la programación de los laboratorios, el análisis y las conclusiones obtenidas y finalmente la verificación de que los objetivos se hayan cumplido.

### Etapa 1 “*Recolección de la información*”.

Acá se considera tener en cuenta toda la documentación requerida para poder llevar a cabo satisfactoriamente la investigación, debemos considerar aspectos como:

- Documentación (Conceptualización, revisión bibliográfica, antecedentes, revisión documental, etc.)
- Selección del objeto de investigación.
- Planteamiento del problema y definición de los objetivos.
- Inicio de la construcción y propuesta de trabajo investigativo.

### Etapa 2 “*Diagnostico de la información*”.

Se debe identificar la viabilidad de los objetivos planteados con el fin de que sea provechosa la investigación y la situación que llevo a concluir la problemática, acá se consideran los siguientes aspectos.

- Análisis de la información.
- Cotizaciones de los materiales a trabajar y su facilidad de acceso.
- Estado de las investigaciones que se han hecho sobre el tema.

### Etapa 3 “*Modelación física*”.



En esta etapa de modelación se plantea como se va a trabajar la investigación y su puesta en práctica, donde se definen aspectos como:

- Desarrollo de las viguetas que van a ser objeto de análisis.
- Laboratorios y procesos.

Etapa 4 “**Documento final**”.

Finalmente se concluye en objeto de la investigación, entonces se consideran aspectos como:

- Análisis de los resultados de laboratorio.
- Cálculos correspondientes.
- Informe final.



## 2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Para la elaboración de los especímenes de prueba se empleó Arena de río normalizada, cemento Cemex, Grava común y barras de GFRP suministradas por la empresa Aritrec S.A. Estos materiales fueron transportados y acopiados en los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia, con el fin de realizar la caracterización de dichas materias primas y posteriormente el diseño de mezcla, cumpliendo a cabalidad las normas de ensayo de materiales INV E-13.

A continuación, se presentan los ensayos realizados a cada uno de los materiales usados en la elaboración de los especímenes y una breve explicación de la metodología usada en el laboratorio.

### 2.1 AGREGADOS

#### 2.1.1 AGREGADO FINO.

##### 2.1.1.1 Humedad natural.

Debido a que los agregados utilizados en mezclas de concreto presentan poros los cuales pueden estar llenos de agua gracias a su exposición a la intemperie y a diferentes factores climáticos o de almacenamiento, es de vital importancia determinar la humedad natural para determinar que nos aporta o nos influye en el diseño de mezcla. En este laboratorio determinaremos la cantidad de agua que contiene la arena de ríos estando en su estado natural, para realizar dicho procedimiento se tomó una muestra de 300g y posteriormente se lleva al horno a una temperatura de  $115 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.



*Imagen 5: Muestra de la arena de rio.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

Posteriormente se determina el contenido de humedad utilizando la siguiente formula.

$$w(\%) = \frac{W_n - W_s}{W_n} * 100$$

Donde:

**W<sub>n</sub>**: Peso natural de la muestra.

**W<sub>s</sub>**: Peso seco de la muestra.

- **Datos y resultados**

*Tabla 3: Determinación de la humedad natural*

Material	W. Inicial (g)	W. Seco (g)	W (%)
Arena de Rio	300	288,9	3,7

*Fuente: [Los autores]*

### 2.1.1.2 Densidad, densidad relativa y absorción.

En el siguiente procedimiento se determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de arena de rio, material utilizado para el cálculo de la dosificación en el diseño de mezcla; por medio de este ensayo se determina el aumento en la masa del agregado, esto debido a que el agua se va acumulando en los poros.



**Imagen 6:** Lavado de agregado fino “Muestra aleatoria en cantidad”



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

Como consideración general del ensayo se debe tener en cuenta que la muestra debe estar previamente lavada y seca a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas, cumpliendo estos requisitos se puede proceder a iniciar el ensayo. Se debe sumergir en agua la muestra de agregado previamente seco durante un periodo de 24 horas, esto con el fin de llenar los poros permeables. Pasado este tiempo se decanta la muestra, esto significa que cuidadosamente se retira el exceso de agua sin dejar perder material. Según lo que indica la norma se puede utilizar el método gravimétrico o volumétrico, para este caso se utilizó el procedimiento gravimétrico. Finalmente, la muestra se coloca en el horno para que seque y se determina su masa. A continuación, se muestra brevemente el procedimiento utilizado en la determinación de la densidad, densidad relativa y absorción.

**Imagen 7:** Materiales necesarios.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.



Luego del periodo de inmersión y de decantar la muestra, se inicia a extender el material y a proceder con el secado suministrando aire tibio con un secador, alternando la muestra y buscando que este alcance un estado SSS “Saturado Superficialmente Seco”.

**Imagen 8:** *Extendido y secado del material*



. Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

Se realiza la prueba de cono para asegurar que cumpla esta condición. (Para este caso la prueba de cono de arena se repitió 8 veces, ya que no contamos con la experticia necesaria para hallar el estado SSS con menos intentos).

**Imagen 9:** *Prueba de cono de arena.*



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.



Para la realización del procedimiento gravimétrico se debe llenar el picnómetro con agua destilada hasta la línea guía, seguidamente introducir 500g del agregado fino SSS. A continuación se extraen las burbujas de aire con una bomba.

*Imagen 10: Procedimiento gravimétrico.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

Eliminadas las burbujas de aire, la temperatura del picnómetro y la muestra deben ser ajustadas  $23 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ , esto se logra haciendo un baño maría. Finalmente se retira el agregado fino del picnómetro y se seca hasta una masa constante.

*Imagen 11: Toma de temperatura y proceso de secado de la muestra.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*



**Observación:** El procedimiento anteriormente descrito es un breve resumen de las actividades desarrolladas en el laboratorio, con el objetivo de evidenciar como se obtuvieron los resultados mostrados en los cálculos. La guía que especifica este procedimiento es la norma, **INV E – 222-13 “Densidad, Densidad relativa y Absorción del agregado fino”**.

- **Datos y resultados**

*Tabla 4: Datos obtenidos en el laboratorio.*

Símbolo	Definición	W (g)
<b>A</b>	masa al aire de la muestra seca al horno	492,9
<b>B</b>	masa del picnómetro aforado lleno de agua	683,6
<b>C</b>	masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	1007,6
<b>S</b>	masa de la muestra saturada y superficialmente seca (SSS)	500,1

*Fuente: [Los autores]*

Los datos obtenidos en el laboratorio registrados en la [Tabla 3] con su respectiva simbología, definición y unidad de medida, como está establecido en la sección 8 (cálculos), 8.1 (símbolos) de la norma E-222-13.

A. Para el cálculo de la Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH), la Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS) y la Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) se deben tener en cuenta las siguientes ecuaciones, de acuerdo con la sección 8.2 de la norma E-222-13. (Las ecuaciones planteadas, son para procedimiento gravimétrico)

Densidad relativa (gravedad específica):

$$SH = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Densidad relativa (gravedad específica):



$$SSS = \frac{S}{(B + S - C)}$$

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente):

$$\frac{A}{(B + A - C)}$$

**Tabla 5:** Cálculos densidad relativa

Parámetro	Formula	Resultado
Densidad relativa (gravedad específica) SH	$\frac{492.9 g}{(683.6 g + 500,1 g - 1007.6 g)}$	2,799
Densidad relativa (gravedad específica) SSS	$\frac{500,1 g}{(683.6 g + 500,1 g - 1007.6 g)}$	2,839
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	$\frac{492.9 g}{(683.6 g + 492,9 g - 1007.6 g)}$	2,918

Fuente: [Los autores]

B. Para el cálculo de la Densidad en condición seca al horno (SH), la Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) y la Densidad aparente se deben tener en cuenta las siguientes ecuaciones, de acuerdo con la sección 8.3 de la norma (Las ecuaciones planteadas, son para procedimiento gravimétrico).

Densidad kg/m<sup>3</sup>:

$$SH = \frac{997.5 * A}{(B + S - C)}$$

Densidad kg/m<sup>3</sup>:

$$SSS = \frac{997.5 * S}{(B + S - C)}$$

Densidad aparente kg/m<sup>3</sup>:

$$\frac{997.5 * A}{(B + A - C)}$$

**Observación:** Las constantes utilizadas corresponden a la densidad del agua a una temperatura de 23° C, teniendo en cuenta lo establecido por la norma.



**Tabla 6:** Cálculos de la densidad en condición seca al horno.

Parámetro	Formula	Densidad (kg/m3)
Densidad (SH)	$\frac{997.5 * 492.9 g}{(683.6 g + 500,1 g - 1007.6 g)}$	2791,980
Densidad (SSS)	$\frac{997.5 * 500,1 g}{(683.6 g + 500,1 g - 1007.6 g)}$	2832,764
Densidad aparente.	$\frac{997.5 * 492.9 g}{(683.6 g + 492,9 g - 1007.6 g)}$	2910,999

Fuente: [Los autores]

C. Para el cálculo de la Absorción en porcentaje, se debe tener en cuenta la siguiente ecuación, de acuerdo con la sección 8.4 de la norma E-222-13.

Absorción (%):

$$\frac{S - A}{A} * 100$$

**Tabla 7:** Porcentaje de absorción

Parámetro	Formula	% Total
Absorción (%)	$\frac{500,1 - 492,9}{492,9} * 100$	1,46

Fuente: [Los autores]

## 2.1.2 AGREGADO GRUESO.

### 2.1.2.1 Humedad natural.

Es de vital importancia determinar la humedad natural para determinar que nos aporta o nos influye en el diseño de mezcla. En este laboratorio determinaremos la cantidad de agua que contiene la grava estando en su estado natural, para realizar dicho procedimiento se tomó una muestra de 300.4g y posteriormente se lleva al horno a una temperatura de  $115 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.



**Imagen 12:** Muestra de la arena de río.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

Posteriormente se determina el contenido de humedad utilizando la siguiente formula.

$$w(\%) = \frac{W_n - W_s}{W_n} * 100$$

Donde:

**Wn:** Peso natural de la muestra.

**Ws:** Peso seco de la muestra.

- **Datos y resultados**

**Tabla 8:** Determinación de la humedad natural del agregado fino.

Material	W. Inicial (g)	W. Seco (g)	W (%)
Arena de Rio	300,4	298,3	0,7

Fuente: [Los autores]

### 2.1.2.2 Análisis granulométrico.

En el análisis granulométrico se determina que distribución de tamaño tiene las partículas de los agregados que se van a utilizar, este procedimiento se realiza por medio del tamizado. Los tamices que se van a usar en este procedimiento son: 1", ¾", ½", 3/8", #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #80, #100, #200, Fondo.



*Imagen 13: Análisis granulométrico de los agregados.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

La muestra de material fue sometida al cuarteo con el fin de garantizar su homogeneidad, seguido de esto se escoge la muestra y se procede con el tamizado según lo especificado en la norma.

**Observación:** El procedimiento anteriormente descrito es un breve resumen de las actividades desarrolladas en el laboratorio, con el objetivo de evidenciar como se obtuvieron los resultados mostrados en los cálculos. La guía que especifica este procedimiento es la norma, **INV E – 213-13 “Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino”**.

