



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y  
COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE  
CONCRETO REFORZADO**

**PRESENTADO POR:**

**NOMBRE: JULIO CESAR DUARTE ESTUPIÑAN    CÓDIGO:507822**

**NOMBRE: KAREN NATALIA LADINO BASTO    CÓDIGO:507540**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2021**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y  
COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE  
CONCRETO REFORZADO**

**PRESENTADO POR:**

**NOMBRE: JULIO CESAR DUARTE ESTUPIÑAN    CÓDIGO:507822**

**NOMBRE: KAREN NATALIA LADINO BASTO    CÓDIGO:507540**

**DIRECTOR:  
CAMILO HIGUERA FLÓREZ**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA 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](#).



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA  
DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA  
EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE  
CONCRETO REFORZADO

FECHA: 2021  
VERSIÓN 0

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO**


---

**FIRMA JURADO**

---


**FIRMA JURADO**

**BOGOTA D.C.**

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a nuestras familias que han estado presentes de manera incondicional y constante durante todo el transcurso de esta etapa tan importante para nuestra vida profesional y personal, brindando amor, apoyo y confianza.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros agradecimientos a:

En primer lugar, al Ingeniero Camilo Higuera Flórez, por la disposición y el apoyo que nos brindó durante la realización del presente trabajo. Además, recalcamos el acompañamiento incondicional que nos brindó en todos los altercados que se nos presentaron debido a la contingencia sanitaria por la que está pasando el país.

También agradecemos a la Universidad Católica de Colombia por todo el aprendizaje que nos ha brindado al transcurso de la carrera y por las instalaciones ofrecidas ya que fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo.

Por ultimo a nuestra familia por el amor, apoyo y compañía durante esta etapa de aprendizaje.




## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>15</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.2.1 Pregunta De Investigación.....	18
1.3 OBJETIVOS .....	18
1.3.1 Objetivo general .....	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	19
1.5 MARCO REFERENCIAL.....	20
1.5.1 Marco teórico.....	20
1.5.2. Marco conceptual .....	27
1.5.3. Marco legal.....	28
1.6 ESTADO DEL ARTE.....	29
1.7 METODOLOGÍA .....	31
<b>2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS .....</b>	<b>35</b>
2.1 CEMENTO .....	35
1.6. AGREGADOS.....	40
1.7. ACERO .....	54
<b>3. FABRICACIÓN DE MUESTRAS .....</b>	<b>57</b>
3.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO .....	57



3.2	RECUBRIMIENTO DE ACERO .....	62
3.3	FABRICACION MUESTRAS .....	64
3.4	CURADO DE MUESTRAS .....	66
3.5.	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO .....	67
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS.....</b>	<b>69</b>
4.1	ENSAYOS MECÁNICOS .....	69
4.1.1	Resistencia a la compresión cilindros.....	69
4.1.2.	Resistencia a la flexión viguetas.....	72
4.2	ENSAYO DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN (RPL).....	74
4.3	ENSAYO CUALITATIVO .....	77
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
5.1	RESULTADOS RESISTENCIA A LA FLEXIÓN VIGUETAS .....	79
5.2	RESULTADOS VELOCIDAD DE CORROSIÓN (RPL) .....	81
5.3	RESULTADOS ENSAYO CUALITATIVO .....	84
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
6.1	RECOMENDACIONES .....	87
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>93</b>
ANEXO 1.	REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	93




 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de Metodología. ....	34
Ilustración 2. Esquema de resistencia a la polarización lineal. ....	75
Ilustración 3. Resultados obtenidos (RPL) por curvas de Tafel .....	75
Ilustración 4. Nivel de corrosión de acuerdo a la densidad de corriente. ....	82

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ensayo de densidad del cemento.....	36
Fotografía 2. Ensayo consistencia del cemento.....	37
Fotografía 3. Tamizado de finos. ....	42
Fotografía 4. Tamizado de gruesos. ....	44
Fotografía 5. Humedad natural de finos.....	45
Fotografía 6. Humedad natural gruesos. ....	46
Fotografía 7. Densidad de finos. ....	48
Fotografía 8. Densidad de gruesos.....	50
Fotografía 9. Masas unitarias.....	53
Fotografía 10. Ensayo a tracción del acero. ....	54
Fotografía 11. Cera y colofonia en baño maría.....	63
Fotografía 12. Varillas pintadas. ....	64
Fotografía 13. Moldes para muestras de concreto.....	65
Fotografía 14. Muestras de concreto fraguando. ....	66
Fotografía 15. Muestras fraguando.....	66

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Fotografía 16. Curado de muestras. ....	67
Fotografía 17. Curado de viguetas en agua con sal. ....	67
Fotografía 18. Ensayo cono de Abrams.....	68
Fotografía 19. Ensayo a compresión de cilindros. ....	70
Fotografía 20. Ensayo a tracción de viguetas.....	72
Fotografía 21. Arreglo experimental.....	74
Fotografía 22. Ensayo cualitativo de varillas.....	78
Fotografía 23. Resultado ensayo cualitativo. ....	78
Fotografía 24. Varilla sin recubrimiento. ....	80
Fotografía 25. Varillas viguetas con recubrimiento .....	81
Fotografía 26. Collage con cambios representativos en las varillas. ....	84

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores obtenidos ensayo NTC 221.....	35
<i>Tabla 2. Resultados Densidad del Cemento.....</i>	<i>36</i>
Tabla 3. Consistencia Normal del Cemento.....	37
Tabla 4. Resultado consistencia normal del cemento.....	37
Tabla 5. Resultados ensayo tiempos de fraguado. ....	38
Tabla 6. Datos cálculo de $t_f$ .....	39
<i>Tabla 7. Granulometría Agregado Fino.....</i>	<i>41</i>
Tabla 8. Resultados Granulometría de Finos. ....	41


 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Tabla 9. Granulometría Agregado Grueso.....	43
Tabla 10. Resultados Granulometría de Gruesos.....	43
Tabla 11. Humedad Natural Agregado Fino. ....	45
Tabla 12. Humedad Natural Agregado Grueso.....	46
<i>Tabla 13. Datos Densidad Finos.....</i>	<i>47</i>
Tabla 14. Resultados Densidad.....	48
Tabla 15. Datos densidad de Gruesos.....	49
Tabla 16. Resultados Densidad de Gruesos. ....	49
Tabla 17. Dimensiones Molde.....	51
Tabla 18. Masa unitaria suelta (Finos).....	51
Tabla 19. Masa unitaria compacta (Finos).....	52
Tabla 20. Dimensiones Molde.....	52
Tabla 21. Masa unitaria suelta (Gruesos).....	53
Tabla 22. Masa unitaria compacta (Gruesos).....	53
Tabla 23. Caracterización probeta tracción. ....	54
Tabla 24. Cambio de longitud tracción.....	55
Tabla 25. Resultados flexión acero.....	56
Tabla 26. Datos Granulometría (diseño de mezcla).....	57
Tabla 27. Datos de los materiales (diseño de mezcla) .....	57
Tabla 28. Relación A/C .....	60
Tabla 29. Diseño de mezcla.....	62




 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Tabla 30. Mezclas colofonia y cera.....	63
Tabla 31. Dimensión varillas usadas. ....	64
Tabla 32. Dimensiones cilindros 7 días. ....	69
Tabla 33. Dimensiones cilindros 28 días. ....	70
Tabla 34. Resultados compresión.....	71
Tabla 35. Dimensiones viguetas .....	72
Tabla 36. Resultados flexión viguetas. ....	73
Tabla 37. Cálculos flexión viguetas.....	74
Tabla 38. Valores RPL para cada muestra .....	76
Tabla 39. Resultados densidad de corriente.....	76
Tabla 40. Valores finales para RPL, Icorr, Vcorr.....	77
Tabla 41. Velocidad de corrosión.....	83

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio acerca del efecto que tiene la cera de abeja y colofonia como recubrimiento para el acero estructural en cuanto al fenómeno de la corrosión y la posible afectación a sus capacidades mecánicas. Para esto se plantearon diferentes proporciones de mezclas con el fin de evaluar la efectividad para cada una de ellas, además, se realizó un diseño de mezcla con el cual se elaboraron viguetas y cilindros, los cuales fueron curados durante un periodo de 28 días en una solución con una relación agua/sal al 10% de sal, incentivando el fenómeno de la corrosión directamente sobre las varillas de acero reforzado, lo cual fue evaluado mediante la metodología (RPL) con el fin de conocer la velocidad de corrosión para cada una de las muestras, adicionalmente, se evaluó la influencia de dichos recubrimientos en la resistencia a flexión mediante las viguetas de concreto reforzado, finalmente mediante un análisis cualitativo y con base en los resultados de velocidad de corrosión así como los de flexión, se pudo determinar que la mezcla de proporciones 75/25 (cera de abejas y colofonia) respectivamente, logro los resultados más óptimos de acuerdo al estudio realizado.


 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## INTRODUCCIÓN

En el presente documento se realiza una investigación acerca de los cambios que puede tener la velocidad de corrosión al implementar un recubrimiento orgánico en el acero de refuerzo.

Debido a que el concreto es uno de los materiales más usados para la construcción, es importante que este cuente con unas buenas propiedades de resistencia y durabilidad. Sin embargo, hay muchos fenómenos que afectan su buen funcionamiento y por esta razón es importante el implemento de nuevas metodologías que mitiguen el daño y además que sean buenos con el medio ambiente. Uno de estos fenómenos es la corrosión, este ha sido el causante del daño de muchas estructuras y se ha perdido gran cantidad de dinero por lo mismo; por esto es que durante muchos años se han hecho estudios sobre posibles componentes que ayuden a mitigar la corrosión.

En este trabajo se plantea una posible solución a dicha problemática usando un recubrimiento fabricado mediante una mezcla entre cera de abejas y colofonia en diferentes proporciones con el fin de evaluar la más óptima en cuanto a mitigación del fenómeno de la corrosión, para lo cual se usará el método de (RPL) mediante el cual se analizará la velocidad de corrosión para los diferentes recubrimientos y finalmente verificar la efectividad de dichos materiales. Por otro lado, se evaluará la posible afectación que puedan tener los componentes del recubrimiento sobre el concreto reforzado, determinándose por medio de ensayos mecánicos (resistencia a la flexión).

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------


## 1. GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

El uso de materiales cementantes viene desde el inicio de la civilización cuando el hombre vio la necesidad de construir estructuras simples que les sirvieran de resguardo. No hay forma de determinar cuál fue la primera obra de concreto, pero algunos rastros muestran que alrededor de los años 5600 a.C, se construyeron unas chozas empleando este material. A través de los años se ha convertido en el material de construcción más utilizado ya que es muy versátil y tiene propiedades físicas y mecánicas muy convenientes para las estructuras. Sin embargo, aunque el concreto es un material que aporta gran resistencia a la compresión, no tiende a ser tan bueno con los esfuerzos a tensión. Por esta razón desde hace muchos años se ha implementado la técnica de adicionar componentes como fibras o acero que ayuden a mejorar la resistencia a tensión [1].

A pesar de que el concreto reforzado es un material estructural tan bueno, a veces sufre algunos fenómenos que afectan sus propiedades físicas y mecánicas lo cual lleva a que las estructuras no tengan la durabilidad y desempeño esperados. Uno de estos fenómenos es la corrosión, la cual ha sido la causa de muchos daños en estructuras a nivel mundial [2]. A través de los años se han hecho investigaciones para buscar componentes o recubrimientos que ayuden a mitigar la corrosión del acero. Sin embargo, la mayoría de pinturas o aditivos cuentan con gran cantidad de químicos que dañan el medio ambiente e incrementan la contaminación que produce la construcción. Por esta razón actualmente se han venido haciendo estudios sobre recubrimientos orgánicos con cera de abeja, que han dado buenos resultados y que son favorables para el medio ambiente.

Desde el antiguo Egipto se ha implementado el uso de cera de abejas de diferentes maneras. La cera de abejas se ha utilizado para fabricar velas, como protector de cabello, como un producto medicinal. En la actualidad se ha evidenciado que esta también sirve para conservar y proteger alimentos o cosas. Uno de ellos es, los embalses de acero en los cuales se empaca la miel o frutas, estos embalses se protegen con una fina capa de cera de abejas para que esta no sufra corrosión por los ácidos que puede expulsar la miel u otras frutas [3].

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------


En el año 2015 Sara Abdikheibari y compañía, hicieron un estudio en el cual diseñaron un revestimiento orgánico de cera de abejas con colofonia. Este recubrimiento se colocó en tanques de acero para agua potable y por medio de circuito abierto se tuvo lectura de la velocidad de corrosión. Del estudio se concluyó que el recubrimiento funciona, que ayuda a aumentar la resistencia a la corrosión y que el recubrimiento no se degrada [4].

En el 2019 Kamalon Rajitha, Kikkeri Narasimha Shetty Mohana entre otros, realizaron un recubrimiento de cera de abejas y grafeno. Ellos tomaron placas de acero dulce y les pusieron la mezcla. Los resultados los tomaron por medio de un circuito abierto el cual les daba el potencial de cada lámina. Del estudio también se obtuvieron buenos resultados, se pudo ver que el recubrimiento ayuda a mitigar la corrosión. [5]

En el 2019 Fitriana y Anawati utilizaron como un material sellante la mezcla de cera de abejas y resina de colofonia. Para el estudio se utilizó una chapa de aleación AZ31 Mg. La cual fue llevada a anodización y sellada con el recubrimiento. Luego se hizo el análisis de velocidad de corrosión por el método de pérdida de peso y los resultados fueron muy buenos ya que durante los días que se hizo el estudio, la muestra fue afectada por corrosión, así que se pudo evidenciar que el recubrimiento si ayuda a sellar los poros del material [6]. Se debe tener claro que no se han hecho investigaciones probando el recubrimiento en acero de refuerzo, por esta razón es que se ampliará la investigación.

En 2012 C. Chiavari y compañía, estudiaron el comportamiento de la corrosión en el acero Cor-Ten ya que este es ampliamente usado en la construcción, pero las condiciones del medio ambiente tienden a afectar su resistencia. En el estudio se quería evaluar el comportamiento de corrosión de 3 acabados en el acero al ser expuestos a escorrentía y estancamiento de agua. El primer tipo era el acero al desnudo, el segundo era pre-patinado y el tercero pre-patinado y encerado. Del estudio se pudo evidenciar que el pre-patinado no tiene grandes beneficios en la corrosión a comparación del acero al desnudo. Además, en condiciones de estancamientos el acero sufre una alta liberación de metales lo cual es dañino para el medio ambiente [7].



 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA


El concreto es un material de construcción compuesto por cemento, agregados y agua. Este se ha convertido en el material de construcción más utilizado a nivel mundial por las propiedades que contiene como; versatilidad en cuanto a las formas que puede llegar a tomar, resistencia a compresión y durabilidad [8].

El componente más importante del concreto es el cemento, sin embargo, la producción de este genera un gran impacto ambiental a nivel mundial. Cada año se producen más de 4.000 millones de toneladas de cemento, lo cual representa alrededor del 5% de la contaminación de CO<sub>2</sub> del mundo. Debido a esto es necesario desde uno de los aspectos más contaminantes como lo es la construcción, generar soluciones que ayuden a mitigar estos niveles de contaminación y que nuestras construcciones sean amigables con el medio ambiente [9].

Una vez el concreto alcanza su estado endurecido adquiere propiedades mecánicas, las cuales dependen de las propiedad físicas y químicas que posean los componentes del concreto, de acuerdo a esto, puede mejorar o disminuir dichas propiedades, como lo son, la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y resistencia a cortante, entre otras; estas propiedades sumadas a la acción del medio ambiente, ataques químicos, abrasión y otras condiciones de servicio pueden afectar a la durabilidad o vida útil del concreto [1].