- **Datos y resultados:**

Los datos obtenidos de acuerdo al análisis granulométrico de los agregados grueso y fino de acuerdo a la norma se muestran en la Tabla 7, también describe la clasificación de acuerdo al tamaño de las partículas que pasan por los tamices (gravas, arenas medias y arenas finas). Para el cálculo se deben tener en cuenta las siguientes ecuaciones.

$$\% \text{retenido parcial} = \frac{\text{peso retenido} \cdot 100}{\text{peso inicial}}$$



%pasante = 100-%retenido acumulado

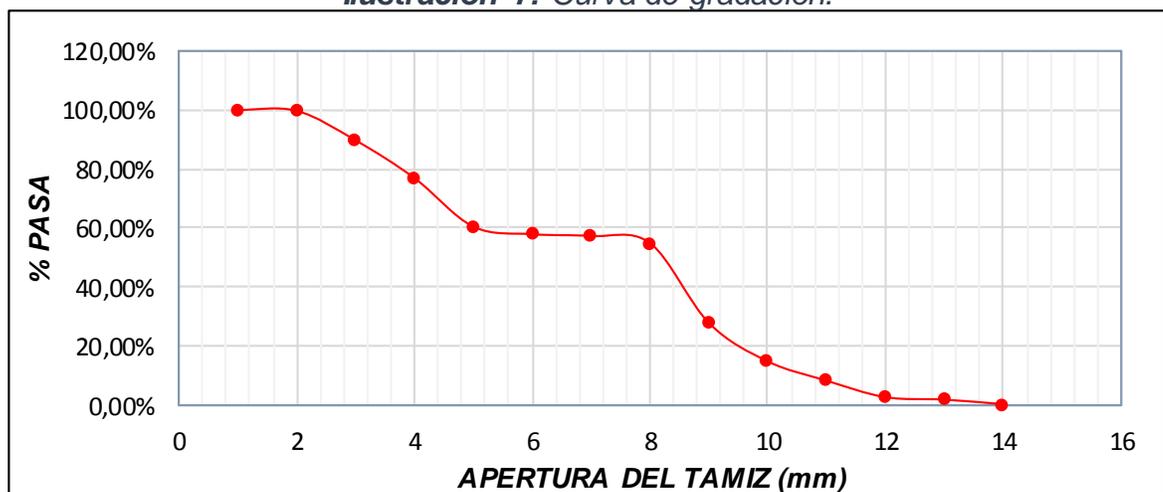
%retenido acumulado =  $\sum$ %retenido parcial

**Tabla 9: Análisis granulométrico**

Tamiz	Abertura (mm)	T. finos	W. Ret (g)	% Ret Parcial	% Pasa	% Ret Acu	Agregado
1"	25,40		0,00	0,00	1,00	0,00	GRAVAS
3/4"	19,00	*	7,10	0,00	1,00	0,00	
1/2"	12,70	*	209,70	0,10	0,90	0,10	
3/8"	9,50	*	268,50	0,13	0,77	0,23	
#4	4,75	*	345,10	0,16	0,60	0,40	
#8	2,36	*	53,80	0,03	0,58	0,42	ARENA MEDIA
#10	2,00		13,00	0,01	0,57	0,43	
#16	1,18	*	50,20	0,02	0,55	0,45	
#30	0,60	*	567,70	0,27	0,28	0,72	
#40	0,420		273,50	0,13	0,15	0,85	
#50	0,30	*	137,10	0,07	0,08	0,92	ARENA FINA
#80	0,177		117,40	0,06	0,03	0,97	
#100	0,15	*	17,20	0,01	0,02	0,98	
#200	0,074		32,80	0,02	0,00	1,00	
Fondo	0,00		7,60	0,00	0,00	1,00	

Fuente: [Los autores]

**Ilustración 7: Curva de gradación.**



Fuente: [Los autores]



Para el cálculo del módulo de finura, se consideran simplemente los valores de los tamices indicados con (\*) en la [Tabla 9].

**Tabla 10: Resumen del método**

<b>Total de material inicial (g)</b>	<b>2101,2</b>
Total, material peso retenido (g)	2100,70
Eficiencia	99,98%
Material perdido	0,02%
Módulo de finura combinado	4,2

Fuente: [Los autores]

A continuación, se determina el análisis granulométrico del material fino.

**Tabla 11: Análisis granulométrico del agregado fino.**

Tamiz	Abertura (mm)	W. Ret (g)	%Ret. Parcial	% Ret. Acu	% Pasa
#4	4,75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#8	2,36	53,80	4,24%	4,24%	95,76%
#10	2,00	13,00	1,02%	5,26%	94,74%
#16	1,18	50,20	3,95%	9,21%	90,79%
#30	0,60	567,70	44,69%	53,90%	46,10%
#40	0,42	273,50	21,53%	75,43%	24,57%
#50	0,30	137,10	10,79%	86,22%	13,78%
#80	0,18	117,40	9,24%	95,47%	4,53%
#100	0,15	17,20	1,35%	96,82%	3,18%
#200	0,07	32,80	2,58%	99,40%	0,60%
Fondo	0,00	7,60	0,60%	100,00%	0,00%

<b>Total, material peso retenido (g)</b>	<b>1270,3</b>
Módulo de finura	2,50

Fuente: [Los autores]

### 2.1.2.3 Densidad, densidad relativa y absorción.

En el siguiente procedimiento se debe sumergir la muestra de material por un periodo de 24 horas, esto con el fin de llenar sus poros permeables, pasado este tiempo las partículas que componen el agregado deben ser secadas



superficialmente, para ello debemos usar un paño o toalla. Finalmente se determina el volumen de la muestra utilizando el método del desplazamiento.

Después del periodo de inmersión es necesario secar las partículas pasándolas suavemente por un paño absorbente, este procedimiento se realiza hasta que se elimine el agua de forma superficial.

*Imagen 14: Preparación y secado de la muestra de agregado grueso.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

Se debe colocar la muestra en el interior de una canasta metálica para poder determinar su masa sumergida, este procedimiento debe ser realizado con bastante lentitud para no incluir aire en la muestra antes de determinar su masa.

*Imagen 15: Proceso de inmersión de la muestra.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*



Finalmente, la muestra se lleva al horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante, dejar enfriar y pesar.

**Observación:** El procedimiento anteriormente descrito es un breve resumen de las actividades desarrolladas en el laboratorio, con el objetivo de evidenciar como se obtuvieron los resultados mostrados en los cálculos. La guía que especifica este procedimiento es la norma, **INV E – 223-13 “Densidad, Densidad relativa y Absorción del agregado grueso”**.

- **Datos y resultados:**

*Tabla 12: Datos obtenidos en el laboratorio.*

Símbolo	Definición	W (g)
A	Masa al aire de la muestra seca al horno	3946,7
B	Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca	4000
C	Masa aparente de la muestra saturada en agua	2477,6

*Fuente: [Los autores]*

Los datos obtenidos en el laboratorio se registraron en la [Tabla 9] con su respectiva simbología, definición y unidad de medida, como está establecido en la sección 8 (cálculos) de la norma.

1. Para el cálculo de la Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH), la Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS) y la Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) se deben tener en cuenta las siguientes ecuaciones, de acuerdo con la sección 8.1 de la norma E-223-13.

Densidad relativa (gravedad específica)

$$SH = \frac{A}{(B - C)}$$

Densidad relativa (gravedad específica)



$$SSS \frac{B}{(B - C)} =$$

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

$$\frac{A}{(A - C)}$$

**Tabla 13:** Cálculo de la densidad relativa

Parámetro	Formula	Resultado
Densidad relativa (gravedad específica) SH	$\frac{3946.7 \text{ g}}{(4000 \text{ g} - 2477.6 \text{ g})}$	2,592
Densidad relativa (gravedad específica) SSS	$\frac{4000 \text{ g}}{(4000 \text{ g} - 2477.6 \text{ g})}$	2,627
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	$\frac{3946.7 \text{ g}}{(3946.7 \text{ g} - 2477.6 \text{ g})}$	2,686

Fuente: [Los autores]

2. Para el cálculo de la Densidad en condición seca al horno (SH), la Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) y la Densidad aparente se deben tener en cuenta las siguientes ecuaciones, de acuerdo con la sección 8.2 de la norma.

$$\text{Densidad (SH) kg/m}^3 = \frac{997.5 * A}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad (SSS) kg/m}^3 = \frac{997.5 * B}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad aparente kg/m}^3 = \frac{997.5 * A}{(A - C)}$$

**Observación:** Adicionalmente, la constante utilizada corresponde a la densidad del agua a 23° C.



**Tabla 14:** Cálculo de la densidad en condición seca

Parámetro	Formula	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Densidad (SH)	$\frac{997.5 * 3946.7 \text{ g}}{(4000 \text{ g} - 2477.6 \text{ g})}$	2585,939
Densidad (SSS)	$\frac{997.5 * 4000 \text{ g}}{(4000 \text{ g} - 2477.6 \text{ g})}$	2620,862
Densidad aparente	$\frac{997.5 * 3946.7 \text{ g}}{(3946.7 \text{ g} - 2477.6 \text{ g})}$	2679,758

Fuente: [Los autores]

3. Para el cálculo de la Absorción en porcentaje, se debe tener en cuenta la siguiente ecuación, de acuerdo con la sección 8.4 de la norma E-223-13.

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B-A}{A} * 100$$

**Tabla 15:** Porcentaje de absorción

Parámetro	Formula	% Total
Absorción (%)	$\frac{4000 - 3946.7}{3946.7} * 100$	1,35

Fuente: [Los autores]

## 2.2 CEMENTO.

Las características físicas del cemento deben ser determinadas mediante ensayos, estos procedimientos se realizan en un laboratorio con las condiciones óptimas de humedad y temperatura con el fin de que este material cumpla lo establecido en la norma y posea la calidad deseada

### 2.2.1 DENSIDAD.

La densidad del cemento se relaciona al diseño y control de la mezcla, a partir de estas pueden deducir las características cuando es analizado en conjunto con otros materiales. Para determinar la densidad del cemento hidráulico, se debe llenar un



frasco de chatelier hasta un punto determinado donde se debe realizar una lectura inicial del volumen.

*Imagen 16: Determinación de la densidad del cemento.*



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

Luego se debe agregar una masa de cemento conocida, en este caso fueron 64g y se procede a tomar la lectura del volumen que alcanza el líquido debido al desplazamiento.

*Imagen 17: desplazamiento del cemento.*



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.



**Observación:** El procedimiento anteriormente descrito es un breve resumen de las actividades desarrolladas en el laboratorio, con el objetivo de evidenciar como se obtuvieron los resultados mostrados en los cálculos. La guía que especifica este procedimiento es la norma, **INV E – 307-13 “Densidad del cemento hidráulico”**.

- **Datos y resultados.**

**Tabla 16:** *Parámetros de partida.*

Datos	
W cemento (g)	64,0
T° Kerosene (°C)	19,0
Vol. Inicial (ml)	0,5
Vol. final (ml)	22,6

*Fuente: [Los autores]*

La densidad y la gravedad específica del cemento se calculan con las siguientes expresiones:

Densidad:

$$\rho = \left( \frac{M(\text{Mg})}{V(\text{m}^3)} \right) \text{ o } \frac{M(\text{g})}{V(\text{cm}^3)} = \frac{\text{Masa del cemento (g)}}{\text{Volumen desplazado (cm}^3\text{)}}$$

Gravedad específica:

$$S = \frac{\rho \text{ cemento}}{\rho \text{ agua (4}^\circ\text{C)}}$$

La densidad del agua a 4°C es 1000Kg/m<sup>3</sup>

Densidad del cemento.		Gravedad esp. del cemento	
Masa (g)	64,0	Densidad (g/ml)	2,9
Vol. Des (m <sup>3</sup> )	22,1	Den. agua (g/ml)	1,0
Densidad (g/ml)	2,9	S	2,9



## 2.2.2 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.

En la elaboración de mezclas de concreto, el agua permite la hidratación y consistencia de la mezcla. Al tener un exceso de agua se generan vacíos ocasionando fallas y deficiencia en la resistencia, por el contrario, una baja relación de agua provoca una mezcla difícil de trabajar y poca integración entre los demás agregados. Por medio de un aparato Vicat, se determina la cantidad de agua requerida para una muestra de concreto con consistencia normal.

Este procedimiento se inicia mezclando un porcentaje de agua destilada con 650g de cemento, se debe esperar 30s la absorción y debida integración de los elementos. Seguidamente se toma una porción de la muestra preparada y se moldea de forma circular, luego se realiza un lanzamiento horizontal de una mano a otra por 6 veces. Finalmente se toma el molde donde se va a introducir la pasta de cemento y dando un golpe seco se hace el llenado, se retiran los excesos y se lleva al Vicat.

*Imagen 18: Consistencia normal del cemento.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

El procedimiento anteriormente descrito se realizó 4 veces.



*Imagen 19: Medición de la consistencia en el vicat.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

**Observación:** El procedimiento anteriormente descrito es un breve resumen de las actividades desarrolladas en el laboratorio, con el objetivo de evidenciar como se obtuvieron los resultados mostrados en los cálculos. La guía que especifica este procedimiento es la norma, **INV E – 310-13 “Consistencia normal del cemento”**.

- **Datos y resultados.**

*Tabla 17: Resultados de penetración.*

% agua	Vol (ml)	Penetración (mm)
27	175,5	4
29	188,5	7
30	195,0	8
32	208,0	10,5

*Fuente: [Los autores]*

### 2.2.3 TIEMPOS DE FRAGUADO

El objetivo de este ensayo es determinar el tiempo inicial de fraguado de una pasta de cemento hidráulico. Es necesario preparar una muestra de cemento para realizar el ensayo para ellos se mezclan 500g de cemento con agua suficiente para obtener una penetración de  $32 \pm 4$ , preliminarmente ya se debe conocer la cantidad de agua



y la penetración inicial que se mide con el aparato de Vicat. La penetración final es tomada al pasar otro lapso de tiempo y la relación entre la penetración final y la inicial se calcula como el porcentaje de penetración final.

*Imagen 20: Determinación de tiempos de fraguado.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

**Observación:** El procedimiento anteriormente descrito es un breve resumen de las actividades desarrolladas en el laboratorio, con el objetivo de evidenciar como se obtuvieron los resultados mostrados en los cálculos. La guía que especifica este procedimiento es la norma, **INV E – 308-13 “Fraguado inicial del cemento portland”**.

- **Datos y resultados.**

*Tabla 18: Resultados en tiempos de fraguado.*

# Lectura	t (min)	Pen. (mm)	# Lectura	t (min)	Pen. (mm)	# Lectura	t (min)	Pen. (mm)
1	0	40	7	135	40	13	210	16
2	30	40	8	150	40	14	220	3
3	60	40	9	165	38	15	230	1,5
4	90	40	10	180	28	16	240	1
5	105	40	11	190	26	17	250	0,5
6	120	40	12	200	24	18	260	0

*Fuente: [Los autores]*



El tiempo de fraguado inicial de 25mm corresponde a la lectura 11 y 12 y por interpolación le corresponde un valor de 195 minutos.

El tiempo de fraguado final corresponde a la lectura en la que no se aprecia marca de penetración visible, la numero 18 que corresponde a 260 minutos.



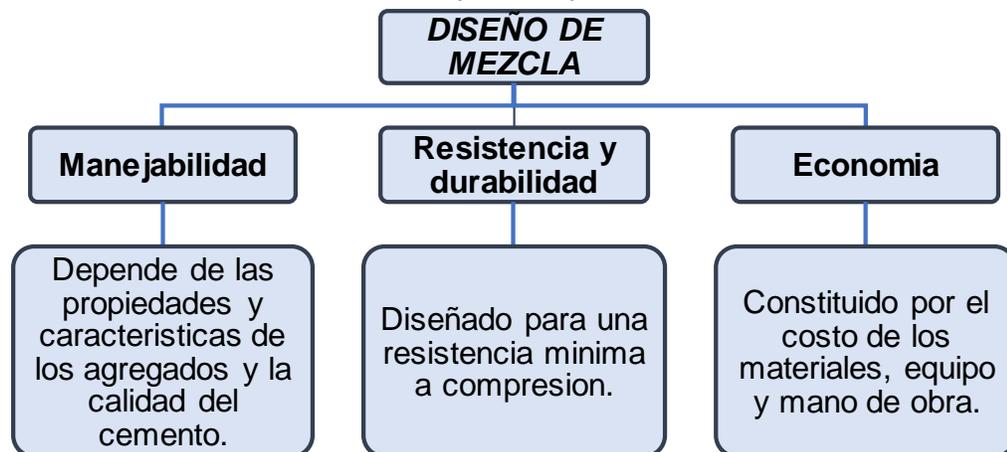
### 3 DISEÑO DE MEZCLA Y FABRICACIÓN

En el diseño de mezcla se deben considerar las proporciones que se van a usar para formar el concreto, es decir con la previa caracterización de las materias primas se procede a dosificar la mezcla con la finalidad de obtener los mejores resultados.

#### 3.1 DISEÑO DE MEZCLA

En el diseño de mezcla se debe considerar ante todo dos estados básicos, frescos y endurecidos. Dentro de los aspectos importantes para lograr una dosificación apropiada esta, la manejabilidad, la resistencia, la durabilidad y la economía. Sin embargo, este procedimiento aún se considera de carácter empírico, y aunque hay bastantes propiedades por considerar, la gran parte de su elaboración se basa en lograr una resistencia a compresión de acuerdo a su edad determinada, por último lo más importante es que se consideren las propiedades a cumplir cuando está en servicio estructuralmente.

*Ilustración 8: Elementos que componen el diseño de mezcla.*



Fuente [11]



Teniendo en cuenta la información obtenida en el capítulo anterior la realización del diseño de mezcla consta de los siguientes ítems:

- Análisis granulométrico.
- Peso unitario de los agregados finos y grueso.
- Peso específico de los agregados fino y grueso.
- Contenido de humedad de los agregados.
- Porcentaje de absorción de los agregados.
- Tipo y marca del cemento.
- Peso específico del cemento.
- Relación de agua/ cemento para la combinación con los agregados.

Para este diseño de mezcla se requieren dosificar un m<sup>3</sup> de concreto sin incluir aire y con una resistencia a la compresión baja de 2500PSI a los 28 días de edad. Este concreto va a ser utilizado en viguetas de 0.05m X 0.10m X 0.55m con refuerzo de fibra de vidrio N.3 y un recubrimiento mínimo de **0.03m**. Los resultados obtenidos en los laboratorios para los agregados y el cemento son los siguientes:

A. Elección del asentamiento.

Los valores recomendados para asentamiento se especifican en la siguiente tabla.

**Tabla 19: Determinación del asentamiento.**

ASENTAMIENTO (CM)	CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0-2,0	MUY SECA	MUY PEQUEÑO	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2,0-3,5	SECA	PEQUEÑO	Pavimentos vibrados con máquina mecánica

Fuente: [12]

B. Elección del tamaño máximo nominal del agregado.

A continuación se muestran los valores más recomendables dependiendo del tipo de construcción que se requiere.



**Tabla 20: Tamaño máximo nominal del agregado.**

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN MM (PULGADAS)			
	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6-15	12(1/2") - 19(3/4")	19(3/4")	19(3/4") - 25(1")	19(3/4") - 38(1 1/2")
19-29	19(3/4") - 38(1 1/2")	38(1 1/2")	38(1 1/2") - 76(3")	
30-74	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")
75 O MAS	38(1 1/2") - 76(3")	152(6")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3") - 152(6")

Fuente: [12]

El Tamaño Máximo corresponde al tamaño por el que pasa el 100% del agregado grueso, en este caso es 1".

El Tamaño Máximo Nominal corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que genera un porcentaje retenido entre el 5% y el 15%. En este caso es 1/2" con un % retenido de 9.98%.

#### C. Estimación del contenido de aire.

El contenido de aire influye en la manejabilidad y trabajabilidad de la mezcla de concreto, según el TMN del agregado, se determina el porcentaje promedio de aire.

**Tabla 21: Porcentaje de aire aproximado.**

AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICIÓN		
PULGADAS	mm		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0

Fuente: [12]

#### D. Determinación de la cantidad de agua.

La cantidad de agua para la mezcla influye en la adherencia, manejabilidad e hidratación, considerando que el agua entra en contacto con el cemento y proporciona propiedades de fraguado y endurecimiento con el fin de formar una pasta sólida.



**Tabla 22:** Elección de la cantidad de agua para la mezcla.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en $lt/m^3$ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1"-2")		75mm a 100mm (3"-4")		150mm a 175mm (6"-7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216

Fuente: [12]

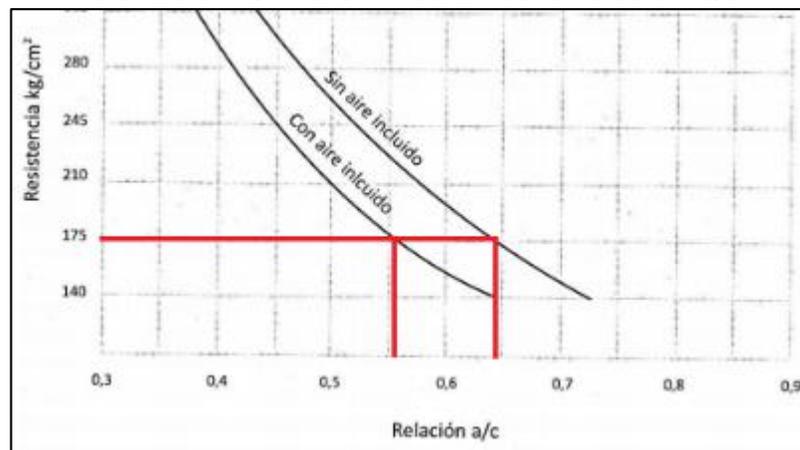
$$V_w = \frac{W_w}{\rho} \quad V_w = \frac{201kg}{1000kg/m^3}$$

$$V_w = 0.201m^3$$

#### E. Estimación de la relación agua/cemento.

Con la relación agua cemento se determinan los parámetros de durabilidad, resistencia, permeabilidad y acabado, siendo uno de los factores más importantes en el diseño de mezcla. Es de vital importancia que la relación a/c seleccionada satisfaga todos los requerimientos. Se debe elegir el mayor de los valores a fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos y especificaciones

**Ilustración 9:** Determinación de la relación a/c.



Fuente: [12]



**Tabla 23:** Determinación de la relación a/c.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS		CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)	CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)
Kg/cm <sup>2</sup>	PSI		
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,50
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,40	0,35

Fuente: [12]

F. Cálculo del contenido de cemento.

Partiendo de la relación agua cemento a/c para 1m<sup>3</sup>, se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_c = \frac{W_w}{R (a/c)} = \frac{\text{Contenido de agua mezclado } \left(\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Relacion para la resistencia escogida}}$$

$$W_c (\text{Kg}) = \frac{201 \text{ lt o } (201\text{kg en condiciones ideales})}{0.65}$$

$$W_c = 309.23 \text{ kg}$$

$$V_c (\text{m}^3) = \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso especifico del cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$V_c (\text{m}^3) = \frac{309.23\text{kg}}{2900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_c = 0.11\text{m}^3$$

G. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.

$$\text{MF agregado fino} = 2.5$$



**Tabla 24: Relación b/bo**

MÁXIMO TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADOS		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECADO EN EL HORNO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE AGREGADO FINO			
		MÓDULO DE FINURA			
PULGADAS	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: [12]

Se debe realizar una interpolación la cual arroja una relación de **0.58**.

Se debe tener en cuenta que la dosificación se va a realizar para 1 m<sup>3</sup>, por lo tanto se halla el volumen de agregado fino y grueso que va a tener el diseño de mezcla.

$$V_g + f = 1 - (V_c + V_a + V_w)$$

$$V_g + f = 1 - (0.11\text{m}^3 + 0.025 + 0.201)$$

$$V_g + f = 0.664 = 0.66\text{m}^3$$

De 0.66m<sup>3</sup> el 0.58% es de agregado grueso y 0.42% es de agregado fino.

H. Cálculo del volumen del agregado grueso y fino.

$$G = 0.66 * 0.58 = 0.394 \approx 0.39$$

$$G = 0.66 * 0.42 = 0.277 \approx 0.28$$

- Parámetros para el cálculo del peso y el volumen del agregado grueso.

Parámetro	Densidad kg/m <sup>3</sup>
Densidad (SH)	2585,939
Densidad (SSS)	2620,862
Densidad aparente	2679,758



$$\rho = \frac{W_c}{V_g}$$

$$W_g = \rho * 0.39 \quad W_g(m^3) = 2585.939 \text{ kg/m}^3 * 0.39$$

$$\mathbf{W_g(m^3) = 1008.52kg}$$

Cálculo del volumen del agregado grueso.

$$V_g = \frac{W_g}{G_e}$$

$$V_g (m^3) = \frac{1008.52 \text{ kg}}{2679.758 \text{ kg/m}^3}$$

$$\mathbf{V_g(m^3) = 0.376 \cong 0.38}$$

Parámetros para el cálculo del peso y el volumen del agregado fino.