“La durabilidad del concreto es la habilidad para resistir la acción del medio ambiente, los ataques químicos, la abrasión y otras condiciones de servicio, con el fin de que sus características y propiedades sean adecuadas a lo largo de su vida útil” [1]. Uno de los factores que más afecta la durabilidad del concreto es la corrosión. La corrosión es una reacción química que se da por ataque de cloruros y CO<sub>2</sub> al acero y por la acción de medio ambientes agresivos; este fenómeno se da comúnmente cuando el concreto cuenta con una alta permeabilidad ya que permite fácilmente la entrada de agentes, además es un fenómeno que se da comúnmente en ambientes agresivos como por ejemplo zonas costeras.

La estructura al sufrir problemas de corrosión tiende a perder sus óptimas propiedades mecánicas lo que conlleva a que esta pierda capacidad para desempeñar su función, ya que la corrosión provoca cambios como alta

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

permeabilidad lo cual facilita la entrada de agentes químicos, pérdida de adherencia y cambios de volumen al interior del concreto, este al no poder soportar esfuerzos a tracción comienza a fisurarse y perder propiedades de durabilidad.

De acuerdo con lo anterior se busca una solución que ayude a mitigar la corrosión en estructuras de concreto reforzado, ya que este es un fenómeno muy común y que tiene grandes repercusiones en las estructuras, la solución que se desarrollará, se hará teniendo en cuenta que el concreto no pierda sus propiedades mecánicas. Por otro lado, se buscará una solución amigable con el medio ambiente, esto con el fin de ayudar a mitigar la contaminación que se genera con las obras civiles.

Según estudios se ha demostrado que la cera de miel de abeja, ayuda a mitigar la corrosión en el acero, en estos estudios se analizaron las capacidades electroquímicas, químicas y microbiológicas en una mezcla de cera de abejas como revestimiento orgánico reciclable para tanques de agua potable, se realizó a una muestra a un examen tipo HPC con una alta exposición corrosiva la cual durante todo el tiempo de inmersión la mezcla orgánica verde demostró una alta resistencia a la corrosión, además, se observó que el recubrimiento no experimentó ningún deterioro y no fue consumido por los microorganismos como fuente de alimento [4].


### **1.2.1 Pregunta De Investigación**

¿Qué efecto produce la cera de abejas en la velocidad de corrosión del concreto reforzado y cómo se puede implementar para la prevención del deterioro de las estructuras?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la influencia de la cera de abejas en la corrosión del concreto reforzado utilizando la técnica de Resistencia a la Polarización Lineal (RPL).

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------


### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- Desarrollar diferentes tipos de recubrimiento para el acero de refuerzo con base en la implementación de cera de abejas.
- Elaborar muestras de concreto reforzado, con variaciones en el tipo de recubrimiento a base de cera de abejas sobre las barras de acero de refuerzo.
- Evaluar la velocidad de corrosión en las muestras fabricadas luego de ser sometidas a una solución de cloruro de sodio mediante la implementación del ensayo de Resistencia a la Polarización Lineal.
- Identificar la influencia del recubrimiento de cera de abejas sobre el acero de refuerzo en la resistencia a flexión de muestras del concreto reforzado.
- Determinar la influencia del recubrimiento a base de cera de abejas en el fenómeno de corrosión en el concreto reforzado.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Es conocido que la corrosión es uno de los fenómenos que más deteriora las estructuras en concreto reforzado lo cual genera no solo gastos continuos en mantenimiento de las estructuras, sino que también disminución de la vida útil de las mismas; como solución a dicho problema se usan en la actualidad pinturas de recubrimiento las cuales son creadas a partir de metales pesados y materiales altamente contaminantes, es por esto que se requiere implementar recubrimientos amigables con el medio ambiente con el fin de mitigar la corrosión del acero de refuerzo a una alta exposición de cloruros como puede ser las construcciones ubicadas en zonas costeras las cuales se ven altamente afectadas por dicho fenómeno usando no solo materiales totalmente naturales como lo son la cera de abejas y la colofonia, se reducirá el uso de materiales contaminantes en las obras civiles, se ayudará a la industria apicultora de nuestro país, la cual ha demostrado un alto crecimiento en el mercado natural por lo cual su precio es bajo y su accesibilidad es más sencilla.

Partiendo de los antecedentes mencionados anteriormente y en busca de contribuir a la disminución del impacto ambiental en el sector de la construcción a nivel mundial, además sabiendo que en la actualidad se usan pinturas para reducir la corrosión en el acero de refuerzo no solo costosas, sino que también altamente

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

contaminantes es necesario la investigación de recubrimientos respetuosos con el medio ambiente y más económicos, es por esto y que basados en los estudios previamente descritos, se implementará como posible inhibidor a la corrosión del acero de refuerzo a la cera de abejas junto con colofonia, ya que ha sido usada directamente sobre piezas de acero, pero no en contacto directo con el concreto, como se plantea en el presente documento.

## 1.5 MARCO REFERENCIAL

### 1.5.1 *Marco teórico*

#### ➤ **Concreto**

##### **Definición**


Como lo explica Joaquín Porrero [10] el concreto es un material que está compuesto por dos partes: la primera es una pasta la cual está conformada por agua y cemento, esta tiene la propiedad de endurecer con el tiempo. La segunda parte es una serie de agregados fino y gruesos los cuales quedan englobados en la pasta. Al endurecer la mezcla se forma un sólido compacto el cual puede soportar grandes esfuerzos de compresión.

##### **Antecedentes**

Probablemente el empleo de materiales cementantes se remonta al inicio de la civilización cuando el hombre vio la necesidad de construir una estructura que le sirviera para su protección utilizando arcilla o cal para unir las piedras [1]. Sin embargo, hay evidencias de que durante el Imperio Romano se desarrollaron algunos productos similares al concreto. “El concreto tal como se conoce actualmente, tuvo sus inicios en la segunda mitad del siglo XVIII, con las investigaciones sobre cales de John Smeaton y Joseph L. Vicat. A principios del siglo XX se desarrolla en cemento Portland y se establecen la mayoría de los comportamientos del material” [10].

##### **Componentes**

Los componentes del concreto son los agregados, cemento, agua y en algunas situaciones aditivos. Del 60% al 80% del concreto está compuesto por agregados

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------


grueso (piedra picada) y finos (arena natural o arena obtenida por trituración). Es muy importante que este material tenga buenas características ya que de ello depende la calidad del concreto. La calidad de los agregados depende de las condiciones geológicas de la roca madre y de los procesos de extracción. Los agregados son importantes inicialmente porque actúan como material de relleno lo cual hace la mezcla más económica y en segundo lugar son los que ayudan a proporcionar parte de la resistencia a compresión del concreto [10].

La cantidad de cemento en la mezcla de concreto varía entre el 7% y 15%, el cemento más común es el Portland, este tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua. Es importante que el cemento cuente con buenas propiedades de adhesión y cohesión ya que son las que permiten aglutinar los agregados con la pasta para conformar el concreto. “Estas propiedades dependen de su composición química, grado de hidratación, finura de las partículas, velocidad de fraguado, calor de hidratación y la resistencia que es capaz de desarrollar “ [1]. El agua es un componente muy importante ya que es el que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes. Es importante tener en cuenta que el agua tenga buenas características químicas como que tenga un Ph mayor a 7, que no tenga sal y que no posea gran cantidad de sulfatos.

Finalmente, los aditivos son productos químicos que le agregan a la mezcla del concreto, con el propósito de modificar las propiedades del concreto, para que este se adecue a las condiciones que se necesite.

### **Características del concreto**

Las características del concreto pueden variar mediante el control de sus ingredientes. Esto se refiere a que, dependiendo el tipo de estructura, se hace la mezcla de concreto para que soporte las características necesarias en la estructura. El concreto cuenta con varias características, pero las principales propiedades del concreto son la trabajabilidad la cual representa la facilidad con la que la mezcla puede manejarse, transportarse y colocarse de forma homogénea. La durabilidad es una de las más importantes ya que el concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acciones químicas y desgaste a los que se va a enfrentar en su vida de servicio [11].

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Otra característica es la resistencia, esta es la habilidad que tiene el concreto para resistir esfuerzos de compresión, tracción, flexión y corte. Sin embargo, el concreto tiene una alta resistencia a compresión y poca tensión, por esta razón se hace uso del concreto reforzado [1].

Por otro lado, como se especifica en Geoseismic [11], se debe tener en cuenta que las propiedades del concreto dependen de diversos factores como:

- Relación de agregado grueso, fino y cemento.
- Relación agua-cemento.
- Propiedades del agregado grueso y fino.
- Mezcla y colocación.
- Curado.


### ➤ **Concreto Reforzado**

El concreto reforzado es una combinación de concreto y acero, esto se refiere que, a la masa de concreto se le colocan barras de acero. El acero proporciona resistencia a la tensión que es la que carece el concreto. El concreto reforzado es un material muy importante para la construcción ya que puede usarse en la mayoría de las estructuras como: edificios, puentes, pavimentos, presas, túneles, etc. [12].

### **Ventajas del concreto reforzado**

Como dice Jack C. McCormac [12], las ventajas del concreto reforzado son:

- Tiene una resistencia considerable a la compresión
- El concreto reforzado tiene gran resistencia a las acciones del fuego y el agua y, de hecho, es el mejor material estructural que existe para los casos en que el agua esté presente.
- Las estructuras de concreto reforzado son muy rígidas.
- Requiere de poco mantenimiento.
- Es prácticamente el único material económico disponible para zapatas, losas de piso, muros de sótano, pilares y construcciones similares.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

- Una característica especial del concreto es la posibilidad de colarlo en una variedad extraordinaria de formas que van desde simples losas, vigas y columnas, hasta grandes arcos y cascarones.

## ➤ Corrosión

### Definición

Como lo explica Quilyam Casallas [13], la corrosión tiene distintas definiciones ya que cada material y específicamente para los metales, se comportan muy diferente dependiendo de su proceso de fabricación, grupo de uso y el ambiente al cual se vaya a enfrentar. Sin embargo, se podría definir como “La destrucción o deterioro continuo a través del tiempo de un material debido a una reacción química o electroquímica con el medioambiente o el microambiente donde se encuentra trabajando u operando el material en cuestión” [13].

### Antecedentes


La corrosión del acero estructural suele ser la principal causa de deterioro en las estructuras de concreto reforzado es por esta razón que desde que se empezó a implementar en la construcción se ha hecho materia de investigación con el fin prolongar la vida útil de dichas estructuras y mejorar sus propiedades mecánicas [14].

Como lo indica el portal de las universidades en Colombia “universia” en el país “Más de 26 mil millones de pesos pierde la industria colombiana debido a la corrosión de los materiales” [2].

Según los egresados de la Universidad de Santander la corrosión genera un gran impacto en el PIB, ya que los metales son usados en amplios campos como la ingeniería y la medicina [2].

### Naturaleza electroquímica de la corrosión

Como lo explica Edward Bergaño [15] “La corrosión es un efecto de naturaleza electroquímica que cumple con las características fundamentales de una pila o

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

batería” [15] básicamente esta característica que se repite en todos los metales presentes en la naturaleza genera una pérdida prácticamente inevitable de electrones lo cual genera el efecto mencionado.

### **Velocidad de corrosión**


Luego de muchos esfuerzos analíticos, experimentales y tecnológicos con el fin de conocer a fondo el fenómeno y velocidad en la que se presenta la corrosión, de acuerdo a Walter López y compañía [16], existen principalmente tres métodos para medir la velocidad de corrosión los cuales se mencionan a continuación.

1. *Pérdida de peso:* Este método consiste en sumergir una muestra del material a una solución corrosiva con el fin de medir la relación entre centímetros de penetración y horas, según Walter López “Históricamente, la medición de la pérdida de peso fue la primera manera de tener una evaluación cuantitativa del proceso de corrosión” [16], con estos valores se podía realizar una comparación gráfica evaluando tanto distintos materiales como distintas soluciones. [16]
2. *Extrapolación de Tafel:* Al igual que en el primer método la comparación de la velocidad se da gráficamente, solo que para este caso según Walter López “Se usa el concepto de la teoría del potencial mixto” [16] para conseguir finalmente la relación entre corriente vs potencial de electrodos y realizar su respectivo análisis.
3. *Resistencia de polarización:* Nuevamente se realiza un análisis entre la corriente vs potencial de electrodos, pero teniendo en cuenta la relación lineal entre estas dos variables como lo explica Walter López “No fue sino hasta 1957 cuando Stern y Geary demostraron que existe una relación lineal entre el potencial y la corriente aplicada a potenciales poco alejados del potencial de corrosión con el fin de definir la resistencia de polarización” [16], también se indica que esta ecuación está basada en las mismas hipótesis del método dos.

### **Resistencia a la polarización lineal (RPL)**

En este proyecto de investigación se usará el método para controlar los procesos corrosivos (RPL), actualmente es una de las técnicas más utilizadas para medir la velocidad de corrosión en el acero de concreto reforzado, el objetivo de esta técnica



 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

es llegar a obtener valores cuantitativos. Para llevar a cabo este método es indispensable el uso de algunas herramientas y materiales, como lo son:

1. Materiales:

- Electroodos
- Celda
- Disoluciones


2. Equipo:

- Potenciostato
- Graficador

El procedimiento experimental consiste en aplicar una pequeña polarización y así, medir la densidad de corriente resultante, de esta forma se obtiene el esquema de resistencia a la polarización lineal. La norma ASTM G59 “Standard Test Method For Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements”, el cual describe el procedimiento experimental para la medición de la resistencia a la polarización [17].

**Formas de corrosión**

1. *Corrosión Uniforme:* El acero es afectado en toda su superficie de manera uniformemente, “este suele darse por una exposición a altas temperaturas o soluciones ácidas” [13].
2. *Corrosión Localizada:* Este proceso se refleja en la superficie del acero como pequeños agujeros de forma irregular que suelen conectarse internamente entre sí, “este ataque suele suceder debido a imperfecciones estructurales del metal o transformaciones metalúrgicas” [13].
3. *Corrosión por agrietamiento:* Este tipo de ataque se conoce también como “Fatiga por corrosión” [13] suele presentarse debido a esfuerzos mecánicos a los cuales se somete el acero.
4. *Corrosión por erosión:* Este efecto se produce cuando se deja el metal sin ningún recubrimiento a exposición directa al ambiente, lo cual genera un desgaste superficial que se va dando en proporción a la agresividad del entorno.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------


## Métodos de control de corrosión

Como explica Quilyam Casallas en la industria metalúrgica se utilizan diversos métodos en el proceso de fabricación para los cuales él resalta los siguientes [13]:

1. Protección catódica: Se da comúnmente en sistemas de tubería enterradas, como explica Quilyam Casallas [18] “el procedimiento consiste en tomar corriente continua de un generador externo al sistema y unir mediante un colector soldado a la tubería ánodos de sacrificio relativamente inertes como el carbón. La corriente pasa del ánodo al suelo y de este a la tubería volviendo al ánodo a través del alambre colector” [18].
2. Protección anódica: Según Carlos Giudice “la protección anódica es un método que consiste en recubrir un metal con una fina capa de óxido para que no se corroa, tiene que ser adherente y muy firme de lo contrario no serviría de nada” [19].
3. Recubrimientos orgánicos: Como explica Quilyam Casallas “en nuestro medio los recubrimientos son considerados como los materiales de mayor uso durante los procesos de control de corrosión” [18] generalmente se usan pinturas modificadas industrialmente con el fin de obtener mejores capacidades resistivas químicamente.

Recubrimientos inorgánicos: Entre los recubrimientos orgánicos más usados industrialmente se encuentran según Quilyam Casallas “películas de zinc, cromo, cobre níquel, estaño, entre otros” [18] estos inhibidores de corrosión se usan como barrera para evitar que este efecto llegue al material principal “Teniendo en cuenta que los metales pueden ser agrupados por la diferencia de potencial que se establece al poner en contacto dos metales distintos en presencia de un mismo electrolito se hace uso de esta condición para controlar la corrosión” [18].

4. Selección de materiales: En muchos casos no se analiza específicamente el uso que se dará o el tipo de materiales a usar, como explica Quilyam Casallas “Durante los procesos de selección y diseño de los esquemas de protección mediante recubrimientos se cometen grandes errores generalmente por desconocimiento del tema, lo cual genera pérdidas de dinero tanto por la necesidad de mantenimientos prematuros como por la obligación de reemplazar partes o equipos en corto tiempo” [18].

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

5. Modificaciones de diseño: Se da directamente desde la fabricación de los aceros con el fin de mejorar sus características resistivas a la corrosión, como explica Quilyam Casallas “Es común que los ingenieros metalúrgicos hagan adición de materiales aleantes que generan resistencia a la corrosión tales como el cromo y níquel los cuales después de cierta concentración hacen que las aleaciones ferrosas se vuelven muy resistentes a la corrosión” [18].

### **1.5.2. Marco conceptual**

**Concreto:** Material de construcción compuesto por cemento, agregados y agua [1].

**Cemento:** El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión. Al estar en contacto con el agua forma una pasta que al secarse se vuelve sólida [1].

**Aglutinante:** Son materiales que al mezclarse con el agua se vuelven pastosos y moldeables; solidifican más o menos rápidamente y adquieren una gran rigidez. Se emplean como medio de unión entre otros materiales [20].

**Contaminación:** Factor de un entorno cuando ingresan elementos o sustancias que normalmente no deberían estar en él y que afectan el equilibrio del ecosistema [21].


**Abrasión:** Acción y efecto de raer o desgastar por fricción [22].

**Resistencia:** Es la capacidad que tiene los elementos estructurales de soportar los esfuerzos a los que están sometidos sin romperse [1].

**Resistencia a la Compresión:** Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento [23].

**Corrosión:** Destrucción o deterioro continuo a través del tiempo de un material debido a una reacción química o electroquímica con el medioambiente o el microambiente donde se encuentra trabajando u operando el material en cuestión [13].

**Permeabilidad:** En el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo [24].


 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

**Durabilidad:** Habilidad para resistir la acción del medio ambiente, los ataques químicos, la abrasión, etc., de tal manera que sus propiedades se mantengan a lo largo de su vida útil [1].

**Tiempo de fraguado:** Cambio de estado plástico ha endurecido del concreto [1]

### 1.5.3. Marco legal

- NSR-10 - Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente
- NTC 121 - Especificación de desempeño para cemento hidráulico.
- NTC 221 - Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.
- NTC 118 - Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato Vicat.
- NTC 77 - Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. (Granulometría).
- NTC 550 - Elaboración y curado de probetas cilíndricas.
- NTC 2871 - Método de ensayo para determinar el esfuerzo a la flexión.
- NTC 673 - Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- NTC 174 - Especificaciones de los agregados para concreto
- NTC 237 - Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
- NTC 176 - Método para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
- NTC 92 - Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
- ASTM G59 - Método de prueba estándar para realizar mediciones de resistencia de polarización potencio dinámica.
- NTC 1377 - Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## 1.6 ESTADO DEL ARTE

El concreto reforzado es uno de los materiales de construcción más utilizados, sin embargo, estas estructuras son muy susceptibles a sufrir problemas de corrosión. La corrosión en las estructuras de concreto reforzado es un problema muy serio ya que trae consecuencias importantes en las estructuras. Este es un fenómeno que ocurre a nivel mundial y ha sido la causa de grandes pérdidas económicas por sus reparaciones. La corrosión en el concreto armado no es un problema que solo afecta la integridad de la estructura sino también la resistencia de los elementos ya que la corrosión genera reducción de los espesores de la armadura y esto provoca fallas por agrietamiento [25].

La corrosión se produce principalmente por la presencia de agua y oxígeno o de algunos agentes químicos como cloruros en contacto con el acero. La corrosión se puede mitigar con algunos factores como que la mezcla tenga una baja permeabilidad, que la mezcla de concreto tenga una relación  $a/c < 0.45$  y que se tenga un buen recubrimiento del acero. Sin embargo, el concreto es un material muy poroso y es muy complicado poder cumplir todas las características mencionadas anteriormente. De acuerdo a esto durante muchos años se han ido buscando soluciones como sustancias que ayudan a sellar los poros del concreto y que mitiguen el ingreso de algunos agentes [26].


Actualmente existen varios métodos para prevenir la corrosión, los métodos más comunes son la protección catódica, el uso de inhibidores de corrosión, revestimientos, adiciones entre otros. Sin embargo, estas estrategias cuentan con la implementación de muchos productos químicos que tienen un gran impacto para el medio ambiente. Por esta razón se han venido haciendo investigaciones para poder implementar recubrimientos ecológicos que ayuden con el bienestar del medio ambiente. Algunos tipos de recubrimiento que existen son: los recubrimientos metálicos, esto es una capa que se pone al acero de otro metal como zinc, aluminio entre otros y que ayudan a la protección del mismo. El recubrimiento inorgánico es un tipo de esmalte que se aplica sobre la superficie y estos ayudan a resistir sustancias químicas. Los recubrimientos orgánicos son una clase de pintura que al aplicar y dejar secar forma una barrera que aísla el metal de los agentes corrosivos [27].



En el año 2015 Sara Abdikheibari *et al*, realizaron un estudio, diseñando una mezcla de cera de abejas con colofonia, el fin de esta, era formar un revestimiento orgánico que ayudará a mitigar la corrosión en tanques de acero para almacenar agua potable. En el estudio se tomaron placas de acero dulce, se limpiaron y manualmente se colocó el recubrimiento. En el recubrimiento se trató de dejar constante un grosor de 400  $\mu\text{m}$  en las placas, se quería mantener ese grosor ya que el recubrimiento quedaba con una tonalidad semipermanente y se tendría más facilidad para ver cualquier cambio que se presentará en el acero. Al tener listas las placas, estas se sumergieron en agua que contenía NaCl (Cloruro de sodio). Para el estudio electroquímico se utilizó un circuito abierto a largo plazo, se diseñó un circuito en el cual se incluyera la placa de acero, el elemento se conecta a una red de voltaje y se van obteniendo lecturas [4].

Al final de la investigación se concluyó que el revestimiento si funciona, que este tiene una gran resistencia a la corrosión, aunque en largos periodos puede llegar a no ser tan eficiente la mezcla. Por otro lado, se pudo evidenciar que el recubrimiento no se degrada, esto quiere decir que no es afectado por los microorganismos lo cual es una buena característica. Aunque los resultados fueron buenos, los autores del artículo sugieren que se siga ampliando la investigación y que se haga en otras aplicaciones. Por esta razón se va implementar este recubrimiento en barras de acero para concreto reforzado, ya que se cree que pueda funcionar también para este tipo de acero y así ampliar la investigación.

Por otro lado, en el 2019 Kamalon Rajitha, Kikkeri Narasimha Shetty Mohana entre otros. Realizaron un estudio sobre un revestimiento ecológico de cera de abejas que ayudará a la corrosión en acero dulce. Ellos añadieron al revestimiento nano relleno con el fin de volver la mezcla mucho más eficiente ya que según estudios, la adición de nano partículas mejora las propiedades de barrera del recubrimiento. Para el estudio utilizaron grafeno como nano relleno. Para el proceso inicialmente tomaron placas de acero dulce, cada placa fue pulida y limpiada correctamente con acetona, Para la mezcla se hicieron diferentes mezclas de cera con diferentes cantidades de % en peso del grafeno (0.05, 0.1, 0.3, 0.5% en peso). Finalmente se hicieron análisis de morfología para ver la rugosidad de la superficie de cada recubrimiento y con un circuito abierto se tomaron los valores de potencial.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

De la investigación se evidencio que el recubrimiento si funciona, aunque tiene mejores resultados de resistencia a la corrosión cuando contiene grafeno en 0.1% en peso. Ellos muestran una aplicación innovadora de la cera de abeja y que se puede desarrollar una estrategia ecológica y rentable que ayude a combatir la corrosión [5].


En el 2019 Fitriana y Anawati hicieron una investigación probando cera de abejas y resina de colofonia como un material sellante para la capa de óxido anódico de la aleación AZ31 Mg. Para el estudio se utilizó una chapa de aleación AZ31 Mg, la cual fue limpiada con acetona y llevada a anodización. La anodización se hizo con un voltaje constante de 5 voltios y en una solución de Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> con una variación de tiempo de 10, 20 y 30 min. Luego de la anodización la muestra se lavó con agua normal y se dejó secar. Al secarse la muestra, esta fue sellada poniéndola en la mezcla por 30 min y dejándola secar por 24h. Por último, se le midió la velocidad de corrosión a la muestra por el método de pérdida de peso. Finalmente, del estudio se evidencio que el sellador si mejoro notablemente la resistencia a la corrosión de las muestras, durante los 14 días de estudio las muestras no se vieron afectadas por la corrosión y se pudo evidenciar que la mezcla ayuda a sellar las grietas y poros que tiene el material, lo que lleva a que los agentes no puedan entrar [6].

Teniendo en cuenta que en las investigaciones que se han realizado, utilizando la cera de abejas como recubrimiento, se ha tenido un buen resultado, se quiere ampliar la investigación y evidenciar si este sellador también funciona en las barras usadas para el concreto reforzado.

## 1.7 METODOLOGÍA

### **FASE 1 - Diseño de mezclas como recubrimiento del acero de refuerzo**

Se realizarán 4 tipos de mezclas con el fin de evaluar el comportamiento a diferentes proporciones de cera de abejas y colofonia.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

- En primer lugar, se procederá a la obtención de los dos materiales para llevar a cabo las diferentes mezclas, dichos materiales son:

- ✓ Cera de abejas
- ✓ Colofonia

- Posteriormente se realizarán las 4 mezclas siguiendo los siguientes parámetros:

*Mezcla 1:* Diseño normal sin recubrimiento (mezcla de control).

*Mezcla 2:* Diseño de recubrimiento únicamente con cera de abejas.

*Mezcla 3:* Diseño de recubrimiento con cera de abejas y una pequeña proporción de colofonia.


*Mezcla 4:* Diseño agregando cera de abejas y una mayor proporción de colofonia.

- Posteriormente se aplicarán las mezclas descritas anteriormente a las barras de acero, para secado durante 24 hrs.

## **FASE 2 - Fabricación de muestras en concreto**

- En primer lugar, se obtendrán los materiales para la fabricación de los cilindros de concreto:
  - ✓ Cemento hidráulico
  - ✓ Caracterización del cemento: NTC 118, NTC 121
  - ✓ Agregados (Fino y Grueso)
  - ✓ Caracterización de los agregados: NTC 92, NTC 174, NTC 196
  - ✓ Agua de mezclado
  - ✓ Acero de refuerzo (ASTM A706)
- Se fabricará un total de 3 muestras por cada una de las mezclas con el fin de obtener 12 muestras o cilindros para su posterior evaluación.



 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

- Estos 12 cilindros se llevarán a un proceso de curado durante 28 días.

### **FASE 3 - Evaluación de la corrosión**

- Además de analizar la participación como inhibidor de corrosión en el concreto reforzado para cada una de las mezclas, se verificará la posible afectación a las propiedades mecánicas del mismo.
- Con ayuda del método ya descrito de “Resistencia a La Polarización Lineal (RPL)”, se evaluará la velocidad de corrosión para cada una de las mezclas. (ASTM G59 - “Standard Test Method For Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements”).
- Este proceso se llevará a cabo para cada una de las doce muestras y se evaluarán según la proporción de cera de abejas y colofonia aplicadas a las mismas.

### **FASE 4 - Análisis de influencia de la cera de abejas - colofonia en la corrosión**

- Se realizarán pruebas mecánicas para comprobar la afectación de la cera de abejas a las mismas.
- Mediante el método RPL se determinará la influencia de la cera de abejas - colofonia en la velocidad de corrosión del acero de refuerzo.
- Análisis de resultados.
- Elaboración de informe final.



Ilustración 1. Diagrama de Metodología.



Fuente: Propia.

## 2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

### 2.1 CEMENTO

Para la caracterización del cemento se utilizó cemento Argos de uso general.

#### Densidad

El ensayo de densidad del cemento se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos por la norma NTC 221, inicialmente, se agregó kerosene en el frasco de Le Chatelier, posteriormente, se llevó a baño maría con el fin de mantener una temperatura constante durante el procedimiento y tomar la primera lectura, a continuación, se tomó una determinada muestra de cemento la cual se fue añadiendo poco a poco en el frasco de Le Chatelier. Después de agregar todo el cemento se retiraron las burbujas que este contenía, una vez retiradas estas burbujas se llevó el frasco nuevamente a baño maría con el fin de tomar la lectura final [28]. [Anexo 1].

Tabla 1. Valores obtenidos ensayo NTC 221.

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Masa del cemento	g	64,03
Volumen inicial, Vi	cm <sup>3</sup>	0,7
Volumen final, Vf	cm <sup>3</sup>	23,6
Temperatura	°C	25,5

Fuente: Propia.

Para calcular la densidad y densidad relativa, se utilizaron la formulas dispuestas por la NTC 221 [28]. El volumen desplazado se tomó como la diferencia entre el volumen inicial y el volumen fina, a continuación, se presentan dichas formulas.

$$Densidad = \frac{Masa\ del\ cemento\ (g)}{Volúmen\ desplazado\ (cm^3)}$$



$$\text{Densidad Relativa} = \frac{\text{Densidad del cemento} \left( \frac{g}{cm^3} \right)}{\text{Densidad del agua a } 4^{\circ}C \left( \frac{g}{cm^3} \right)}$$

Tabla 2. Resultados Densidad del Cemento

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2,80
Densidad Relativa	Adimensional	2,80

Fuente: Propia

Fotografía 1. Ensayo de densidad del cemento.



Fuente: Propia

## Consistencia normal del cemento

Con base en la norma NTC 110 se realizó la determinación de la consistencia normal del cemento, en primer lugar, se realizó una pasta de cemento para la cual se tomó una determinada cantidad de cemento y se asumió una cantidad de agua, con el fin de lograr la consistencia normal del cemento, parámetro que según la norma se alcanza al lograr una penetración de  $(10 \pm 1)$  mm en un periodo no superior a 30 segundos por medio del aparato de Vicat, este procedimiento se realizó 4 veces hasta lograr dicha especificación, a continuación, se presentan los resultados del ensayo [29]. [Anexo 1].

Tabla 3. Consistencia Normal del Cemento.

PROPIEDAD	UNIDADES	PRUEBA		
		1	2	3
Vol agua	cm <sup>3</sup>	169	175,5	224,25
% de agua	%	26	27	28
Masa cemento	g	650	650	650
Penetración	mm	6	9	10

Fuente: Propia

De acuerdo a la Tabla 3, el valor porcentual de agua para lograr una penetración a la pasta de cemento con un valor de  $(10 \pm 1)$  mm en 30 s y determinar la consistencia normal del cemento se da al agregar 28% de agua con relación a los 650 g de cemento usados para el ensayo.

Tabla 4. Resultado consistencia normal del cemento.

<b>Consistencia normal</b>	<b>28%</b>
----------------------------	------------

Fuente: Propia

Fotografía 2. Ensayo consistencia del cemento.