Parámetro	Densidad kg/m <sup>3</sup>
Densidad (SH)	2791,980
Densidad (SSS)	2832,764
Densidad aparente	2910,999

$$\rho = \frac{W_c}{V_f}$$

$$W_f = \rho * 0.28$$

$$W_f(m^3) = 2791.98 \text{ kg/m}^3 * 0.28$$

$$\mathbf{W_f(m^3) = 781.754kg}$$

Cálculo del peso del agregado fino.

$$V_f = \frac{W_f}{G_e}$$



$$V_f (m^3) = \frac{781.754 \text{ kg}}{2910.999 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_f(m^3) = 0.268 \approx 0.27$$

Valores de diseño en el laboratorio

Material	Cantidad
Cemento (Kg)	309,23
Arena (m3)	0,27
Grava (m3)	0,38
Agua (lts)	201

I. Ajustes por humedad y absorción.

- Agregado grueso.

Humedad % = 0.7

% Absorción = 1.35

$$\text{Peso AG Humedo (kg)} = \text{PAGS} * \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$\text{Peso AG Humedo (kg)} = 1008.52 \text{ kg} * \left(1 + \frac{0.7}{100}\right)$$

$$\text{Peso AG Humedo (kg)} = 1015.58 \text{ kg}$$

Agua efectiva.

$$\text{Agua ag} = \text{Peso agregado grueso seco} * \frac{\%W_g - \%A_g}{100}$$

$$\text{Agua ag} = 1015.58 \text{ kg} * \frac{0.7 - 1.35}{100}$$

$$\text{Agua ag} = -6.29$$



- Agregado fino.

$$\text{Humedad \%} = 3.7$$

$$\% \text{ Absorción} = 1.46$$

$$\text{Peso Af Humedo (kg)} = \text{PAfS} * \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

$$\text{Peso Af Humedo (kg)} = 781.954\text{kg} * \left(1 + \frac{3.7}{100}\right)$$

$$\text{Peso Af Humedo (kg)} = \mathbf{810.89\text{kg}}$$

Agua efectiva.

$$\text{Agua ag} = \text{Peso agregado fino seco} * \frac{\%Wg - \%Ag}{100}$$

$$\text{Agua ag} = 781.954\text{kg} * \frac{3.7 - 1.45}{100}$$

$$\text{Agua af} = \mathbf{17.59}$$

$$\text{Afectiva} = \text{Adiseño} - (\text{Ag} + \text{Af})$$

$$\text{Afectiva} = 201\text{lt} - (-6.29\text{t} + 17.59)$$

$$\text{A. efectiva} = \mathbf{189.7 \text{ litros}}$$

Volumen final.

$$V(\text{m}^3) = Vc + Vw + Va + Vg + Vf$$

$$V(\text{m}^3) = 0.11 + 0.190 + 0.025 + 0.38 + 0.27$$

$$\mathbf{VT = 1.0}$$



J. Cálculo de las proporciones en peso.

Material	Cantidad	Dosificación
Cemento (kg)	309,23	1,00
Arena (kg)	810,89	2,70
Grava (kg)	1015,58	3,30
Agua (lts)	189,7	0,70

### 3.2 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS.

En la elaboración de las muestras se debe partir de la proporción calculada en la dosificación para un m<sup>3</sup> de cemento, conociendo esos valores se hace la relación para los volúmenes que se muestran a continuación.

**Tabla 25:** Determinación de los volúmenes de los especímenes de prueba.

Dimensión	Cilindros	Viguetas
H(m)	0,20	0,10
B (m)	0,10	0,05
A (m)	N/A	0,55
Cantidad	3	10
Área (m <sup>2</sup> )	0,01	0,005
Volumen m <sup>3</sup>	0,0016	0,0028
Vol. Total (m <sup>3</sup> )	0,0047	0,028

Fuente: [Los autores]

Por medio de una regla de 3 se determinan los volúmenes que se requieren en la fabricación de los especímenes, en este caso se contempló un desperdicio del 15% teniendo en consideración las condiciones de fabricación de las probetas.

**Tabla 26:** Dosificación para cilindros de concreto.

Material	Cantidad	Desperdicio	Cantidad real
Cemento (kg)	1,46	15%	1,68
Arena (kg)	3,82	15%	4,39
Grava (kg)	4,79	15%	5,50
Agua (lts)	0,89	15%	1,03

Fuente: [Los autores]



*Tabla 27: Dosificación para viguetas de concreto.*

Material	Cantidad	Desperdicio	Cantidad real
Cemento (kg)	8,50	15%	9,78
Arena (kg)	22,30	15%	25,64
Grava (kg)	27,93	15%	32,12
Agua (lts)	5,22	15%	6,00

*Fuente: [Los autores]*

Para la elaboración de los especímenes se tomó como referencia la norma **INV E 402-13 “Elaboración de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y flexión”**. El objetivo de esta norma es definir los procedimientos necesarios para la fabricación y curado de muestras de concreto llevando un estricto control de los materiales y las condiciones de los ensayos.

Previo a la fabricación de las muestras se debe considerar el almacenamiento del cemento en un lugar impermeable y seco, esto con el fin de prevenir el daño del material, así mismo con los agregados, estos deben ser incluidos en la mezcla de forma individual para evitar su segregación y posteriormente realizar la combinación.

*Imagen 21: Materiales utilizados para la fabricación de especímenes de concreto.*

*Fuente:*



*[Los autores] Vivienda ubicada en la localidad 4.*

Debido a las restricciones generadas por el COVID-19 y que ocasiono limitaciones de acceso al laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, se debió optar por efectuar una solución que permitiera cumplir los tiempos establecidos en el



cronograma de la propuesta de grado, dicha solución consistió en realizar la fabricación de moldes para cilindros y viguetas de concreto con materiales similares a los descritos en la norma. Considerando que no se conocía la fecha exacta de regreso a las instalaciones de la universidad, la fabricación de los especímenes se realizó en una vivienda ubicada en la localidad 4. Se efectuó la disposición de un espacio que permitiera asemejar todas las medidas de protección y almacenamiento de los materiales y muestras. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, aunque se asemejaron los espacios de trabajo, no se igualaron sus características.

### 3.2.1 CILINDROS DE CONCRETO

Es importante tener clara la información de la dosificación antes de iniciar el procedimiento para la fabricación de los cilindros de concreto, pues se debe iniciar tomando esas cantidades de material para concluir la mezcla. Los materiales requeridos en este numeral son, moldes para fundir especímenes de forma vertical, un martillo de goma para eliminar los vacíos, metro y una varilla para realizar la compactación, esta debe ser de acero y con uno de sus extremos hemisférico del mismo diámetro, para este caso y según los requerimientos de la norma se puede usar una varilla corta de aproximadamente 3/8" de diámetro y 12" de largo.

*Imagen 22: Materiales para la fabricación de cilindros de concreto.*



*Fuente: [Los autores] Vivienda ubicada en la localidad 4.*



De acuerdo a lo mencionado anteriormente (Numeral 3.2) el material usado para la fabricación de los moldes, en este caso para los cilindros fue un tubo de 4" de diámetro y 8" de altura con una base plástica, para garantizar su estabilidad, las piezas de unión fueron 2 abrazaderas localizadas uniformemente a lo largo de estos. Antes de proceder al llenado de estos se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Los materiales deben estar previamente mezclados uniformemente según las cantidades establecidas para la dosificación en el diseño de mezcla.
2. Los cilindros deben estar en su interior impregnados con una sustancia que evite la adherencia del material con la mezcla. El llenado se debe hacer en una superficie firme, lisa, limpia, rígida y no absorbente.

Los cilindros deben ser llenados en tres capas iguales con ayuda de un cucharón, además y usando una varilla, cada capa debe ser compactada en forma de espiral 25 veces, luego se procede a eliminar los vacíos con el martillo de goma, finalmente se completa este proceso enrasando la superficie del cilindro para darle un acabado liso.

*Imagen 23: Cilindros de concreto. Fuente:*



*[Los autores] Vivienda ubicada en la localidad 4.*

Las muestras deben dejarse fraguar por  $24 \pm 8$  horas, pasado este tiempo se desencofra y pasan inmediatamente al proceso de curado en un recipiente con agua que debe cubrir todas las caras de los especímenes.



**Observación:** Previamente a la fabricación de las muestras de concreto, se realizó un corte longitudinal en el molde, con el fin de facilitar el proceso de desmolde.

### 3.2.2 VIGUETAS

Es importante tener clara la información de la dosificación antes de iniciar el procedimiento para la fabricación de las viguetas de concreto reforzado con barras GFRP, pues se debe iniciar tomando esas cantidades de material para concluir la mezcla.

Los materiales requeridos en este numeral son, moldes para fundir especímenes de forma horizontal, un martillo de goma para eliminar los vacíos, metro y una varilla para realizar la compactación, esta debe ser de acero y con uno de sus extremos hemisférico del mismo diámetro, para este caso y según los requerimientos de la norma se puede usar una varilla corta de aproximadamente 3/8" de diámetro y 12" de largo.

*Imagen 24: Materiales para la fabricación de viguetas.*



*Fuente: [Los autores] Vivienda ubicada en la localidad 4.*

De acuerdo a lo mencionado anteriormente (Numeral 3.2) el material usado para la fabricación de los moldes, en este caso las viguetas, fueron láminas de maderas



debidamente apuntilladas y aseguradas con pegante, para garantizar su estabilidad. Los cofres de madera cumplen las siguientes dimensiones: Largo 0.55m, Ancho 0.05m, Alto 0.10m. Antes de proceder al llenado se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los materiales deben estar previamente mezclados uniformemente según las cantidades establecidas para la dosificación en el diseño de mezcla.
2. Las viguetas deben estar en su interior impregnados con una sustancia que evite la adherencia del material con la mezcla.
3. El llenado se debe hacer en una superficie firme, lisa, limpia, rígida y no absorbente.
4. Los traslajos de las barras en las viguetas se acomodaron de la siguiente manera: 2 viguetas sin refuerzo, 2 viguetas con refuerzo continuo, 2 viguetas con refuerzo traslapado de 0.10m, 2 viguetas con refuerzo traslapado de 0.15m, 2 viguetas con refuerzo traslapado de 0.20m.

*Imagen 25: Fabricación de viguetas de concreto reforzado con barras GFRP.*



*Fuente: [Los autores] Vivienda ubicada en la localidad 4.*



*Imagen 26: Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP*



. Fuente: [Los autores] Vivienda ubicada en la localidad 4.

Los moldes deben ser llenados en dos capas de 0.05m aproximadamente, por cada capa se deben dar 25 golpes en cada cara del eje para eliminar los vacíos, finalmente se enrasa dejando la superficie lisa y eliminando los excesos de material.

*Imagen 27: Desencofre de viguetas.*



Fuente: [Los autores] Vivienda ubicada en la localidad 4.

Las muestras deben dejarse fraguar por  $24 \pm 8$  horas, pasado este tiempo se desencofra y pasan inmediatamente al proceso de curado en un recipiente con agua que debe cubrir todas las caras de los especímenes.



### 3.2.3 PROCESO DE CURADO

Es el proceso que permite alcanzar la resistencia del concreto, se deben garantizar las condiciones óptimas de humedad y temperatura requeridas para que este alcance su resistencia. Para las primeras 48 horas de curado se debe garantizar la estabilidad de las muestras en un ambiente libre de vibraciones, luego del desmolde viene el curado húmedo en el cual los especímenes deben estar cubiertos de agua en forma libre y de manera continua. Esto se logra por medio de la inmersión de las muestras en un tanque de agua durante 28 días. Pasado este tiempo se dejan secar las muestras y se procede con los ensayos requeridos.



## 4 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN Y RESULTADOS

### 4.1 MECÁNICOS.

#### 4.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

La resistencia a la compresión en los cilindros de concreto debe ser diseñada de tal modo que se tenga una amplia variedad de propiedades, tanto mecánicas como de durabilidad y que cumplan con los requisitos mínimos de diseño, en este caso se realizó una dosificación para un concreto de baja resistencia siendo este de 2500PSI. La mayoría de las veces el concreto se evalúa a una edad normativa de 28 días, tiempo en el que debe alcanzar la resistencia para la cual se diseñó. Los resultados de los ensayos mecánicos, se utilizar para determinar que la mezcla, cumpla con los requerimientos específicos de resistencia. A continuación, se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia para las diferentes muestras de concreto convencional.