Fuente: Propia

## Tiempos de fraguado

El ensayo para determinar los tiempos de fraguado para el cemento fue realizado mediante la norma NTC 118 [30], la cual indica, que una vez obtenido el valor de la consistencia normal del cemento, que para nuestro caso es igual al 28%, se debe preparar nuevamente una mezcla con esa relación agua/cemento y llevar a la cámara de curado durante 20 minutos y posteriormente someter al aparato de Vicat utilizando la aguja determinada para dicho ensayo, se debe realizar varios momentos de penetración a la muestra teniendo en cuenta, el tiempo de fraguado se calcula con aquellos tiempos con los que la aguja logra penetrar 25 mm o menos la muestra del ensayo, el tiempo de ensayo fue de 260 mín. [Anexo 1]. A continuación, se presentan los respectivos resultados:

Tabla 5. Resultados ensayo tiempos de fraguado.

t (min)	Penetración (mm)	t (min)	Penetración (mm)
0	40,0	180	28,0
30	40,0	190	26,0
60	40,0	200	24,0
90	40,0	210	16,0
105	40,0	220	3,0
120	40,0	230	1,5
135	40,0	240	1,0
150	40,0	250	0,5
165	38,0	260	0,0

Fuente: Propia

Una vez realizado el ensayo, se procede al cálculo del tiempo de fraguado según lo indica la norma:

$$\text{Tiempo de fraguado} = \left( \left( \frac{B - A}{C - D} \right) \times (C - 25) + A \right)$$

En donde:

A = tiempo, en minutos, de la última penetración mayor a 25 mm.

B = tiempo, en minutos, de la primera penetración menor de 25 mm.



C = lectura de penetración en el tiempo A.

D = lectura de penetración en el tiempo B.

A continuación, se presentan los valores para A, B, C y D.

Tabla 6. Datos cálculo de  $t_f$ .

DATOS	VALOR
A	190
B	200
C	26
D	24

Fuente: Propia.

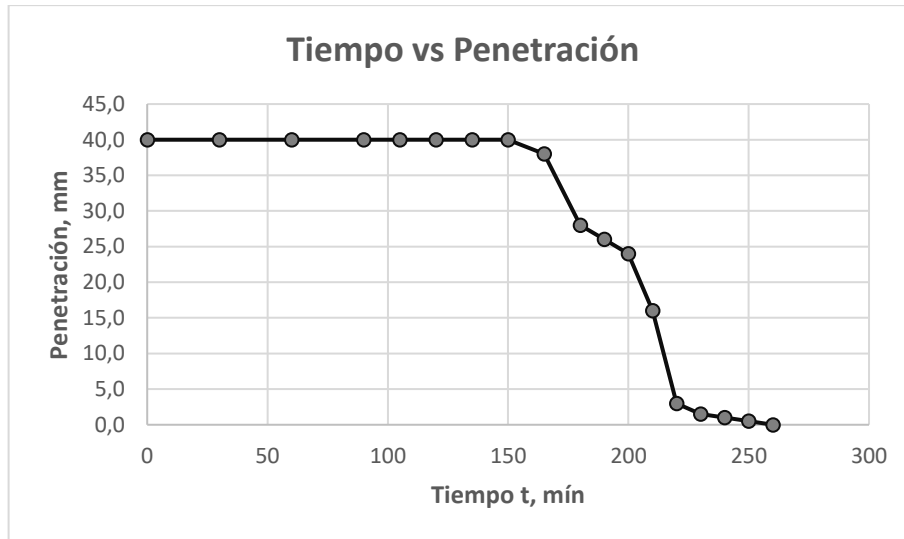
Una vez determinados los datos, se procede al cálculo del tiempo de fraguado.

$$\text{Tiempo de fraguado} = \left( \left( \frac{200 - 190}{26 - 24} \right) x (26 - 25) + 190 \right)$$

$$\text{Tiempo de fraguado} = 195 \text{ min}$$



Gráfica 1. Tiempos de fraguado.



Fuente: Propia.

## 1.6. AGREGADOS

### Tamizado/Granulometría

Por medio de la norma NTC 77 se realizó el respectivo ensayo de granulometría tanto para el agregado grueso (Gravilla #3) como para el agregado fino, para los cuales se estableció una serie de tamices usados para caracterizar el tamaño de sus partículas [31] [Anexo 1].; obteniendo así los siguientes resultados:

- Agregado Fino:

Para el proceso de tamizado de agregado fino se usaron 295.81 g de arena Argos.



Tabla 7. Granulometría Agregado Fino.

Tamices		Peso Retenido (g)	% Retenido	Retenido Acumulado	% Pasa
pulgada	mm				
#4	4,76	12,04	4,1%	4,1%	95,92%
#8	2,38	30,68	10,4%	14,5%	85,52%
#16	1,19	41,07	13,9%	28,4%	71,59%
#30	0,595	97,77	33,1%	61,6%	38,45%
#50	0,297	86,16	29,2%	90,8%	9,24%
#100	0,149	23,72	8,0%	98,8%	1,19%
#200	0,074	3,44	1,2%	100,0%	0,03%
pasa #200		0,08	0,0%	100,0%	0,00%
<b>Total</b>	<b>Wt =</b>	<b>294,96</b>			

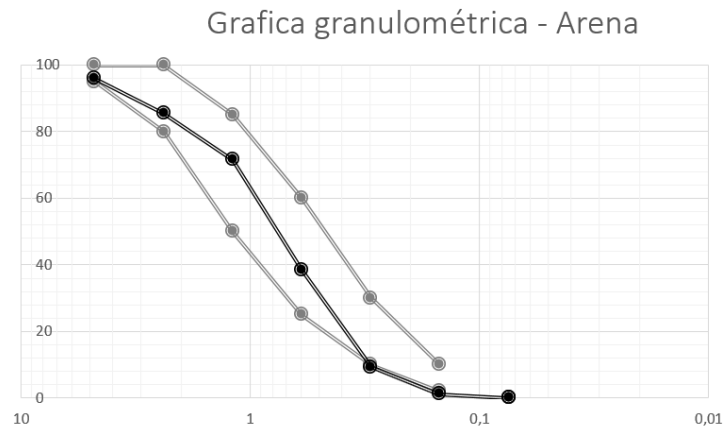
Fuente: Propia.

Tabla 8. Resultados Granulometría de Finos.

<b>T.M</b>	#4
<b>T.N</b>	#8
<b>M.F</b>	2,95

Fuente: Propia

Gráfica 2. Granulometría Agregado Fino.



Fuente: Propia



De acuerdo a la norma, no se debe perder más del 1% de la muestra inicial, para dar validez al ensayo, por lo tanto, se realiza la siguiente verificación:

$$295.81 \text{ g} \rightarrow 100\%$$

$$294.96 \text{ g} \rightarrow x$$

$$x = 99.713\%$$

$$\text{Verificación} = 100\% - 99.713\% = 0.3\% < 1\% \text{ "Cumple"}$$

Fotografía 3. Tamizado de finos.



Fuente: Propia

- Agregado Grueso:

Para el proceso de tamizado de agregado grueso se usaron 1016.05 g de Gravilla mona #3. [Anexo 1].

Tabla 9. Granulometría Agregado Grueso.

Tamices		Peso Retenido (g)	% Retenido	Retenido Acumulado	% Pasa
pulgada	mm				
1 1/2 "	38,1	0	0,0%	0,0%	100%
1 "	25,4	0	0,0%	0,0%	100%
3/4 "	19	0	0,0%	0,0%	100%
1/2 "	12,7	0	0,0%	0,0%	100%
3/8 "	9,51	14,8	1,5%	1,5%	98,54%
#4	4,76	903,94	89,0%	90,4%	9,56%
Fondo		97,1	9,6%	100,0%	0%
<b>Total</b>	<b>Wt =</b>	<b>1015,84</b>			

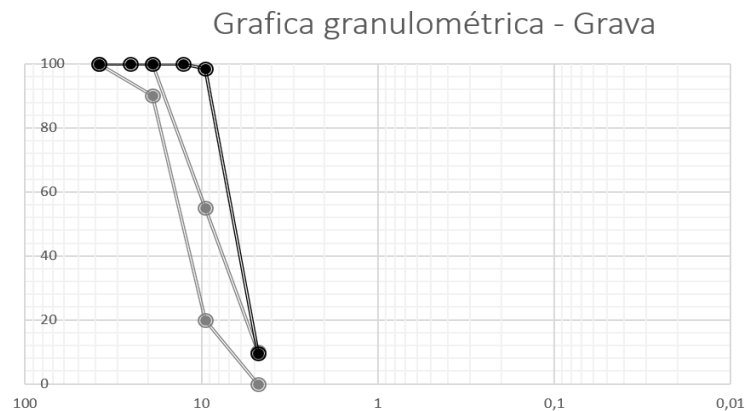
Fuente: Propia

Tabla 10. Resultados Granulometría de Guesos.

<b>T.M</b>	3/8"
<b>% Grava</b>	90,4
<b>% Arena</b>	9,6
	100

Fuente: Propia

Gráfica 3. Granulometría Agregado Grueso.




Fuente: Propia

De acuerdo a la norma, no se debe perder más del 1% de la muestra inicial, para dar validez al ensayo, por lo tanto, se realiza la siguiente verificación:

$$1016.05 \text{ g} \rightarrow 100\%$$

$$1015.84 \text{ g} \rightarrow x$$

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

$$x = 99.979\%$$

$$\text{Verificación} = 100\% - 99.979\% = 0.02\% < 1\% \text{ "Cumple"}$$

Fotografía 4. Tamizado de gruesos.



Fuente: Propia

## Humedad Natural

Se realizó el ensayo de acuerdo a la norma NTC 1776, inicialmente se hizo cuarteo para mezclar el material, luego se tomaron dos partes del mismo y de estas se sacó la cantidad de material necesaria para realizar el ensayo de acuerdo a la norma. Luego, este material se llevó al horno por 24 horas y posteriormente se tomó el peso seco de la muestra.; Para el cálculo de la humedad natural se usó la fórmula descrita en la norma [32], presentada a continuación:

$$W = \left( \frac{\text{Masa Inicial} - \text{Masa Seca}}{\text{Masa Seca}} \right) \times 100$$



- Agregado Fino:

Para el agregado fino se tomó una muestra de acuerdo a la norma de 563.1 g de arena, a continuación, se presenta el cálculo de la humedad natural. [Anexo 1].

Tabla 11. Humedad Natural Agregado Fino.

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Masa Inicial	g	563,1
Masa Seca	g	555,0
Humedad Natural	%	1,45

Fuente: Propia

Fotografía 5. Humedad natural de finos.



Fuente: Propia

- Agregado Grueso:

Para el agregado grueso se tomó una muestra de acuerdo a la norma de 521.75 g de gravilla, a continuación, se presenta el cálculo de la humedad natural. [Anexo 1].

Tabla 12. Humedad Natural Agregado Grueso.

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Masa Inicial	g	521,75
Masa Seca	g	519,8
Humedad Natural	%	0,38

Fuente: Propia.

Fotografía 6. Humedad natural gruesos.




Fuente: Propia.

## Densidad

- Agregado Fino:

El ensayo para determinar la densidad de los finos se hizo por medio de la norma NTC 237, inicialmente se pasó el material por el tamiz # 4 con el fin de seleccionar únicamente arenas para desarrollar el ensayo, luego de esto, se tomó una determinada cantidad de muestra la cual fue llevada al horno durante 24 horas a una temperatura constante de  $110 (\pm) 5^{\circ} \text{C}$ , luego se retiró la muestra y se sumergió en agua durante 24 horas, posteriormente se tomó el material y se extendió de manera uniforme y se expuso a una corriente tibia de aire con el fin de obtener la

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

condición “SSS”; para comprobar que el material estuviera en estado “SSS” se realizó el ensayo de cono para la humedad superficial. Una vez se logró la condición “SSS” se tomó una determinada masa del material, la cual fue introducida en un picnómetro con una determinada cantidad de agua, finalmente, se le sacaron las burbujas y se determinó la masa total del picnómetro con la muestra y el agua [33] [Anexo 1]., para los cálculos del ensayo se tomaron las siguientes formulas:

$$D_{s \text{ Aparente}} = 0.9975 \times \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$D_{s \text{ Aparente (sss)}} = 0.9975 \times \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$D_{s \text{ (Nominal)}} = 0.9975 \times \frac{A}{(B + A - C)}$$

Donde.

D = Densidad aparente, g/cm<sup>3</sup>.

A = Masa en el aire de la muestra secada al horno, g.

B = Masa del picnómetro lleno con agua, g.

S = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, g.

C = Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g.

A continuación, se presentan los resultados:

Tabla 13. Datos Densidad Finos.

DATOS	UNIDADES	CANTIDAD
A	g	517.17
B	g	650.6
S	g	500.02
C	g	970.82

Fuente: Propia.

Tabla 14. Resultados Densidad.

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Ds Aparente	g/cm <sup>3</sup>	2.87
Ds Aparente (sss)	g/cm <sup>3</sup>	2.77
Ds Nominal	g/cm <sup>3</sup>	2.62

Fuente: Propia.

Fotografía 7. Densidad de finos.




Fuente: Propia.

- Agregado Grueso:

Para el ensayo de densidad del agregado grueso se usó la norma NTC 176. Inicialmente se debe tamizar el material para rechazar en la muestra todo el material que pasara por el tamiz N°4. Luego se pesó la muestra que se iba a usar para el ensayo y se sumergió en agua. Después del material estar sumergido se le retiro el agua y se llevó a un trapo y se empezó a secar la muestra con este mismo. Este proceso se hace con el fin de llevar la muestra a estado superficialmente seco. Cuando el material quedo sin brillo se pesó. El paso a seguir fue sumergir el material en agua a 23.5 °C y pesar el material en esta condición. Por último, se sacó el



 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

material y se llevó al horno para tomar la última masa de la muestra seca [Anexo 1]. Para los cálculos del ensayo se tomaron las siguientes formulas [34]:

$$Ds_{Bulk} = \frac{0.9975 \times A}{B - C}$$

$$Ds_{aparente} (sss) = \frac{0.9975 \times B}{B - C}$$

$$Ds_{nominal} = \frac{0.9975 \times A}{A - C}$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g)

B: Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g)

C: Masa en el agua de la muestra de ensayo (g)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 15. Datos densidad de Gruesos

DATOS	UNIDADES	CANTIDAD
Muestra	g	2000.06
A	g	1988.46
B	g	2061
C	g	1204

Fuente: Propia.

Tabla 16. Resultados Densidad de Gruesos.

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Ds Bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.31
Ds Aparente (sss)	g/cm <sup>3</sup>	2.40
Ds Nominal	g/cm <sup>3</sup>	2.53

Fuente: Propia.



Fotografía 8. Densidad de gruesos.



Fuente: Propia.


### Masa Unitaria (Suelta y Compacta):

El ensayo para determinar las masas unitarias tanto sueltas como compactas se realizó con base en la norma NTC 92, ambos métodos se realizaron dos veces con el fin de obtener un promedio entre los resultados y disminuir el sesgo experimental, el procedimiento para obtener los resultados para la masa suelta fue por paleo y el procedimiento para obtener los resultados para la masa compacta fue por apisonamiento [Anexo 1]. Para calcular la masa unitaria tanto suelta como compacta se usa la siguiente ecuación [35].

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

- M: Masa unitaria del agregado (kg/m<sup>3</sup>)
- G: masa del agregado más el molde (kg)
- T: Masa del molde (kg)
- V: Volumen del molde (m<sup>3</sup>)

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

- Agregado Fino:

En primer lugar, se realizó medición del molde a usar para el agregado fino para el cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 17. Dimensiones Molde.

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Diámetro	m	0,14964
	m	0,14827
	m	0,14942
Promedio Diámetro	m	0,14911
Altura	m	0,14914
	m	0,14841
	m	0,14958
Promedio Altura	m	0,14904

Fuente: Propia.

Posteriormente, se realizó el cálculo para la masa unitaria suelta y compacta usando la ecuación descrita anteriormente, a continuación, los resultados:

Tabla 18. Masa unitaria suelta (Finos).

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Masa agregado más molde (G)	kg	6,064
	kg	6,044
Promedio G	kg	6,054
Masa molde (T)	kg	1,608
Volumen molde (V)	m <sup>3</sup>	0,00260
Masa unitaria suelta	kg/m <sup>3</sup>	1708,26

Fuente: Propia.


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Tabla 19. Masa unitaria compacta (Finos).

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Masa agregado más molde (G)	kg	6,326
	kg	6,244
Promedio G	kg	6,285
Masa molde (T)	kg	1,608
Volumen molde (V)	m <sup>3</sup>	0,00260
Masa unitaria compacta	kg/m <sup>3</sup>	1797,01

Fuente: Propia.

- Agregado Grueso:

En primer lugar, se realizó medición del molde a usar para el agregado grueso para el cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 20. Dimensiones Molde.

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Diámetro	m	0,22486
	m	0,22089
	m	0,21975
Promedio Diámetro	m	0,22183
Altura	m	0,20662
	m	0,2075
	m	0,2078
Promedio Altura	m	0,20731

Fuente: Propia.

Posteriormente, se realizó el cálculo para la masa unitaria suelta y compacta usando la ecuación descrita anteriormente, a continuación, los resultados:


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Tabla 21. Masa unitaria suelta (Gruesos).

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Masa agregado más molde (G)	kg	17,78
	kg	17,76
Promedio G	kg	17,77
Masa molde (T)	kg	4,994
Volumen molde (V)	m <sup>3</sup>	0,00801
Masa unitaria suelta	kg/m <sup>3</sup>	1594,55

Fuente: Propia.

Tabla 22. Masa unitaria compacta (Gruesos).

PROPIEDAD	UNIDADES	CANTIDAD
Masa agregado más molde (G)	kg	18,3
	kg	18,25
Promedio G	kg	18,275
Masa molde (T)	kg	4,994
Volumen molde (V)	m <sup>3</sup>	0,00801
Masa unitaria compacta	kg/m <sup>3</sup>	1657,58

Fuente: Propia.

Fotografía 9. Masas unitarias.



Fuente: Propia.



## 1.7. ACERO

### Ensayo a tracción:

El ensayo a tracción fue realizado de acuerdo a lo establecido por la norma NTC 2 [36], en el cual especifica que inicialmente se deben tomar las respectivas mediciones para caracterizar la probeta de ensayo, como lo son el diámetro y longitud útil de falla inicial, para el caso del ensayo realizado los agarres de la varilla corresponden a 5 cm, una vez obtenidos estos valores, se procede al montaje del ensayo en la MTS (maquina universal de ensayos).

Los valores de caracterización para la probeta, son los siguientes:

Tabla 23. Caracterización probeta tracción.

Longitud inicial (mm)	400
Área T (mm <sup>2</sup> )	71

Fuente: propia.

Fotografía 10. Ensayo a tracción del acero.



Fuente: Propia.



Una vez realizado el montaje, se da inicio al ensayo hasta el punto en el que la probeta falla debido a tracción y se procede a los respectivos análisis. A continuación, se presentan los resultados y la gráfica obtenida en el ensayo:

Tabla 24. Cambio de longitud tracción.

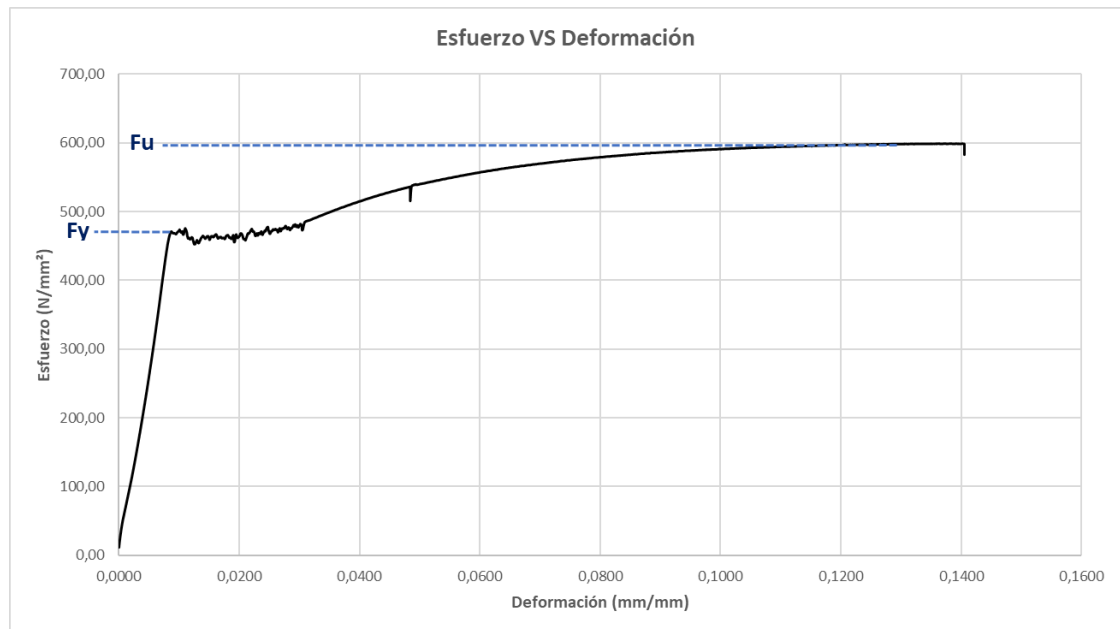
Longitud inicial (mm)	400
Longitud final (mm)	456,2
$\Delta$ Longitud (mm)	56,2
Área T (mm <sup>2</sup> )	71

Fuente: Propia.


Se puede observar de acuerdo a la tabla anterior, que la elongación de la varilla fue igual a 56.2 mm luego de la falla a tracción.

A continuación, se presenta la gráfica de esfuerzo vs deformación obtenida de la MTS (maquina universal):

Gráfica 4. Esfuerzo vs Deformación (Tracción)



Fuente: Propia.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

De acuerdo a la gráfica obtenida para el ensayo a tracción del acero estructural, se obtuvieron los siguientes valores para  $F_y$  y  $F_u$  respectivamente:

Donde:

$F_y$  = Resistencia a la fluencia, MPa.

$F_u$  = Resistencia ultima, MPa.

*Tabla 25. Resultados flexión acero.*

RESULTADOS	
$F_y$ (MPa)	$F_u$ (MPa)
468,15	599,64

*Fuente: Propia.*





### 3. FABRICACIÓN DE MUESTRAS

#### 3.1 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Debido a que como se especifica en el numeral “2.6” del presente documento, no cumplieron las especificaciones de las gráficas granulométricas, se procede a realizar el respectivo diseño de mezcla mediante el método de la (RNL) con el fin de hacer una optimización granulométrica. Para el respectivo diseño de mezcla se tienen los siguientes datos:

Tabla 26. Datos Granulometría (diseño de mezcla)


Tamices		% Pasa	
pulgada	mm	Gruesos	Finos
1 1/2 "	38,1	100	-
1 "	25,4	100	-
3/4 "	19	100	-
1/2 "	12,7	100	-
3/8 "	9,51	98,54	-
#4	4,76	9,56	95,92
#8	2,38	-	85,52
#16	1,19	-	71,59
#30	0,595	-	38,45
#50	0,297	-	9,24
#100	0,149	-	1,19
#200	0,074	-	0,03

Fuente: Propia.

Tabla 27. Datos de los materiales (diseño de mezcla)

	Gruesos	Finos	Cemento
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2310	2870	-
Masa Unitaria Compacta (kg/m <sup>3</sup> )	1594,55	1708,26	-
Masa Unitaria Suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1657,58	1797,01	-
Forma	Angular	-	-
Humedad	0,38	1,45	-
Absorción (%)	3,65	1	-
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	2800

Fuente: Propia.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Para el desarrollo del diseño de mezcla se tendrán en cuenta las tablas especificadas para el diseño de mezcla mediante el método de la (RNL) encontradas en el libro guía por parte del ingeniero Diego Sánchez [1]. A continuación, se presenta la solución al diseño de mezcla:

1. De acuerdo a la tabla 11.1 del libro guía, se selecciona el valor de asentamiento.

$$\text{Asentamiento} = 5 \text{ cm}$$

2. Posteriormente se calcula el valor de la resistencia a la compresión.

$$f'_c = 210 + 83 = 293 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

3. Determinar T.M.N agregado grueso.

$$T.M.N = 3/8" = 9.51 \text{ mm} \rightarrow 1.46\% \text{ retenido}$$

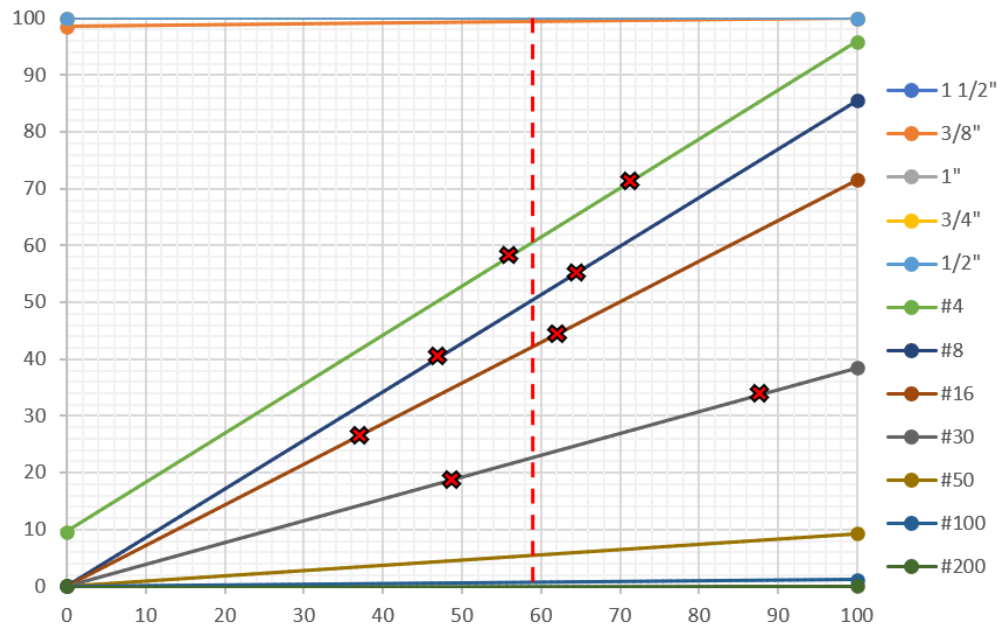
De acuerdo a la tabla 11.7 del libro guía se escoge la granulometría No. 7 para agregado grueso.

4. Estimación del contenido de aire de acuerdo a la tabla 11.3 del libro guía.

$$\text{Cont aire} = 6.0\% - 3.0\% = 3.0\%$$

5. Determinación de la cantidad de arena y grava.

Gráfica 5. Método RNL



Fuente: Propia.

La gráfica anterior indica que para arena corresponde un 59% y para grava 41%, se calcula el P.E. promedio.

$$P.E. promedio = 0.59 \times 2870 + 0.41 \times 2310 = 2640.4 \frac{kg}{m^3}$$


#### 6. Determinación cantidad de agua.

De acuerdo a la figura 11.2 del libro guía, la cantidad de agua por m<sup>3</sup> es:

$$212.5 \frac{kg}{m^3 de concreto} = 212.5 \frac{Litros}{m^3 de concreto} = 0.2125 \frac{m^3}{m^3 de concreto}$$

Como tiene aire incluido, de acuerdo a la tabla 11.4.

$$Agua = 165 L$$

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## 7. Cálculo de la relación A/C

De acuerdo a la tabla 11.5 del libro guía.

Tabla 28. Relación A/C

Resistencia a la compresión a los 28 días	Relación A/C
280	0,42
293	x
315	0,38

Fuente: Propia.

Mediante interpolación se obtiene que la relación A/C es:

$$\frac{A}{C} = 0.40514$$

## 8. Cálculo del cemento

Partiendo de la fórmula de la relación A/C, se obtiene:

$$C = \frac{165 \frac{kg}{m^3 \text{ de concreto}}}{0.40514} = 407.27 \text{ kg}$$

## 9. Cálculo de volúmenes

- Cemento:

Se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V = \frac{407.27 \text{ kg}}{3100 \frac{kg}{m^3}} = 0.131 \frac{m^3}{m^3 \text{ de concreto}}$$

- Agua:



Se determina el volumen de agua por  $m^3$  de concreto teniendo en cuenta el 6% de aire.

$$Agua = 0.165 m^3 + 0.06 m^3 = 0.356 m^3$$

- Arena + Grava:

Se calcula la cantidad de arena + grava de la siguiente manera:

$$Arena + Grava = 1 - 0.356 = 0.644 m^3$$

Teniendo en cuenta el P.E. promedio =  $2640.4 \text{ kg/m}^3$

$$\gamma = 2640.4 \frac{kg}{m^3} \times 0.644 m^3 = 1700.42 \frac{m^3}{m^3 \text{ de concreto}}$$

- Proporciones en peso:

$$Cemento = 407.24 \frac{kg}{m^3}$$

$$Arena = 1700.42 \frac{kg}{m^3} \times 0.59 = 1003.25 \frac{kg}{m^3}$$

$$Grava = 1700.42 \frac{kg}{m^3} \times 0.41 = 697.17 \frac{kg}{m^3}$$

- Determinación final de agua:

$$Arena = 1003.25 \frac{kg}{m^3} \times (0.0368 - 0.0038) = 33.11 \frac{kg}{m^3}$$

$$Grava = 697.17 \frac{kg}{m^3} \times (0.145 - 0.1) = 31.37 \frac{kg}{m^3}$$

$$Agua = 165 L - 33.11 L - 31.37 = 100.52 L$$

## 10. Diseño de mezcla por m<sup>3</sup> de concreto

Tabla 29. Diseño de mezcla

Diseño de mezcla	
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	407,24
Arena (kg/m <sup>3</sup> )	1003,25
Grava (kg/m <sup>3</sup> )	697,17
Agua (L/m <sup>3</sup> )	100,52

Fuente: Propia.

## 11. Proporciones del diseño

$$Cemento = \frac{407.24}{407.24} = 1$$

$$Arena = \frac{1003.25}{407.24} = 2.5$$

$$Grava = \frac{697.17}{407.24} = 1.71$$

$$Agua = \frac{100.52}{8.15} = 12.3$$

### 3.2 RECUBRIMIENTO DE ACERO

Inicialmente se estableció la dosificación para cada una de las cuatro mezclas que se van a realizar, esto con el fin de determinar unos diferentes grados de eficiencia y seleccionar la mejor proporción y eficacia para mitigar la corrosión al acero, dichas dosis se presentan a continuación.

- Sin recubrimiento
- 100 % cera
- 75 % cera 25 % colofonia
- 50 % cera 50 % colofonia


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Tabla 30. Mezclas colofonia y cera.

MEZCLA	PORCENTAJE		DOSIFICACIÓN
	Cera	Colofonia	
1	0	0	0
2	100	0	(1 g) cera (0 g) colofonia
3	75	25	(3 g) cera (1 g) colofonia
4	50	50	(1 g) cera (1 g) colofonia

Fuente: Propia.