- **Resultados de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto.**

*Imagen 28: Cilindros de concreto a fallar.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*



**Imagen 29:** Ensayo de resistencia a la compresión.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

A. Cilindro número 1.

**Tabla 28:** Dimensiones del cilindro N.1

∅ Prom. (m)	Altura prom. (m)	Peso (kg)	Carga Max (kN)
0,107	0,216	4,320	87,700

Fuente: [Los autores]

**Imagen 30:** Cilindro número 1.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

Tipo de falla: Cónica transversal.



**Tabla 29:** Resultados obtenidos cilindro N1.

<b>Resistencia a la compresión.</b>			
<b>28 Días</b>		<b>100%</b>	
Área (m <sup>2</sup> )	0,009	Área (mm <sup>2</sup> )	8992
Carga (kN)	87,700	Carga (N)	87700,0
E (MPa)	9,753	E (PSI)	1423,346
Ec (MPa)	14678,069		

Fuente: [Los autores]

B. Cilindro número 2.

**Tabla 30:** Dimensiones del cilindro N.2

∅ Prom. (m)	Altura prom. (m)	Peso (kg)	Carga Max (kN)
0,107	0,210	4,288	126,900

Fuente: [Los autores]

**Imagen 31:** Cilindro número 2.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

Tipo de falla: Cónica transversal.

**Tabla 31:** Resultados obtenidos cilindro N2.

<b>Resistencia a la compresión.</b>			
<b>28 Días</b>		<b>100%</b>	
Área (m <sup>2</sup> )	0,009	Área (mm <sup>2</sup> )	8992
Carga (kN)	126,900	Carga (N)	126900,0
E (MPa)	14,113	E (PSI)	2059,551
Ec (MPa)	17656,310		

Fuente: [Los autores]



C. Cilindro numero3.

**Tabla 32: Dimensiones del cilindro N.3**

∅ Prom. (m)	Altura prom. (m)	Peso (kg)	Carga Max (kN)
0,108	0,208	4,218	141,400

Fuente: [Los autores]

**Imagen 32: Cilindro número 3. Fuente:**



[Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

Tipo de falla: Cónica transversal

**Tabla 33: Resultados obtenidos cilindro N3.**

Resistencia a la compresión.			
28 Días		100%	
Área (m <sup>2</sup> )	0,009	Área (mm <sup>2</sup> )	9093
Carga (kN)	141,400	Carga (N)	141400,0
E (MPa)	15,550	E (PSI)	2269,360
Ec (MPa)	18533,837		

Fuente: [Los autores]

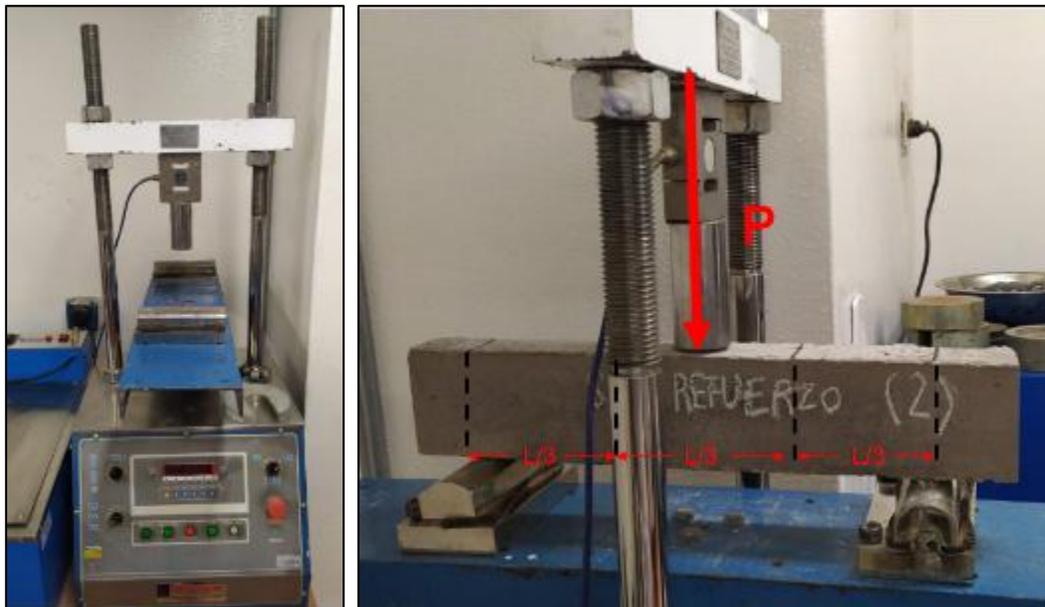


#### 4.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

La resistencia a la flexión, es la medida a la falla de una viga de concreto reforzado o no, se mide mediante la aplicación de una carga aplicada en el centro de una luz mínima de 3 veces su espesor. Este método de ensayo está basado en la norma **INV E-415 “Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada cargada en el punto central”**. Para este caso la distribución de los cuerpos de prueba se realizó de la siguiente manera.

- 2 Viguetas de concreto convencional sin refuerzo.
- 2 Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP sin traslapo.
- 2 Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP con traslapo de 10cm.
- 2 Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP con traslapo de 15cm.
- 2 Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP con traslapo de 20cm.

*Imagen 33: Resistencia a la flexión en vigas de concreto reforzado con barras GFRP.*



*Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.*

Medidas de los cuerpos de prueba.



- Ancho 5 cm
- Largo 55cm
- Alto 10cm

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de resistencia para los 10 cuerpos de prueba.

- **resultados para la resistencia a la flexión en viguetas.**

Para la determinación del momento resistente a continuación, se relacionan las ecuaciones:

$$M_u = \phi * F_y * A_s * \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad a = \frac{A_s * F_y}{0.85 * F'_c * b}$$

Donde:

$M_u$  = Momento resistente teórico (Kgf\*cm).

$F_y$  = Limite elástico del refuerzo utilizado (Kg/cm<sup>2</sup>)

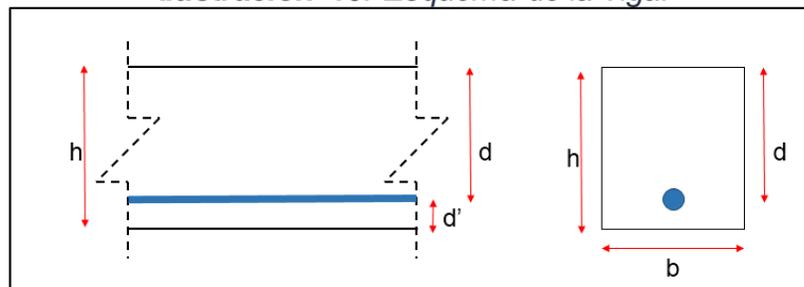
$F'_c$  = Resistencia a la compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$A_s$  = Área del refuerzo utilizado (cm<sup>2</sup>)

$b$  = Base de la viga (cm)

$d$  = Altura efectiva (cm)

*Ilustración 10: Esquema de la viga.*



Fuente: [Los autores]



<b>Propiedades</b>			
$\varphi$	0,85		
F'c (MPa)	17,5	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	175
Fy (MPa)	1100	Fy (kg/cm <sup>2</sup> )	11000

b (cm)	5,0
z (cm)	3,0
H (cm)	10,0
d (m)	7,0
As (cm <sup>2</sup> )	0,7
a (cm)	10,5
<b>Mu (kg*cm)</b>	<b>11614,59</b>
<b>Mu (kN*cm)</b>	<b>113,902</b>

Para el cálculo del módulo de rotura a continuación, se relacionan las ecuaciones.

$$MR = \frac{M * C}{I} = \frac{\frac{P * L}{4} * \frac{H}{2}}{\frac{b * H^3}{12}}$$

Donde:

M = Momento flexionante en el centro de la luz.

C = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

I = Momento de inercia en la sección transversal.

Simplificando la ecuación anterior tenemos:

$$MR = \frac{3 * P * L}{2 * B * H^2}$$

Donde:

P = Carga (N).

L = Longitud entre apoyos (mm).

B = Ancho promedio del espécimen en el sitio de la fractura (mm).

H = altura del elemento en la zona de la falla (mm).



A. Viguetas de concreto convencional sin refuerzo.

**Tabla 34:** Toma de datos para el concreto convencional.

Descripción de datos	Vigueta 1			Vigueta 2		
Ancho en la zona de la falla (m)	0,05	-	-	0,05	-	-
Altura en la zona de la falla (m)	0,101	0,100	0,102	0,100	0,100	0,101
Longitud entre apoyos L (m)	0,42			0,426		
Apariencia del concreto	Normal			Normal		
Fractura dentro del tercio medio de la luz libre	SI			SI		
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (m)	0,189	0,202	0,093	0,198	0,205	0,203
Carga máxima aplicada P (kN)	2,97			2,47		

Fuente: [Los autores]

**Imagen 34:** Montaje para las viguetas de concreto convencional.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

**Imagen 35:** Resultado de la falla.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.



- **Datos y resultados.**

**Tabla 35:** Determinación del cortante y el momento. Viguetas sin refuerzo.

Vigueta #1			Vigueta #2		
Carga (kN)	2,97		Carga (KN)	2,47	
Cortante (kN)	P/2	1,485	Cortante	P/2	1,235
Momento (kN*m)	PL/4	0,311	Momento	PL/4	0,263

Fuente: [Los autores]

**Tabla 36:** Determinación del módulo de rotura. Viguetas sin refuerzo.

V # 1		V # 2	
P (N)	2970	P (N)	2470
L (mm)	420	L (mm)	426
b (mm)	50	b (mm)	50
h (mm)	101	d (mm)	100
<b>MR (MPa)</b>	<b>3,67</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>3,14</b>

Fuente: [Los autores]

B. Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP sin traslapo.

**Tabla 37:** Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP sin traslapo.

Descripción de datos	Vigueta 3			Vigueta 4		
	Ancho en la zona de la falla (m)	0,052	-	-	0,072	-
Altura en la zona de la falla (m)	0,100	0,101	0,100	0,101	0,101	0,100
Longitud entre apoyos L (m)	0,42			0,42		
Apariencia del concreto	Normal			Normal		
Fractura dentro del tercio medio de la luz libre	SI			SI		
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (m)	0,153	0,122	0,093	0,166	0,118	0,072
Carga máxima aplicada P (kN)	10,99			8,24		

Fuente: [Los autores]



**Imagen 36:** Montaje para las viguetas de concreto reforzado con barras GFRP sin traslazo.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

**Imagen 37:** Resultado de la falla.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

**Tabla 38:** Determinación del cortante y el momento. Viguetas sin traslazo.

Vigueta #3			Vigueta #4		
Carga (kN)	10,99		Carga (kN)	8,24	
Cortante (kN)	P/2	5,495	Cortante (kN)	P/2	4,12
Momento (kN*m)	PL/4	1,153	Momento (kN*m)	PL/4	0,870

Fuente: [Los autores]

**Tabla 39:** Determinación del módulo de rotura. Viguetas sin traslazo.

V # 3		V # 4	
P (N)	10990	P (N)	8240
L (mm)	420	L (mm)	420
b (mm)	50	b (mm)	50
h (mm)	100	d (mm)	100
<b>MR (MPa)</b>	<b>13,76</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>10,25</b>

Fuente: [Los autores]



C. Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP con traslazo de 10cm.