Una vez definida la dosis de cera y colofonia para cada mezcla, se llevó la cera y colofonia a un proceso de baño María con alta temperatura como se muestra a continuación. [Anexo 1].

Fotografía 11. Cera y colofonia en baño maría.



Fuente: Propia.

Luego de derretir la cera y la colofonia, se elaboran las diferentes mezclas de acuerdo a las proporciones especificadas en la “Tabla 20”, una vez obtenidas las mezclas se procedió a pintar las barras. Además de las barras usadas para las muestras de concreto (cilindros y viguetas), se pintaron ocho varillas más con el fin de llevarlas a una solución con alto contenido de cloruros y evidenciar visualmente



el proceso de corrosión, teniendo en cuenta las diferentes dosis. A continuación, se presentan las dimensiones de las varillas usadas para las proporciones.

Tabla 31. Dimensión varillas usadas.

MUESTRA	BARRA	LONGITUD (cm)
Cilindros	# 3	15
Viguetas	# 3	51
Varillas	# 3	10

Fuente: Propia.

Finalmente, se dejaron reposando las varillas durante 24 horas antes de iniciar los procesos investigativos, con el fin de que la mezcla quedara totalmente adherida a las varillas de acero estructural. [Anexo 9].

Fotografía 12. Varillas pintadas.



Fuente: Propia.

### 3.3 FABRICACION MUESTRAS

Para la elaboración de las muestras de concreto se tuvo en cuenta la norma NTC - 1377, en la cual especifican los factores y características a tener en cuenta para la elaboración y curado de las muestras. Se realizaron 18 cilindros y 11 viguetas; por cada mezcla del recubrimiento se hicieron 3 cilindros y 6 más sin refuerzo para medir la resistencia a compresión del concreto a los 7 y 37 días de curados.





En cuanto a las viguetas se elaboraron 2 muestras por cada mezcla de recubrimiento y 3 sin refuerzo. Las medidas de los moldes de los cilindros fueron de 7.5 cm de diámetro y 15 cm de altura, sin embargo 3 de los cilindros se hicieron con moldes diferentes los cuales tenían 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Por otro lado, las medidas de las formaletas para las viguetas fueron 5 cm de base, 55 cm de largo y 10 cm de alto. Para mayor facilidad de desencofrar es importante que los moldes antes de fundir el concreto sean engrasados internamente ya sea con aceite o en nuestro caso con ACPM.

*Fotografía 13. Moldes para muestras de concreto.*



*Fuente: Propia.*

Luego de tener lista la mezcla de concreto se prosigue a fundir las muestras, se empieza a colocar con una pala dentro de los moldes el concreto, este se debe dividir en 3 capas de una altura similar. En cada capa se debe apisonar 25 veces el concreto con una varilla, luego de apisonar uniformemente se golpea por la parte externa el molde con un chipotle con el fin de sacar las burbujas y reducir los vacíos que queden dentro el material. Luego de hacer las 3 capas se enraza el molde y se quitan los excesos de material. Por último, se dejan fraguando las muestras por 24 horas para poder desencofrar y finalmente llevar a curado. [Anexo 10].



Fotografía 14. Muestras de concreto fraguando.



Fuente: Propia.

Fotografía 15. Muestras fraguando.



Fuente: Propia.

### 3.4 CURADO DE MUESTRAS

Luego de desencofrar las muestras es necesario llevarlas a curar, con el fin de que las muestras se hidraten y mitigar una mayor presencia de poros. Las muestras del trabajo se llevaron a curar en tinas con agua a temperatura ambiente y se deben mantener ahí hasta los 28 días.



Fotografía 16. Curado de muestras.



Fuente: Propia.

Por otro lado, cabe aclarar que, con el fin de evidenciar el comportamiento y los cambios de las barras de acero con el recubrimiento, las viguetas se llevaron a curar en agua con sal para acelerar el proceso de corrosión de los elementos.

Fotografía 17. Curado de viguetas en agua con sal.



Fuente: Propia.

### 3.5. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO

El ensayo de asentamiento del concreto se realizó de acuerdo a la norma NTC 396 [37], inicialmente se debe humedecer el molde con agua, luego el cono se coloca sobre un molde en una superficie plana, el cual, se sujeta con los pies y se empieza a rellenar con la muestra. Se debe tener en cuenta que para el proceso de llenado



del cono, se debe hacer mediante tres capas aproximadamente iguales, a las cuales se les debe dar 25 golpes distribuidos uniformemente con una varilla de apisonamiento, con el fin de reducir la cantidad de vacíos, finalmente se enraza la muestra y se procede a levantar el molde a una velocidad constante y sin producir movimientos laterales, posteriormente, se mide la altura que conservo la muestra con respecto al cono de Abrams y la diferencia de alturas medidas es el valor de asentamiento.

En el ensayo se obtuvo una altura después de asentado el concreto de 11 cm, para lo cual se procede a calcular el asentamiento como se describe a continuación.

$$\text{Asentamiento} = 305 \text{ mm} - (\text{altura después de asentado el concreto})$$

$$\text{Asentamiento} = 305 \text{ mm} - 110 \text{ mm} = 195 \text{ mm}$$

Se obtiene un valor de 19.5 cm de asentamiento, para lo cual se puede concluir que la mezcla tiene una consistencia líquida.

Fotografía 18. Ensayo cono de Abrams.



Fuente: Propia.



## 4. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

### 4.1 ENSAYOS MECÁNICOS

#### 4.1.1 Resistencia a la compresión cilindros

El ensayo de la resistencia a la compresión se realizó mediante la norma NTC 673 [38], el ensayo se realizó a una edad de 7 y 28 días.

Inicialmente se tomaron las dimensiones de los cilindros, se debe tener en cuenta que los cilindros fallados a los 7 días no tienen las mismas dimensiones que los cilindros fallados a los 28 días; a continuación, se presentan dichas dimensiones.

Tabla 32. Dimensiones cilindros 7 días.

<b>CILINDROS 7 DÍAS</b>				
<b>CILINDRO 1</b>				<b>PROMEDIO</b>
Diámetro (mm)	101,45	101,85	102,01	<b>101,77</b>
Altura (mm)	203,25	203,46	203,46	<b>203,39</b>
Masa (g)	3610,4			<b>3610,4</b>
<b>CILINDRO 2</b>				<b>PROMEDIO</b>
Diámetro (mm)	101,86	102,16	99,76	<b>101,26</b>
Altura (mm)	203,34	203,81	203,25	<b>203,47</b>
Masa (g)	3684,2			<b>3684,2</b>
<b>CILINDRO 3</b>				<b>PROMEDIO</b>
Diámetro (mm)	100,52	97,94	100,8	<b>99,75</b>
Altura (mm)	204,8	205,56	204,75	<b>205,04</b>
Masa (g)	3655,8			<b>3655,8</b>

Fuente: Propia.

Tabla 33. Dimensiones cilindros 28 días.

<b>CILINDROS 28 DÍAS</b>				
<b>CILINDRO 1</b>				<b>PROMEDIO</b>
Diámetro (mm)	77,15	79,8	78,7	<b>78,55</b>
Altura (mm)	141,44	140,65	141,14	<b>141,07667</b>
Masa (g)	1501,1			<b>1501,1</b>
<b>CILINDRO 2</b>				<b>PROMEDIO</b>
Diámetro (mm)	77,77	80,31	78,24	<b>78,773333</b>
Altura (mm)	134,58	135,75	135,42	<b>135,25</b>
Masa (g)	1444			<b>1444</b>
<b>CILINDRO 3</b>				<b>PROMEDIO</b>
Diámetro (mm)	74,04	78,73	77,53	<b>76,77</b>
Altura (mm)	141,81	138,06	141,18	<b>140,35</b>
Masa (g)	1484			<b>1484</b>

Fuente: Propia.

Una vez obtenidas las dimensiones de las muestras se llevaron a la maquina universal (MTS) dispuesta en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, con el fin de someterlos al ensayo de compresión.

Fotografía 19. Ensayo a compresión de cilindros.



Fuente: Propia.



A continuación, se presentan los resultados obtenidos de carga máxima y resistencia a compresión de los cilindros, la ecuación usada para el cálculo de la resistencia a la compresión es la siguiente.

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Donde:

$f_m$  = Resistencia a la compresión, MPa

P = Cargar máxima total, N

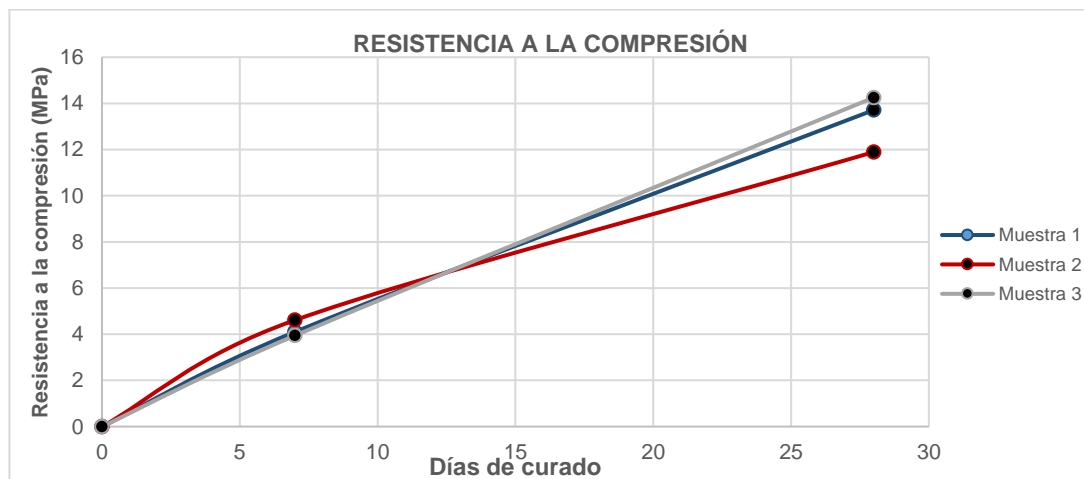
A = Área de la superficie cargada, mm

Tabla 34. Resultados compresión.

Muestra	7 días			28 días		
	Área	Carga Máxima	Resistencia a la Compresión	Área	Carga Máxima	Resistencia a la Compresión
	mm <sup>2</sup>	N	MPa	mm <sup>2</sup>	N	MPa
1	8134,47	33390	4,10	4845,99	66435	13,71
2	8053,15	37130	4,61	4873,58	57943	11,89
3	7815,28	30790	3,94	4628,45	65942	14,25

Fuente: Propia.

Gráfica 6. Curva de resistencia a la compresión.



Fuente: Propia.



#### 4.1.2. Resistencia a la flexión viguetas.

El ensayo para determinar la resistencia a la flexión de las viguetas, se realizó con base a la norma NTC 2871 [39], inicialmente se tomaron las dimensiones de las probetas y se determinaron los tercios en los cuales se apoyarían las viguetas durante el ensayo, una vez realizado este procedimiento, se llevaron las viguetas a la prensa hidráulica suministrada por los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia, el ensayo fue realizado a una carga del pistón de 50, además, cabe resaltar que los respectivos cálculos para este ensayo se realizaron con base a un promedio entre los resultados obtenidos para dos viguetas con el fin de obtener un resultado con menos sesgo [Anexo 1].; a continuación se presentan las dimensiones y resultados del ensayo a flexión de las viguetas.

Tabla 35. Dimensiones viguetas

Muestra	b (cm)			Prom (cm)	d (cm)			Prom (cm)	L (cm)
Sin barra	5,00	4,9	4,8	4,90	10,29	10,40	10,30	10,33	42
	4,88	4,74	4,73	4,78	9,80	9,35	9,38	9,51	42
Sin recubrimiento	5,12	5,00	4,87	5,00	10,47	10,47	10,49	10,48	42
	5,10	4,95	4,95	5,00	9,99	10,01	10,03	10,01	42
100%	4,92	5,00	5,01	4,98	10,02	10,08	9,84	9,98	42
	4,85	4,98	4,82	4,88	9,98	10,07	10,24	10,10	42
75/25	5,12	5,10	5,07	5,10	9,76	9,73	9,65	9,71	42
	5,00	4,94	4,96	4,97	10,12	10,49	10,35	10,32	42
50/50	5,05	5,07	5,07	5,06	10,26	10,07	10,18	10,17	42
	5,01	4,92	4,95	4,96	10,19	10,20	10,13	10,17	42

Fuente: Propia.

Fotografía 20. Ensayo a tracción de viguetas.



Fuente: Propia.




 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Tabla 36. Resultados flexión viguetas.

DATOS FLEXIÓN VIGUETAS	
<b>Sin barra</b>	
P (kN)	2,51
<b>Sin Recubrimiento</b>	
P (kN)	3,07
<b>1,00</b>	
P (kN)	3,23
<b>75/25</b>	
P (kN)	3,16
<b>50/50</b>	
P (kN)	3,29

Fuente: Propia.

Una vez realizado el ensayo de resistencia a flexión de las viguetas, se hicieron los respectivos cálculos con el fin de obtener los valores de resistencia a flexión para cada tipo de recubrimiento usado sobre el acero de refuerzo, teniendo en cuenta que la luz de libre de falla fue de 42 cm y que por lo tanto se ubicaron los apoyos a 6.5 cm para cada lado, a continuación, se presentan los resultados.

Para el cálculo del  $M_r$  y del esfuerzo a flexión, se usaron las siguientes ecuaciones:

$$M_r = \frac{(P \times L \times g)}{4} ; \sigma_{flexion} = \frac{M_r \times C}{I}$$

Donde:

- $M_r$  = Momento último, KN\*m
- $P$  = Carga máxima total, N
- $L$  = Longitud área de falla, m
- $g$  = Gravedad, m/s<sup>2</sup>
- $C$  = Eje centroidal, m
- $I$  = Inercia, m<sup>4</sup>

Tabla 37. Cálculos flexión viguetas.

Muestra	P (kN)	Mr (kN.m)	$\sigma_{flexion}$ (MPa)
Sin barra	2,51	2,58	1,58
Sin recubrimiento	3,07	3,16	1,93
100%	3,23	3,32	2,03
75/25	3,16	3,25	1,99
50/50	3,29	3,38	2,07

Fuente: Propia.

## 4.2 ENSAYO DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN (RPL)

El ensayo electroquímico para determinar la velocidad de corrosión mediante el (RPL) se realizó con base en la ASTM G59 “Standard Test Method For Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements” [40], método usado para medir en tiempo real los procesos corrosivos a los cuales se pueda ver sometido un elemento metálico y que además se destaca por ser un método el cual arroja valores rápidos y precisos. En la práctica se debe realizar el respectivo montaje, para el cual se utilizó el potencióstato Gamry referencia G-750 y un software Framework Versión 5.67, se monta un sistema de 3 electrodos sumergidos en agua potable con NaCl, donde, el electrodo de trabajo es la varilla de acero inoxidable número 3 (cable verde) embebida en la probeta de concreto de (75 x 150) mm, este arreglo experimental se realizó para cada uno de los tipos de recubrimiento que tenían las varillas de acero.

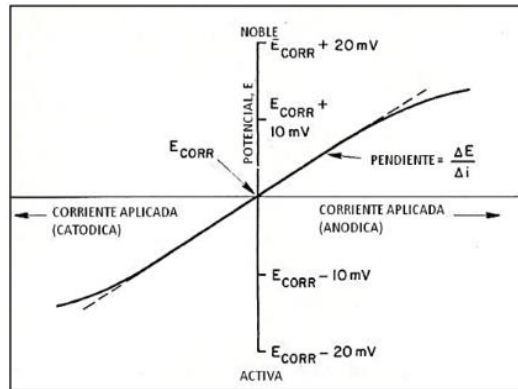
Fotografía 21. Arreglo experimental.