**Tabla 40:** Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP y traslazo de 10cm.

Descripción de datos	Vigueta 5			Vigueta 6		
Ancho en la zona de la falla (m)	0,053	-	-	0,053		
Altura en la zona de la falla (m)	0,101	0,101	0,100	0,100	0,100	0,100
Longitud entre apoyos L (m)	0,42			0,42		
Apariencia del concreto	Normal			Normal		
Fractura dentro del tercio medio de la luz libre	SI			SI		
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (m)	0,201	0,202	0,153	0,219	0,178	0,172
Carga máxima aplicada P (kN)	6,63			5,89		

Fuente: [Los autores]

**Imagen 38:** Montaje para las viguetas de concreto reforzado GFRP con traslazo de 10cm.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

**Imagen 39:** Resultado de la falla.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.



**Tabla 41:** Determinación del cortante y el momento. Vigueta con refuerzo de 10cm.

Vigueta #5			Vigueta #6		
Carga (kN)	6,63		Carga (kN)	5,89	
Cortante (kN)	P/2	3,315	Cortante (kN)	P/2	2,945
Momento (kN*m)	PL/4	0,700	Momento (kN*m)	PL/4	0,620

Fuente: [Los autores]

**Tabla 42:** Determinación del módulo de rotura. Vigueta con refuerzo de 10cm.

V # 5		V # 6	
P (N)	6630	P (N)	5890
L (mm)	420	L (mm)	420
b (mm)	50	b (mm)	50
h (mm)	101	d (mm)	100
<b>MR (MPa)</b>	<b>8,24</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>7,4</b>

Fuente: [Los autores]

D. Viguetas de concreto reforzado con barras GFRP con traslapo de 15cm.

**Tabla 43:** Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP y traslapo de 15cm

Descripción de datos	Vigueta 7			Vigueta 8		
Ancho en la zona de la falla (m)	0,058	-	-	0,05	-	-
Altura en la zona de la falla (m)	0,100	0,100	0,100	0,102	0,101	0,100
Longitud entre apoyos L (m)	0,422			0,42		
Apariencia del concreto	Normal			Normal		
Fractura dentro del tercio medio de la luz libre	SI			SI		
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (m)	0,177	0,171	0,202	0,19	0,189	0,208
Carga máxima aplicada P (kN)	7,69			7,51		

Fuente: [Los autores]



**Imagen 40:** Montaje para las viguetas de concreto reforzado GFRP con traslapo de 15cm.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

**Imagen 41:** Resultado de la falla.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

**Tabla 44:** Determinación del cortante y el momento. Vigueta con refuerzo de 15cm.

Vigueta #7			Vigueta #8		
Carga (kN)		7,69	Carga (kN)		7,51
Cortante (kN)	P/2	3,845	Cortante (kN)	P/2	3,755
Momento (kN*m)	PL/4	0,811	Momento (kN*m)	PL/4	0,790

Fuente: [Los autores]



**Tabla 45:** Determinación del módulo de rotura. Vigüeta con refuerzo de 15cm.

V # 7		V # 8	
P (N)	7690	P (N)	7510
L (mm)	422	L (mm)	420
b (mm)	50	b (mm)	50
h (mm)	100	d (mm)	101
<b>MR (MPa)</b>	<b>9,74</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>9,3</b>

Fuente: [Los autores]

E. Vigüetas de concreto reforzado con barras GFRP con traslapo de 20cm.

**Tabla 46:** Toma de datos para el concreto reforzado con barras GFRP y traslapo de 20cm.

Descripción de datos	Vigüeta 9			Vigüeta 10		
Ancho en la zona de la falla (m)	0,052	-	-	0,054	-	-
Altura en la zona de la falla (m)	0,100	0,101	0,100	0,100	0,100	0,102
Longitud entre apoyos L (m)	0,42			0,42		
Apariencia del concreto	Normal			Normal		
Fractura dentro del tercio medio de la luz libre	SI			SI		
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (m)	0,219	0,181	0,114	0,191	0,122	0,031
Carga máxima aplicada P (kN)	9,55			9,68		

Fuente: [Los autores]

**Imagen 42:** Montaje para las vigüetas de concreto reforzado GFRP con traslapo de 20cm.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.



**Imagen 43:** Resultado de la falla.



Fuente: [Los autores] Laboratorio Universidad Católica de Colombia.

**Tabla 47:** Determinación del cortante y momento. Vigueta con refuerzo de 20cm.

Vigueta #9			Vigueta #10		
Carga (kN)	9,55		Carga (kN)	9,68	
Cortante (kN)	P/2	4,78	Cortante (kN)	P/2	4,84
Momento (kN*m)	PL/4	1,00	Momento (kN*m)	PL/4	1,016

Fuente: [Los autores]

**Tabla 48:** Determinación del módulo de rotura. Vigueta con refuerzo de 20cm.

V # 9		V # 10	
P (N)	9550	P (N)	9680
L (mm)	420	L (mm)	420
b (mm)	50	b (mm)	50
d (mm)	100	d (mm)	101
<b>MR (MPa)</b>	<b>11,95</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>12,0</b>

Fuente: [Los autores]



## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Una vez finalizados los ensayos de laboratorio y con los datos obtenidos, se calculó el módulo de rotura promedio para cada configuración de traslazo planteado en esta investigación.

**Tabla 49:** Promedio de los valores MR calculados para las viguetas de prueba.

Traslazo (cm)	MR Promedio (MPa)
Sin traslazo	12,00
10	7,83
15	9,51
20	11,99

Fuente: [Los autores]

Se tomó como referencia inicial la configuración de concreto y refuerzo sin traslazo, dado que fue el cuerpo de prueba que más carga resistió. Posteriormente se determinó en porcentaje el esfuerzo de las otras configuraciones frente a la viga reforzada sin traslazo.

**Tabla 50:** Cálculo del MR en porcentaje.

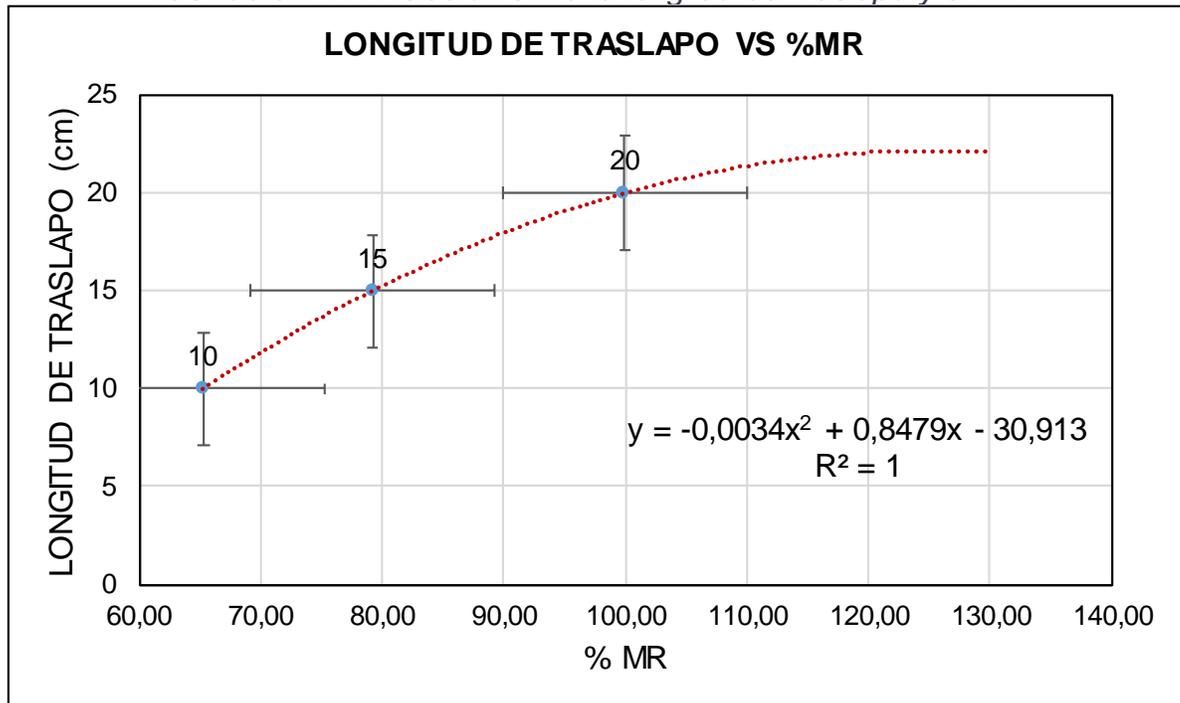
Traslazo (cm)	MR (MPa)	%
Sin traslazo	12,00	100
10	7,83	65
15	9,51	79
20	11,99	99,95

Fuente: [Los autores]

En la tabla N.50, se calculó la relación que existe entre la longitud de traslazo y el módulo de rotura en porcentaje de manera que se pueda determinar cuál es la configuración óptima de traslazo, es decir donde se garantiza la transferencia correcta de esfuerzos.



*Ilustración 11: Relación entre la longitud del traslapo y el MR.*



*Fuente: [Los autores]*

Los valores obtenidos se encuentran representados en esta gráfica la cual genera una ecuación polinómica de grado 2, donde se logra identificar que el valor más cercano al 100% del comportamiento ideal cuando el refuerzo no es traslapado corresponde a 20cm de empalme.

De la gráfica anterior se puede estimar un rango de traslapo mínimo entre 20cm a 25cm, considerando el 100% como la condición ideal del ensayo, sin embargo existe una variación que se puede extender sobre el 120% en el caso de haber realizado ensayos con una longitud superior a la máxima evaluada sin superar los 30cm, esto contemplando que para este caso evaluar una longitud muy superior no funcionaría, debido a las características de las probetas ensayadas. Por lo tanto, para efectos de esta investigación el MR se evalúa hasta el 100% representado en la gráfica.



Una vez obtenido el valor del traslapo mínimo para las barras GFRP N.3, se calcula el traslapo para una barra N.3 de acero corrugado, tomando la formula C.12-1 del título C de la norma NSR-10, para realizar la comparación correspondiente.

$$L_d = \left[ \frac{F_y}{1.1\lambda * \sqrt{F'_c}} * \frac{\psi_t * \psi_e * \psi_s}{\left(\frac{C_b + K * tr}{db}\right)} \right] * db$$

Donde:

$L_d$  = Longitud de desarrollo (mm)

$F_y$  = Resistencia a la fluencia del acero (420 MPa)

$F'_c$  = Resistencia a la compresión (17.5 MPa)

$\lambda$  = Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto (1 para concreto normal).

$\psi_t$  = Factor de modificación para la longitud de desarrollo con base en la localización del refuerzo. (1 se tomó menos de 300mm de concreto fresco por debajo de la longitud de desarrollo).

$\psi_e$  = Factor de modificación para la longitud de desarrollo con base en el revestimiento del refuerzo (1 sin recubrimiento zinc o epóxico).

$\psi_s$  = Factor de modificación para la longitud de desarrollo con base en el tamaño del refuerzo (0.8 para barras N.6 o menores).

$db$  = Diámetro de la barra (9.5 mm).

$\left(\frac{C_b + K * tr}{db}\right)$  = De acuerdo a los comentarios de la sección C.R12.2 el valor para esta expresión se puede tomar como 1.5.



$$Ld = \left[ \frac{420\text{Mpa}}{1.1 * 1 * \sqrt{17.5\text{MPa}}} * \frac{1 * 1 * 0.8}{(1.5)} \right] * 9.5\text{mm}$$

$$Ld = 462.44\text{mm} = 47\text{cm}$$

Para el cálculo del traslapo o empalme para barras de acero corrugadas a tracción de acuerdo a C.12.15.1 la longitud mínima para traslapos clase A es **1.0Ld** y para traslapos clase B es **1.3Ld**.

Traslapo clase A

$$1.0 * Ld = 47\text{cm}$$

Traslapo clase B

$$1.3Ld = 61.1\text{cm}$$

Una vez obtenidos los resultados de carácter experimental para las barras GFRP y carácter teórico para el acero se hace una comparación de las longitudes mínimas requeridas en cada caso, considerando sus características físicas, mecánicas y la resistencia del concreto.

*Tabla 51: Resumen comparativo.*

Tipo de refuerzo.	Tipo de barra.	Diámetro (mm)	Fy (MPa)	F'c (MPa)	Traslapo (mm)	Observación
GFRP	Con imprimación de arena	9,5	1100	17,5	200	Dato experimental
ACERO	Corrugada	9,5	420	17,5	470 - 620	Dato teórico

*Fuente: [Los autores]*



## 6 CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, se logró determinar la longitud mínima de traslapo para que se genere la transferencia correcta de esfuerzos en una barra N.3, la cual corresponde a 200mm como lo indica la ilustración N.11. Sin embargo se puede usar una longitud mayor como nos lo indican otros textos, no obstante, se evidencia que para este diámetro una longitud de 200mm como valor mínimo es funcional.
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de “Empalme traslapado por tracción de barras de refuerzo de FRP en concreto” realizado por Brahim Benmokrane, donde se establece una longitud de empalme para barras GFRP de diámetro N.5 igual a 40db y para un diámetro N.6 igual a 50db, se puede establecer mediante una predicción con los datos suministrados, el valor aproximado de empalme en barras de diámetro N.4 igual a 30db y para un diámetro N.3 igual a 20db. Considerando lo anteriormente mencionado, los resultados obtenidos en la presente investigación para una barra GFRP de diámetro N.3 corresponden a 22db, valor que se encuentra dentro del rango proporcionado en el estudio anteriormente citado.
- El uso de las barras GFRP para las condiciones trabajadas en esta investigación comparadas con el valor teórico del acero de refuerzo convencional, representa una reducción del 63% en la longitud mínima de traslapo, lo que significaría beneficios económicos al reducir costos.
- Teniendo en consideración la trabajabilidad del material y evaluando los resultados arrojados en cuanto a la disminución de la longitud del traslapo comparada con la usada para el acero, el uso de las barras GFRP optimiza cuantitativamente el desperdicio de material en obra, es decir, en la mayoría



de proyectos constructivos se trabaja una asignación directa al momento de cuantificar el acero, esto conlleva a generar desperdicios hasta del 20% para material trabajado en obra y que no se encuentre figurado previamente.

- Como resultado del proceso experimental al que fueron sometidas las barras GFRP y de acero, se logró evidenciar una afectación corrosiva significativa en tan solo 4 meses de exposición en este último material, confirmando el sobre costo a largo plazo en procesos de restauración y reforzamiento estructural debido a efectos corrosivos, demostrando que el refuerzo en fibra de vidrio puede llegar a ser la mejor opción de sustitución.
- Para la obtención de los resultados se trabajó con el valor teórico de resistencia a la tensión proporcionado por el fabricante de las barras GFRP, ya que no fue posible realizar el ensayo de tracción para este material en las instalaciones de la universidad.
- Finalmente, debido a las limitaciones durante el desarrollo de la investigación, como las restricciones de acceso a los laboratorios de la universidad a causa de la pandemia por el Covid-19, los problemas de desorden público por la situación política actual y el acceso limitado al material de estudio, no fue posible evaluar otras condiciones de concreto y diámetro de refuerzo.



## 7 RECOMENDACIONES

- Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación y al aporte bibliográfico, se recomienda continuar el estudio del concreto reforzado con barras de fibra de vidrio haciendo énfasis inicialmente en la variación de la resistencia de concreto para diferentes combinaciones de diámetro en el refuerzo, así mismo variar las dimensiones de los elementos de prueba y generar más datos de comparación.
- La trabajabilidad del concreto reforzado con polímeros no es sencilla, ya que al ser un material poco usual se carece de conocimiento para su manipulación, es decir, los cortes para las piezas rectas deben ser precisos y con la herramienta adecuada, en caso contrario el elemento se astilla generando separación en las fibras internas donde se efectúa el corte produciendo variaciones en la resistencia. Por otra parte las piezas en las que se deban incluir giros o pequeños radios deben ser hechas con el moldeamiento adecuado ya que no se pueden figurar en obra.
- Preliminarmente se puede inferir que el uso de una longitud de traslapo menor repercute en la disminución a mediano plazo de los costos para materiales de refuerzo utilizados en los proyectos constructivos, es decir, con la profundización de un estudio que involucre el análisis presupuestal y el impacto económico de este material comparado con otros materiales actualmente usados, se puede mostrar de manera estadística su eficiencia constructiva económicamente hablando, teniendo en consideración que uno de los aspectos más determinantes al momento de materializar un proyecto es el costo.
- Es de vital importancia conocer los procedimientos que involucran la ejecución de los ensayos de acuerdo a la normatividad vigente y sus



actualizaciones, con el fin de generar aportes relevantes. A pesar de que la normatividad actual para ensayar materiales no presenta grandes variaciones en cuanto a caracterización y elaboración de muestras, el estudio de los polímeros como sustitución de otros materiales constructivos va en auge y hoy por hoy se adelantan estudios generando aportes significativos que completan los requisitos mínimos de diseño para el uso de estos elementos.

- Finalmente, es recomendable profundizar en el estudio de las propiedades mecánicas de las barras GFRP en elementos estructurales sometidos a flexión y compresión, además de la longitud de traslapo, es importante analizar aspectos como la adherencia entre el refuerzo y el concreto, las longitudes de desarrollo, la resistencia al fuego y los diámetros mínimos de doblado para los diferentes números de barra, aspectos que influyen en el adecuado comportamiento sismo resistente que deben tener las estructuras de acuerdo a las normatividades vigentes.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ana Isabel Almerich Chulia, 2010. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9744/tesisUPV3447.pdf>.
- [2] H. M. V. M. A. D. I. C. R. Joaquín Guerrero Martínez, «IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL RIESGO DE LA CORROSION EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO EN PLANTAS INDUSTRIALES SOMETIDAS A UN AMBIENTE ACIDO,» nº 4, 2019.
- [3] H. Ingenieria, «Hume Ingenieria,» 07 09 2015. [En línea]. Available: <https://humeingenieria.es/>.
- [4] C. V. Abel y M. R. Rodriguez, «Revista CENIC. Ciencias quimicas,» Enero 2014. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181632610001>.
- [5] E. TIEMPO, «EL TIEMPO,» 12 Diciembre 1991. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-206784>.
- [6] A. C. d. I. Sismica, *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMORESISTENTE..*
- [7] «Concretus files,» [En línea]. Available: <https://concretusblog.files.wordpress.com/2017/06/capc3adtulo-4-flexion-vigas-y-losas.pdf>.
- [8] Desconocido, «Academia.edu,» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/11190530/6\\_LONGITUD\\_DE\\_DESARROLLO\\_Y\\_TRASLAPO\\_DEL\\_REFUERZO\\_6\\_1\\_FUNDAMENTOS\\_DE\\_LA\\_ADHERENCIA\\_A\\_FLEXI%C3%93N](https://www.academia.edu/11190530/6_LONGITUD_DE_DESARROLLO_Y_TRASLAPO_DEL_REFUERZO_6_1_FUNDAMENTOS_DE_LA_ADHERENCIA_A_FLEXI%C3%93N).
- [9] A. S.A.S. [En línea]. Available: <http://www.aritrec.com/normatividad.htm>.
- [10] Fortius, «Fortius,» [En línea]. Available: <https://www.fortius.be/content/files/51-146-glasvezelsp-4f83fd.pdf>.
- [11] Argos, «360 en concreto,» [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/control-de-calidad-del-concreto>.
- [12] A. F. R. Quintero y J. C. H. Rico., «DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGON POR EL METODO ACI Y EFECTOS DE LA ADICION DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION,» Bogota D.C, 2014.



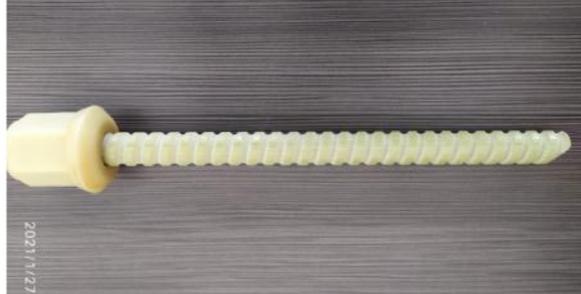
- [13] «Caminos.udc.es,» [En línea]. Available: [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/406/contenido\\_publico/recursos/tema00.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/406/contenido_publico/recursos/tema00.pdf).
- [14] Desconocido, «Tesis.uson.mx,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3527/Capitulo4.pdf>.
- [15] J. A. Echeverria, «Redalyc.org,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1939/193955164003/html/index.html>.
- [16] S. A. P. Fabian Lamus Baez, CONCRETO REFORZADO, FUNDAMENTOS, Bogota : Eco Ediciones, 2015.
- [17] I. d. C. D. P. H. W. R. Luis Faria Joaquim, «ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO CON BARRAS DE POLIMERO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO,» vol. 11, nº 3, 2017.
- [18] C. J. d. I. C. Morales, «RESISTENCIA A LA FLEXION Y ADHERENCIA EN VIGAS DE HORMIGON ARMADO CON BARRAS DE POLIMEROS REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO,» Universidad Nacional de Colombia , Medellin, 2004.
- [19] A. d. V. Moreno, 2001. [En línea]. Available: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt182.pdf>.
- [20] M. A. G. Mulford, «Argos,» [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto/corrosion-del-acero-de-refuerzo>.
- [21] T. U. Atsuhiko Machida, «Library jsce,» September 1996. [En línea]. Available: <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00670/No30/CLI-30-0001.pdf>.
- [22] N. R. Council, «Cnr.it,» June 2006. [En línea]. Available: <https://www.cnr.it/en/node/2639>.
- [23] C. S. Association, 1 Enero 2017. [En línea]. Available: [https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/csa-s806-2012-r2017-360171\\_saig\\_csa\\_csa\\_2662058/](https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/csa-s806-2012-r2017-360171_saig_csa_csa_2662058/).
- [24] A. C. Institute, «Concrete.org,» March 2015. [En línea]. Available: [https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/440\\_1R\\_15.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/440_1R_15.pdf).
- [25] «store.transportation.org,» 2018. [En línea]. Available: <https://store.transportation.org/Item/PublicationDetail?ID=4148&AspxAutoDetectCookieSupport=1>.
- [26] O. R. L. Diaz, «Biblioteca.utb,» 2009. [En línea]. Available: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0053986.pdf>.



- [27] J. t. d. i. y. arquitectura., «SPIACOICI,» 14 12 2015. [En línea]. Available: <http://www.spiacoici.org/2017/03/09/rep-2014-reglamento-estructural-panameno/>.
- [28] «FIB-INTERNATIONAL,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.fib-international.org/publications/fib-bulletins/frp-reinforcement-in-rc-structures-115-detail.html>.
- [29] B. B. A. M. W. M. K. Ginghis Maranan, «Evaluation of the flexural strength and serviceability of geopolymers concrete beams reinforced with glass-fibre-reinforced polymer (GFRP) bars.,» Octubre 2015.
- [30] A. C. M. W. K. B. B. a. P. M. Ginghis B. Maranan, «Flexural Response of GFRP-Reinforced Geopolymer Concrete Beams.,» 2015.
- [31] A. I. A. CHULIA, «DISEÑO, SEGÚN ESTADOS LÍMITES, DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO CON REDONDOS DE FIBRA DE VIDRIO.,» Valencia, 2010.



## ANEXO A. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS EN FIBRA DE VIDRIO.

	
<p><b>Imagen 1:</b> Estribos en fibra de vidrio.</p>	<p><b>Imagen 2:</b> Pasador en fibra de vidrio.</p>
	
<p><b>Imagen 3:</b> Pasador en fibra de vidrio.</p>	<p><b>Imagen 4:</b> Estribo rectangular.</p>
	
<p><b>Imagen 5:</b> Estribo en U.</p>	<p><b>Imagen 6:</b> Estribo circular.</p>



## ANEXO B. PROCESO DE OXIDACIÓN ACERO VS FIBRA DE VIDRIO.



**Imagen 7:** 22-02-2021



**Imagen 8:** 05-03-2021



**Imagen 9:** 15-03-2021



**Imagen 10:** 05-04-2021



**Imagen 11:** 23-04-2021



**Imagen 12:** 18-05-2021



## ANEXO C. LABORATORIOS DE CARACTERIZACIÓN.

a) Humedad natural.



*Imagen 13: Selección de la muestra.*



*Imagen 14: Lavado de los agregados.*



*Imagen 15: Peso del agregado fino.*



*Imagen 16: Peso del agregado grueso.*



**Imagen 17:** Muestra para llevar al horno.



**Imagen 18:** Muestras en el horno.

b) Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.



**Imagen 18:** Selección de tamices.



**Imagen 19:** Serie de tamices.



**Imagen 20:** Cuarteo de la muestra.



**Imagen 21:** Tamizado.



c) Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino.



**Imagen 22:** Preparación de la muestra.



**Imagen 23:** Limpieza del agregado fino.



**Imagen 24:** Llenado del matraz aforado.



**Imagen 25:** Materiales.



**Imagen 26:** Vaso precipitado y matraz.



**Imagen 27:** Peso del balón con agua.



**Imagen 28:** Extendido de la muestra.



**Imagen 29:** Secado de la muestra.



**Imagen 30:** Prueba SSS 1.



**Imagen 31:** Prueba SSS 2.



**Imagen 32:** Prueba SSS 3.



**Imagen 33:** Vertido de la muestra en el matraz.



**Imagen 34:** Bomba extractora de vacíos.



**Imagen 35:** Extracción de vacíos.



**Imagen 36:** Toma de temperatura.



**Imagen 37:** Regulación de temperatura ideal.

d) Densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso.