Fuente: Propia.

De acuerdo a la norma ASTM G59 [40], se establece el siguiente esquema de análisis para el método.

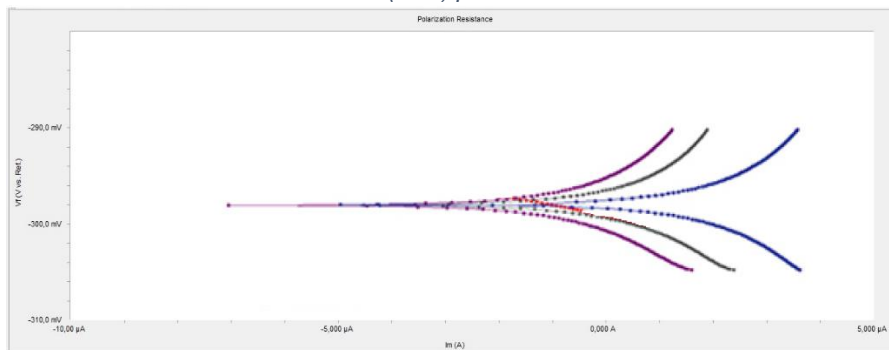
*Ilustración 2. Esquema de resistencia a la polarización lineal.*




*Fuente. Nace Corrosion Engineer's [41].*

Del esquema anterior, Stern se basó para la formulación de las ecuaciones usadas en el método y generar las curvas de Tafel. Una vez realizado el montaje, se procede a generar un ajuste de potencial en el potenciostato en un rango entre  $\pm 30$  mV y se aplica el potencial, con base en la norma [40], la corriente aplicada debe ser de 3 mA, finalmente se registra la curva de polarización lineal a una velocidad de 0.6 V/h y con una pendiente de 10  $\Omega$ , una vez definidos los parámetros para el ensayo, el software medirá el potencial eléctrico de salida y la corriente que transita por el sistema, para lo cual se obtiene la siguiente gráfica.

*Ilustración 3. Resultados obtenidos (RPL) por curvas de Tafel*



*Fuente: Propia.*

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Con los resultados obtenidos de la ilustración anterior, se obtuvieron los siguientes valores de resistencia a la polarización lineal (RPL), el valor del coeficiente (B) se puede tomar de acuerdo a la norma en un rango entre (25 – 52) mV para acero estructural, se asume como 25 mV.

Tabla 38. Valores RPL para cada muestra

Muestra	B (mV)	RPL ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )
Sin recubrimiento	25	2,907
100%	25	4,032
75/25	25	4,237
50/50	25	3,906

Fuente: Propia.

Obtenidos los valores de RPL, se procede a calcular la densidad de corriente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$i_{corr} = 10^6 * \frac{B}{R_p}$$

Donde:

$i_{corr}$  = Densidad de corriente corrosión  $\left(\frac{\mu\text{A}}{\text{cm}^2}\right)$


B = Coeficiente de Stern Greary (mV)

$R_p$  = Resistencia a la polarización lineal  $\left(\frac{\Omega}{\text{cm}^2}\right)$

Tabla 39. Resultados densidad de corriente

Muestra	B (mV)	RPL ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	$i_{corr}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
Sin recubrimiento	25	2,907	8,60
100%	25	4,032	6,20
75/25	25	4,237	5,90
50/50	25	3,906	6,40

Fuente: Propia.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2021 VERSIÓN 0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Finalmente, se procede a calcular la velocidad de corrosión con la siguiente ecuación.

$$V_{corr} = 0.129 * \frac{PE}{D} * i_{corr}$$

Donde:

$V_{corr}$  = Velocidad de corrosión (mpy)

$PE$  = Peso equivalente del espécimen corrosivo (g)

$D$  = Densidad del material corrosivo  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$

$i_{corr}$  = Densidad de corrosión  $\left(\frac{\mu A}{cm^2}\right)$

Tabla 40. Valores finales para RPL,  $i_{corr}$ ,  $V_{corr}$

Muestra	B (mV)	RPL ( $\Omega \cdot cm^2$ )	$i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	$V_{corr}$ (mpy)
Sin recubrimiento	25	2,907	8,6	1,109
100%	25	4,032	6,2	0,80
75/25	25	4,237	5,9	0,761
50/50	25	3,906	6,4	0,826

Fuente: Propia.

### 4.3 ENSAYO CUALITATIVO

Con el fin de complementar los resultados del presente proyecto, se tomó la decisión de realizar un ensayo cualitativo para el cual se tomaron 8 varillas con una longitud de 10 cm a las que se les aplicó el recubrimiento en las diferentes proporciones de mezcla, se tomaron dos varillas para cada mezcla, luego de pintar las varillas y dejarlas secar durante 24 horas, se sometieron a una solución de agua + sal al 10% de sal, con el fin de ver el proceso de corrosión de una manera visual.



Fotografía 22. Ensayo cualitativo de varillas.



Fuente: Propia.

Las muestras se sometieron a dicha solución durante aproximadamente 35 días, cabe resaltar que a los 10 días se cambiaron las varillas a un recipiente separado, esto con el fin de analizar de manera más específica el efecto que producía el fenómeno de corrosión sobre las mismas.

Al final del tiempo de ensayo las varillas presentaban el siguiente comportamiento:

Fotografía 23. Resultado ensayo cualitativo.



Fuente: Propia.



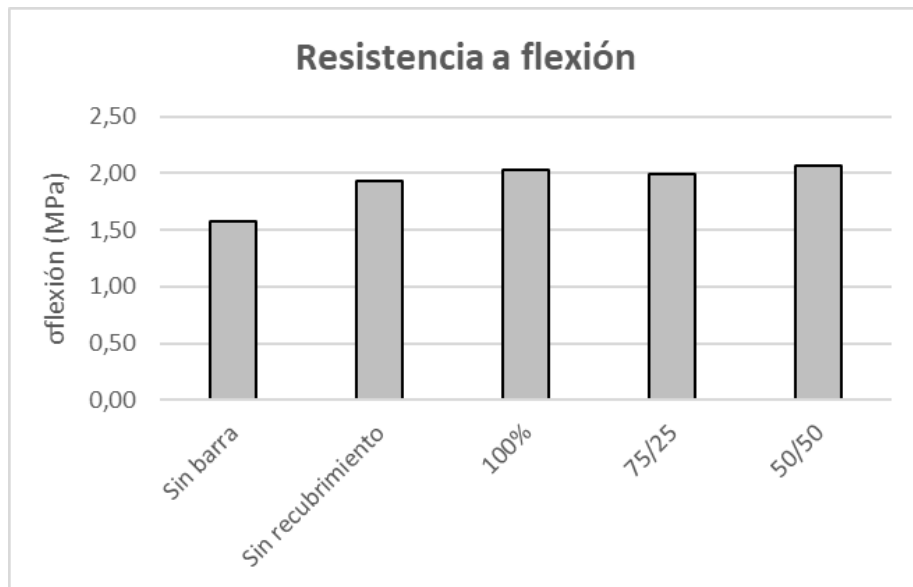
## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La implementación de un recubrimiento mitigador del proceso de la corrosión en el acero estructural es de vital importancia, ya que puede alargar la vida útil de las estructuras y reducir costos de mantenimiento y/o reparaciones, es por esto que en este documento se analiza la influencia de dicho recubrimiento sobre el acero de refuerzo.

### 5.1 RESULTADOS RESISTENCIA A LA FLEXIÓN VIGUETAS

Para el análisis de los resultados a la flexión en las viguetas se tendrá en cuenta la influencia que pueden tener los diferentes recubrimientos de cera de abejas y colofonia en una de las capacidades mecánicas del concreto reforzado como lo es la flexión. De acuerdo a los resultados obtenidos por el ensayo de resistencia a la flexión en las viguetas se obtuvo la siguiente gráfica.

Gráfica 7. Resistencia a flexión



Fuente: Propia.

Como era de esperarse la vigueta que no tenía acero de refuerzo denominada como “Sin barra” obtuvo el menor valor de resistencia a la flexión (1,58 MPa) en comparación a las demás viguetas que si contaban con acero de refuerzo con un



promedio de (2,01 MPa), con base a estos resultados obtenidos se puede afirmar que efectivamente el acero estructural aporta gran resistencia a la flexión en el concreto reforzado. Lo cual se puede explicar debido a que el concreto por sí mismo no posee las propiedades necesarias para resistir grandes esfuerzos a flexión.

Para el análisis entre las cuatro viguetas que si contaban con acero de refuerzo se destaca que la vigueta que tenía acero de refuerzo sin ningún tipo de recubrimiento arrojó un valor de resistencia un poco menor en comparación con las otras tres (1,93 MPa), esto debido a que esta varilla ya había iniciado el proceso de corrosión, la cual no contaba con ningún tipo de protección que ayudara a mitigar el ataque debido a cloruros y con esto se podrían afectar sus capacidades mecánicas.

*Fotografía 24. Varilla sin recubrimiento.*



*Fuente: Propia.*

Por el contrario, las otras tres varillas aun contaban con recubrimiento y las varillas no presentaban indicios de corrosión, por lo cual su resistencia fue un poco mayor (2,03; 1,99 y 2,07 MPa) respectivamente. Estos resultados se deben a que el recubrimiento ayuda a controlar y retardar el paso de agentes corrosivos al acero estructural.





Fotografía 25. Varillas viguetas con recubrimiento



Fuente: Propia.

Por lo tanto, se puede analizar que los recubrimientos con base en cera de abejas y/o colofonia no solo no afecta la capacidad mecánica del material, sino que también, previene la rápida afectación de la corrosión sobre el acero estructural. Con lo anterior se puede decir que el recubrimiento si impide y obstruye el paso directo del aire, agua y agentes corrosivos sobre el acero estructural.

## 5.2 RESULTADOS VELOCIDAD DE CORROSIÓN (RPL)

Para poder clasificar el nivel de corrosión con respecto a la densidad de la corriente se utilizará la siguiente tabla [42]:

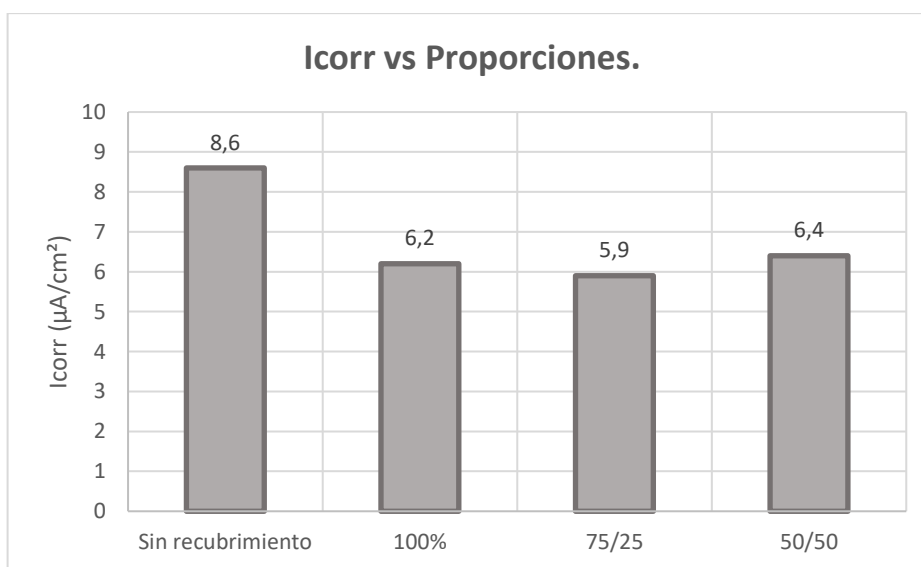
Ilustración 4. Nivel de corrosión de acuerdo a la densidad de corriente.

$I_{corr}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Tasa de corrosión ( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	Nivel de corrosión
< 0,1	< 1,16	Estado pasivo
0,1 a 0,5	1,16 a 5,80	Bajo a moderado estado de corrosión
0,5 a 1,0	5,80 a 11,60	Moderado a alto estado de corrosión
> 1,0	>11,60	Alta tasa de corrosión

Fuente: ALCONPAT, 2016.

A continuación, se muestra una gráfica con el fin de comparar la densidad de corriente para cada una de las proporciones usadas en las muestras.

Gráfica 8.  $I_{corr}$  vs Proporciones.



Fuente: Propia

De la gráfica anterior se puede evidenciar una gran variación de corriente de las muestras sin recubrimiento y las demás. Esto quiere decir que las barras con recubrimiento tuvieron una disminución del 25% de densidad de corriente con respecto a la barra sin recubrimiento. Sin embargo, al revisar los valores todos dan mayores a  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , esto significa según la ilustración 4 que las muestra tienen una

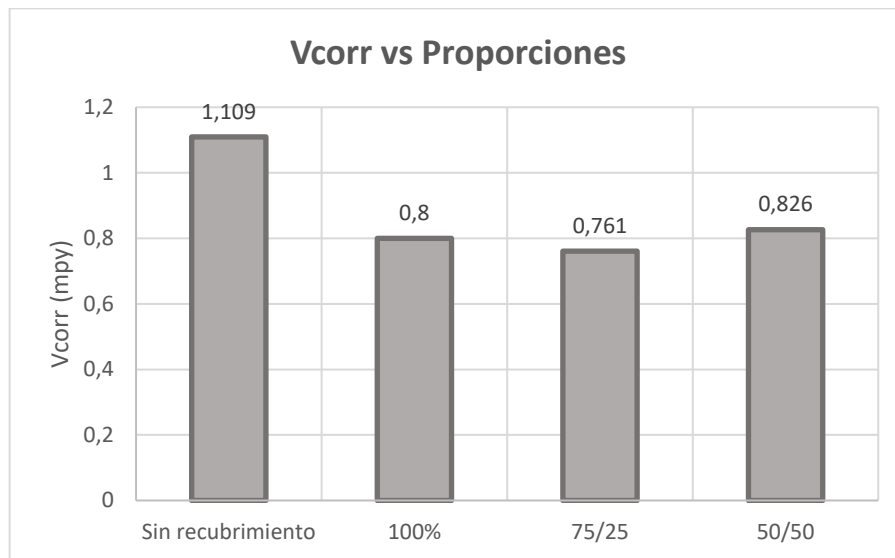
alta tasa de corrosión. De las 3 proporciones se puede ver que la más óptima es la de 75/25 cera y colofonia.

Tabla 41. Velocidad de corrosión.

Muestra	Vcorr (mpy)	mm/año
Sin recubrimiento	1.109	0.0282
100%	0.8	0.0203
75/25	0.761	0.0193
50/50	0.826	0.0210

Fuente: Propia

Gráfica 9. Vcorr vs proporciones.



Fuente: Propia.