**Imagen 38:** Selección de la muestra.



**Imagen 39:** Eliminación de la humedad.

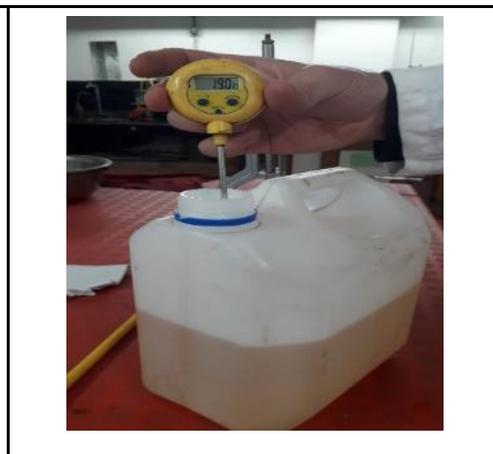


**Imagen 40:** Montaje.



**Imagen 41:** Muestra sumergida.

e) Densidad del cemento.





**Imagen 42:** Selección del cemento.



**Imagen 43:** Temperatura del kerosene.



**Imagen 44:** Peso del cemento.

**Imagen 45:** Llenado del matraz.



**Imagen 46:** Montaje.

**Imagen 47:** Limpieza del matraz.



**Imagen 48:** Vertimiento del cemento.

**Imagen 49:** Toma de temperatura.



**Imagen 50:** Regulación del material.



**Imagen 51:** Temperatura ideal.

f) Consistencia normal del cemento.



**Imagen 52:** Peso de la muestra de cemento.



**Imagen 53:** Amasado de la muestra.



**Imagen 54:** Selección de la fracción.



**Imagen 55:** Muestra a medir.



**Imagen 56:** Primera medición.



**Imagen 57:** Segunda medición.



**Imagen 58:** Tercera medición.



**Imagen 59:** Cuarta medición.



## ANEXO D. FABRICACIÓN DE CUERPOS DE PRUEBA.



**Imagen 60:** Refuerzo de fibra de vidrio.



**Imagen 61:** Moldes para viguetas.



**Imagen 62:** Recursos.



**Imagen 63:** Amarres.



**Imagen 64:** Molde de prueba.



**Imagen 65:** Moldes finales para cilindros.



**Imagen 66:** Recipiente para pesar muestras.



**Imagen 67:** Peso de la grava.





**Imagen 68:** *Peso de la arena de río.*



**Imagen 69:** *Peso del cemento.*



**Imagen 70:** *Proceso de incorporación.*



**Imagen 71:** *Proceso de mezclado seco.*



**Imagen 72:** *Proceso de mezclado húmedo.*



**Imagen 73:** *Preparación del refuerzo.*





**Imagen 74:** Vaciado de la mezcla.



**Imagen 75:** Vaciado de la mezcla.



**Imagen 76:** Cilindros fundidos.



**Imagen 77:** Viguetas fundidas.



**Imagen 78:** Desencofrado de cilindros.

**Imagen 79:** Desencofrado de viguetas.



ANEXO E. CARACTERIZACIÓN DE ESPECÍMENES.

	
<p><b>Imagen 80:</b> Preparación de las muestras.</p>	<p><b>Imagen 81:</b> Peso del cilindro 1.</p>
	
<p><b>Imagen 82:</b> Peso del cilindro 2.</p>	<p><b>Imagen 83:</b> Peso del cilindro 3.</p>



**Imagen 84:** Máquina universal de pruebas de resistencia para cilindros.



**Imagen 85:** Falla de cilindros.



**Imagen 86:** Cilindro fallado.



**Imagen 87:** Falla de cilindros.





**Imagen 88:** Máquina universal de pruebas de resistencia para Viguetas.



**Imagen 89:** Falla de vigueta de concreto convencional.



**Imagen 90:** Vigueta sin traslapo.



**Imagen 91:** Falla de Vigueta sin traslapo.



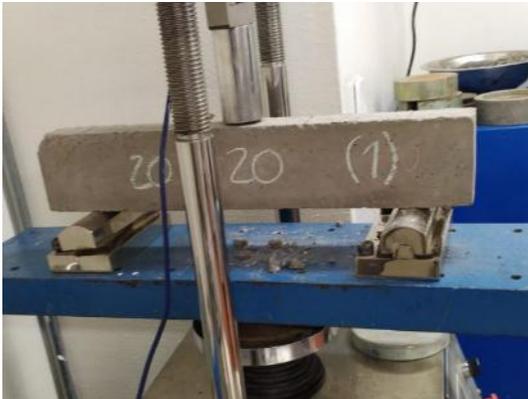
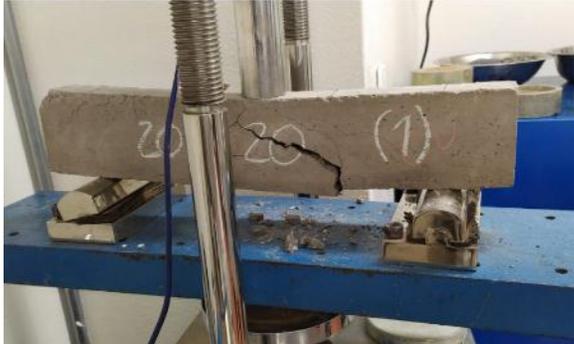
**Imagen 92:** Vigueta con traslapo de 10cm.



**Imagen 93:** Falla de vigueta con traslapo de 10cm.





<p><b>Imagen 94:</b> Vigueta con traslapo de 15cm.</p>	<p><b>Imagen 95:</b> Falla de vigueta con traslapo de 15cm.</p>
	
<p><b>Imagen 96:</b> Falla de vigueta con traslapo de 20cm.</p>	<p><b>Imagen 97:</b> Falla de vigueta con traslapo de 20cm.</p>
	
<p><b>Imagen 99:</b> Resultado del ensayo. Sin refuerzo.</p>	<p><b>Imagen 100:</b> Resultado del ensayo. Sin traslapo.</p>
	



**Imagen 100:** Resultado del ensayo. Traslapo 10cm.



**Imagen 101:** Resultado del ensayo. Traslapo 15cm.



**Imagen 102:** Resultado del ensayo. Traslapo 20cm.

**Imagen 103:** Muestra de adherencia de la barra.

ANEXO F. FORMATOS Y FICHAS TÉCNICAS.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

**LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL**  
2018

**GRUPO ESCORIA 1**

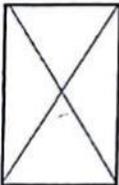
CÓDIGO ORDEN: _____	FECHA DE ENSAYO: _____
---------------------	------------------------

EQUIPO UTILIZADO	BALANZA: <u>SI</u>	MAQUINA UNIVERSAL: <u>SI</u>
	CALIBRADOR: <u>SI</u>	FLEXÓMETRO: <u>SI</u>

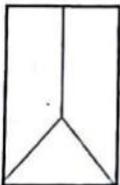
DESCRIPCION: Falla de cilindros de concreto.

REFERENCIA	1	2	3	4	5
DIÁMETRO (cm)	10.7	10.7	10.8	10.6	10.8
ALTURA (cm)	21.2	21.2	21.1	20.8	21.0
PESO DE LA MUESTRA (g)	4319.8g		4287.4g		4218.00g
TIPO DE FALLA	Cónica transver.		Cónica transversal		Cónica transver.
CARGA MÁXIMA (kgf)	8942.91 kgf		12940.199 kgf		14418.787 kgf
OBSERVACIONES	-----		-----		-----

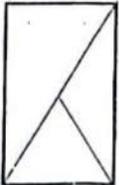
TIPO DE FALLA



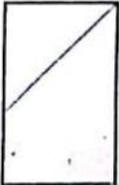
a) Cónica



b) Cónica y divide



c) Cónica y transversal



d) Transversal



e) Columnar

TOMA DE DATOS RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO (CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ)

INSTRUCTIVO DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV-E414-13

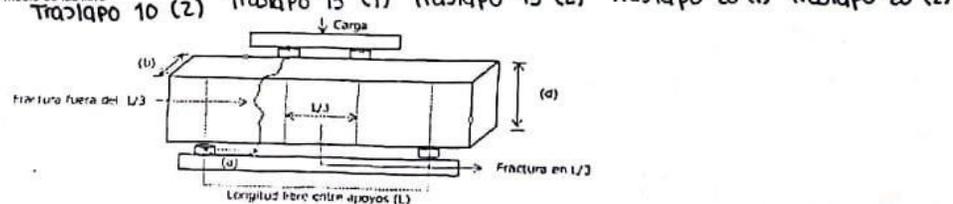
CÓDIGO ORDEN: \_\_\_\_\_ FECHA DE ENSAYO: \_\_\_\_\_

EQUIPO UTILIZADO FLEXOMETRO: SI MAQUINA UNIVERSAL: SI

DESCRIPCION: Falla de viguetas de concreto convencional y reforzado.

REFERENCIA	1			2			3			4			5		
Ancho en la zona de falla (b) (cm)	5.3	—	—	5.8	—	—	5.0	—	—	5.2	—	—	5.4	—	—
Allura en la zona de falla (d) (cm)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.2	10.1	10.0	10.0	10.1	10.0	10.0	10.0	10.2
Longitud libre entre apoyos (L) (cm)	42.0			42.2			42.0			42.0			42.0		
Apariencia del concreto	Normal														
Marque con X si la fractura se encuentra dentro del tercio medio de la luz libre	X			X			X			X			X		
Marque con X si la fractura se encuentra fuera del tercio medio de la luz libre															
*Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (a) (cm)	21.9	17.8	17.2	17.7	17.1	20.2	19.0	18.9	20.8	21.9	18.1	11.4	19.1	12.2	3.1
Carga máxima aplicada (P) (kgf)	609.790 kgf			784.161 kgf			765.806 kgf			973.829 kgf			987.085 kgf		

\*Se llena esta casilla si la fractura ocurre fuera del tercio medio de luz libre



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
EJECUTÓ LABORATORISTA

\_\_\_\_\_  
REVISÓ COORDINADOR DE LABORATORIO

TOMA DE DATOS RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO (CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ)

INSTRUCTIVO DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV-E414-13

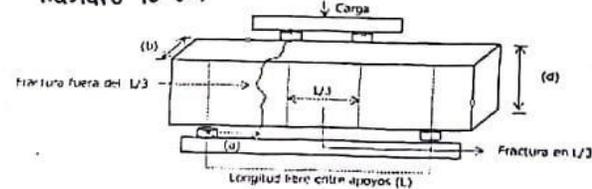
CÓDIGO ORDEN: \_\_\_\_\_ FECHA DE ENSAYO: \_\_\_\_\_

EQUIPO UTILIZADO FLEXOMETRO: SI MAQUINA UNIVERSAL: SI

DESCRIPCION: Falla de viguetas de concreto convencional y reforzado.

REFERENCIA	1			2			3			4			5		
Ancho en la zona de falla (b) (cm)	5.3	—	—	5.8	—	—	5.0	—	—	5.2	—	—	5.4	—	—
Allura en la zona de falla (d) (cm)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.2	10.1	10.0	10.0	10.1	10.0	10.0	10.0	10.2
Longitud libre entre apoyos (L) (cm)	42.0			42.2			42.0			42.0			42.0		
Apariencia del concreto	Normal														
Marque con X si la fractura se encuentra dentro del tercio medio de la luz libre	X			X			X			X			X		
Marque con X si la fractura se encuentra fuera del tercio medio de la luz libre															
*Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano (a) (cm)	21.9	17.8	17.2	17.7	19.1	20.2	19.0	18.9	20.8	21.9	18.1	11.4	19.1	12.2	3.1
Carga máxima aplicada (P) (kgf)	609.790 kgf			784.161 kgf			765.806 kgf			973.829 kgf			987.085 kgf		

\*Se llena esta casilla si la fractura ocurre fuera del tercio medio de luz libre  
 Traclapo 10 (2) Traclapo 15 (1) Traclapo 15 (2) Traclapo 20 (1) Traclapo 20 (2)



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 EJECUTÓ LABORATORISTA

\_\_\_\_\_  
 REVISÓ COORDINADOR DE LABORATORIO