En la gráfica 8 se evidencia una disminución notable de la velocidad de corrosión de las muestras con recubrimiento a comparación de las muestras convencionales, con esto se puede detallar que el recubrimiento si ayuda a mitigar la velocidad de corrosión en el acero, lo que indica que la barra tiene menos pérdida de peso en el medio corrosivo. Se puede evidenciar que el recubrimiento con base en cera de abejas y colofonia presenta gran efectividad como pintura anticorrosiva, esto debido



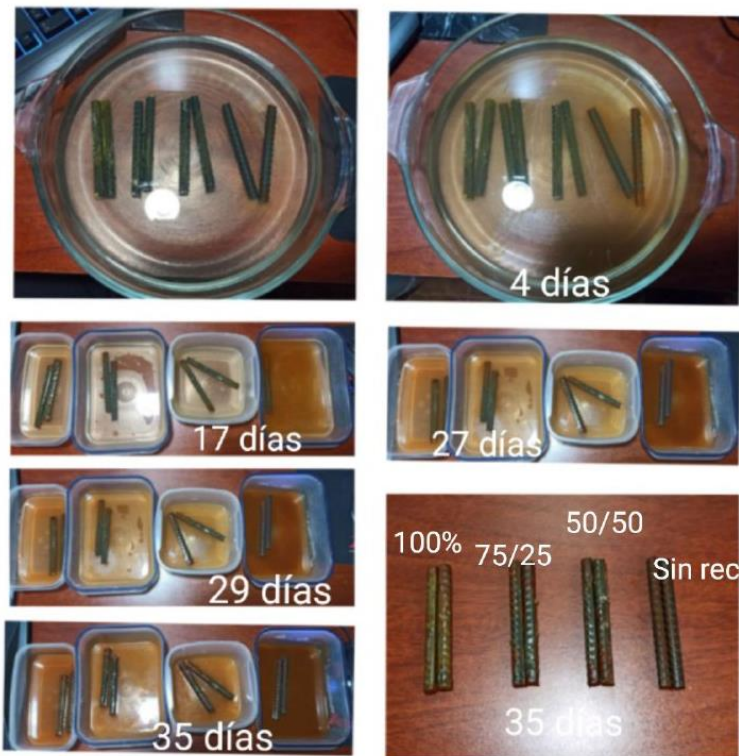
a que el recubrimiento actúa como un tipo de esmalte o resina, evitando el fácil acceso de cualquier agente dañino para el metal.

El recubrimiento más eficiente es el de 75/25 cera y colofonia con una velocidad de 0.761 mpy (0.0193mm/año) lo cual indica una disminución del 31% aproximadamente de velocidad de corrosión con respecto a una barra convencional lo que nos lleva a una mayor durabilidad del acero y así mismo de la estructura de concreto.


### 5.3 RESULTADOS ENSAYO CUALITATIVO

A continuación, se presenta un collage donde se evidencian los cambios que presentaron las muestras en el transcurso de 35 días al estar sumergidas en una solución agua/sal 10%.

Fotografía 26. Collage con cambios representativos en las varillas.




Fuente: Propia.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Con el ensayo se pudo evidenciar que, a las 24 horas de haber sumergido las muestras, las barras sin recubrimiento empezaron a tener rastros de corrosión, lo cual no sucedió con las muestras que tenían el recubrimiento. Como se puede ver en la fotografía anterior, al cuarto día del ensayo las varillas sin recubrimiento se encontraban corroídas en gran parte y se comienza a ver pequeños indicios de corrosión en las varillas con recubrimiento 50/50 cera y colofonia. A los 5 días aproximadamente se evidencio rastros de corrosión en todas las muestras. Con esto se demuestra que el recubrimiento si ayuda a prevenir la corrosión en el acero de refuerzo.


Según lo que se vio en las muestras los recubrimientos ayudaron a retardar 4 días el proceso de corrosión en las demás muestras de acero, lo cual es un gran resultado, ya que el ensayo se realizó con las varillas expuestas a un alto contenido de cloruros y sin estar en la estructura de concreto. Teniendo en cuenta esto el recubrimiento tendría un mejor resultado al estar entre la estructura de concreto ya que esta ayudaría a mitigar la entrada de cloruros y el recubrimiento podría retardar por más tiempo la corrosión.

Finalmente, en la fotografía se puede evidenciar el color de la sustancia de cada muestra al pasar de los días. Desde el día 17 hasta el día 35 se ve notablemente la diferencia de apariencia del agua de las varillas sin recubrimiento a las demás. De las otra 3 muestra lo que se puede notar con respecto a la intensidad del color del agua es que el recubrimiento que mitigo más la corrosión es la de 75/25 cera y colofonia, el agua de estas varillas es la más clara y al sacarlas fue la que tenía menos presencia se corrosión. Por tal razón de una manera cualitativa se puede decir que el recubrimiento que tiene mejor resultado es el 75/25 cera y colofonia.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

## 6. CONCLUSIONES


- De los resultados obtenidos durante el trabajo se puede demostrar que el recubrimiento de cera de abejas y colofonia es factible para emplear en infraestructura, ya que se pudo demostrar que el recubrimiento si ayuda a que los agentes corrosivos demoren más tiempo en llegar a la barra de acero y afectarla.
- En cuanto al ensayo a flexión se evidenció que el recubrimiento no afecta las propiedades de la barra de acero, además, se observó que todas las proporciones usadas como recubrimiento ayudaron a mitigar la corrosión en las varillas, el recubrimiento que obtuvo el mejor resultado fue el de 50/50 con un resultado de esfuerzo a la flexión de 3.29 KN en comparación a la varilla que no contaba con recubrimiento, la cual obtuvo un resultado de esfuerzo a la flexión de 2.51 KN, lo que quiere decir que este ayuda a conservar las características del acero por más tiempo brindando más durabilidad a las estructuras de concreto reforzado en un ambiente de alta exposición a cloruros.
- Mediante el método utilizado (RPL) para determinar la velocidad de corrosión se obtuvieron los resultados esperados, ya que, las muestras con las diferentes proporciones de recubrimiento presentaron una gran disminución en la velocidad de corrosión comparado con una varilla sin recubrimiento. Con este método de ensayo se pudo concluir que el recubrimiento más eficiente para mitigar el efecto debido a la corrosión en el acero fue el de 75/25, ya que este presenta una menor velocidad de corrosión la cual fue de 0.761 mpy con relación a los demás recubrimientos planteados y a la varilla sin recubrimiento la cual obtuvo un valor de 1.109 mpy para la velocidad de corrosión.
- Con base en los resultados obtenidos por los métodos cuantitativos, se pudo reforzar la investigación de manera cualitativa analizando el comportamiento en cuanto a la efectividad de los tipos de recubrimiento frente a un ataque directo de cloruros, se observó como la varilla que no contaba con ningún tipo de recubrimiento inicio el fenómeno de la corrosión a una velocidad mucho mayor que las varillas que si tenían recubrimiento, por último se evidencio que al final del ensayo la varilla menos afectada fue la del recubrimiento de 75/25 (cera y colofonia) respectivamente.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

- Finalmente, luego de realizar el proceso práctico y el proceso de recubrimiento con las diferentes mezclas a las varillas, consideramos que puede ser un método poco eficaz a la hora de implementarse en obra, ya que para la preparación de dichas mezclas se requiere una fuente de energía para derretir la cera y/o colofonia, además, de necesitar personal calificado debido al alto riesgo de quemaduras o inhalación de sustancias nocivas para el organismo.

## 6.1 RECOMENDACIONES

- Es recomendable seguir experimentando con más proporciones de cera/colofonia para poder obtener valores de velocidad de corrosión menores y de esta manera poder asegurar la protección de la estructura de una manera más eficiente ante el fenómeno de la corrosión.
- Se recomienda ampliar la investigación para determinar que espesor debería tener el recubrimiento en la varilla y que este sea más eficiente al momento de retrasar la entrada de cloruros.
- Las viguetas fueron expuestas a la solución de cloruro durante 34 días aproximadamente, este tiempo no fue suficiente para que las muestras con recubrimiento tuvieran corrosión, por esto se recomienda hacer el ensayo con más tiempo para poder ver con mayor precisión el comportamiento del recubrimiento cuando está dentro del concreto y como varía la resistencia de la vigueta.
- Es importante revisar el proceso y funcionamiento de los equipos empleados en los ensayos, esto con el fin de tener un menor sesgo de error y tener resultados óptimos.
- Se recomienda seguir indagando en cuanto a la implementación de materiales amigables con el medio ambiente utilizados en las obras civiles,

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------


ya que consideramos muy importante disminuir el impacto ambiental que generan dichas obras.

- Se propone la implementación de un proceso mucho más eficiente a la hora de aplicar el recubrimiento a las varillas de acero con el fin de facilitar el proceso constructivo.


## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Sanchez, Tecnología del concreto., Colombia: Tomo 1, p. 1., 2013.
- [2] ASEDUIS, Fenómeno de la corrosión, Bogotá, 2013.
- [3] S. Bogdanov, «Cera de abejas: historia, usos y comercio,» 2016.
- [4] S. Abdikheibari, R. Parvizi, M. Moayed, S. Zebarjad y S. Sajjadi, «Beeswax-Colophony Blend: A Novel Green Organic Coating for Protection of Steel Drinking Water Storage Tanks,» Universidad Ferdowsi, Irán, 2015.
- [5] K. Rajitha, K. Shetty, S. Ramesh, M. Bhaskar y A. Murthy, «An efficient and eco-friendly anti-corrosive system based on Beeswax- Graphene oxide nanocomposites on mild steel in saline medium,» ELSEVIER, 2019.
- [6] F. Fitriana y A. Anawati, «Mejora notable en la resistencia a la corrosión de la aleación AZ31 anodizada al sellar con resina de colofonia de cera de abejas.,» iopscience, 2019.




 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------


- [7] C. Chiavari, «Corrosión atmosférica del acero Cor-Ten con diferente acabado superficial: Acelerado envejecimiento y liberación de metales,» ELSEVIER, 2012.
- [8] M. Pérez, «La importancia del concreto como material de construcción,» Instituto tecnológico de Tepic, Tepic, Nayarit, 2013.
- [9] J. Villar, B. Gómez, J. Doménech, S. Gutiérrez, H. Gutiérrez y F. G. B. Martínez, «Huella ecológica del cemento,» Laboratorio de ingeniería sostenible, Coruña, 2010.
- [10] J. Porreo, Manual del concreto estructural, Caracas, 2014.
- [11] Geoseismic, «Propiedades del concreto,» 2017.
- [12] J. McCormac, «Diseño de concreto reforzado,» Ciudad de México, 2011.
- [13] Q. Casallas, «Conceptos básicos de la corrosión,» Universidad Libre., Bogotá.
- [14] M. Bermudez, «Corrosión de las armaduras del hormigon armado en ambiente marino,» Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, 2007.
- [15] E. Bergaño, «Recubrimiento necesarios en construcciones civiles con estructuras de acero para evitar la presencia de corrosión y mantenimientos estructurales,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2015.
- [16] W. López, P. Rodriguez, J. Avila y J. Genescá, «Tres métodos para evaluar una velocidad de corrosión,» Universidad Autonoma Metropolitana, Iztapalapa.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

- [17] C. Carnevali, «Procedimiento para la determinación de la Resistencia de Polarización Lineal,» 2018.
- [18] Q. Casallas, «La corrosión y el mantenimiento industrial,» Universidad Libre, Bogotá.
- [19] C. Giudice y A. Pereyra, «Protección anódica,» Universidad Tecnológica Nacional, La Plata.
- [20] Weebly, «Materiales aglutinantes».
- [21] S. Ortega, «¿Qué es la contaminación?,» Universidad Eafit , Medellín, 2015.
- [22] Real Academia Española, «Abrasión».
- [23] Instron, «Resistencia a la compresión».
- [24] L. Velez, «Permeabilidad y porosidad en concreto,» instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín.
- [25] Ciencia Acierta, «Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido.».
- [26] Toxement, «Prevención de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto».

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

- [27] G. Ollarver, «¿Qué es la corrosión y cómo evitarla=».
- [28] Norma Técnica Colombiana 221, «Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico,» 1999.
- [29] Norma Técnica Colombiana 110, «Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico,» 1991.
- [30] Norma Técnica Colombiana 118, «Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat,» 2004.
- [31] Norma Técnica Colombiana 77, «Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos,» 2007.
- [32] Norma Técnica Colombiana 1776, «Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados,» 1994.
- [33] Norma Técnica Colombiana 273, «Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino,» 1995.
- [34] Norma Técnica Colombiana 176, «Método para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.,» 1995.
- [35] Norma Técnica Colombiana 92, «Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados,» 1995.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA MEZCLA DE CERA DE ABEJAS Y COLOFONIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2021 VERSIÓN 0</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

[36] Norma Técnica Colombiana 2, «Ensayo de tracción para materiales metálicos».

[37] Norma Técnica Colombiana 396, «Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.,» 1992.

[38] Norma Técnica Colombiana 673, «Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto,» 1992.

[39] Norma Técnica Colombiana 2871, «Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión».

[40] ASTM G59, «Standard Test Method For Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements».

[41] Nace Corrosion Engineer's, «RPL,» Third Edition, 2002.

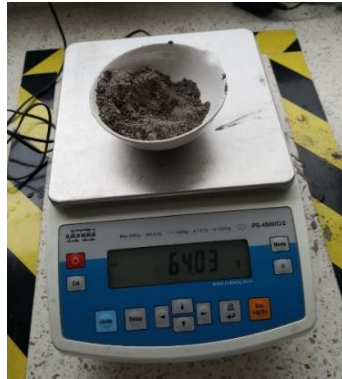
[42] S. Macioski. G, «Análisis de la corrosión de barras de acero en función de la variación del pH del medio.,» *ALCONPAT*, vol. 6, nº 3, 2016.



## ANEXOS

### ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO

- Consistencia del cemento





- Consistencia normal del cemento.



- Tiempos de fraguado.

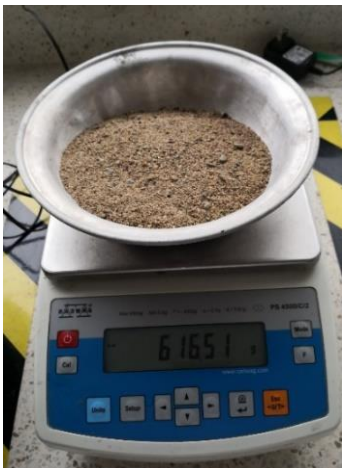


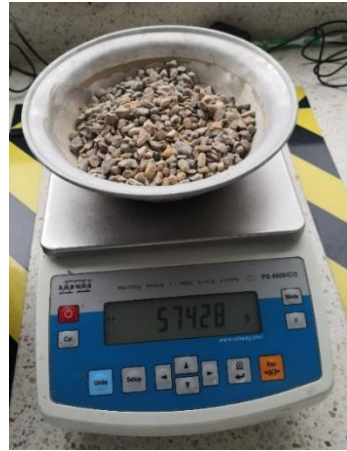


- Granulometría de Finos y Gruesos.



- Humedad natural de finos y Gruesos.

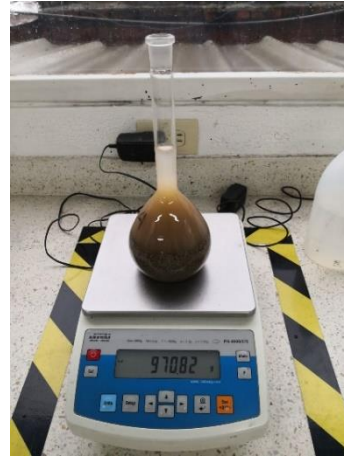
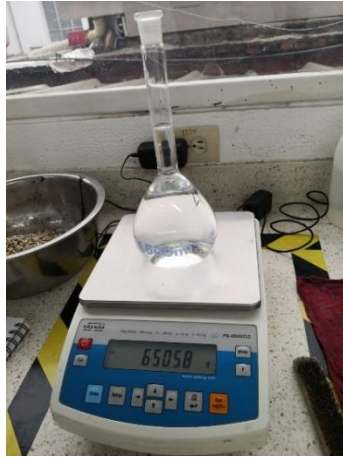




- Densidad agregado fino.







- Densidad agregado grueso.





- Masas unitarias suelta y compacta de finos y gruesos.





- Recubrimiento del acero.





- Fabricación de muestras.





- Resistencia a la flexión de viguetas.

