



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN
DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO

PRESENTADO POR:

DERLY VIVIANA LEÓN PULIDO CÓDIGO: 506289
DIANA PAOLA FERNÁNDEZ CANO CÓDIGO: 506052

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN
DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO


PRESENTADO POR:

DERLY VIVIANA LEÓN PULIDO CÓDIGO: 506289
DIANA PAOLA FERNÁNDEZ CANO CÓDIGO: 506052

DIRECTOR:

CAMILO HIGUERA FLÓREZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2020

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	-------------------------------------



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)
 Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:




Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------


NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTÁ D.C.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	-------------------------------------

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres
Yolanda y Carlos, por su apoyo,
amor, ayuda en los momentos difíciles,
consejos, comprensión y por brindarme
los recursos necesarios para estudiar.


A mis hermanas
por su apoyo en todo lo
necesario para cumplir mis
objetivos como persona y
como estudiante.

Derly Viviana León Pulido

Dedicado a mi hermano,
por su compañía,
apoyo incondicional
y motivación de salir adelante.

A mis padres Santiago y Ana,
por darme su amor, enseñarme a
ser perseverante con mis sueños,
brindarme su apoyo incondicional
a lo largo de mi proceso de formación.

Diana Paola Fernández Cano

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	--

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al ingeniero Camilo Higuera Flórez por su acompañamiento, apoyo constante en el desarrollo del presente trabajo, su disposición de enseñanza y disponibilidad de resolución de limitaciones surgidas durante el proceso del mismo. Las cuales fomentaron la elaboración de esta investigación. Resaltamos su apoyo incondicional en el especial por el tiempo en que nos encontramos, debido a la emergencia sanitaria.

También agradecemos al personal docente, administrativo y operativo de la Universidad Católica de Colombia, por brindar su apoyo, para cumplir con los propósitos del presente trabajo y así mismo aportar lo necesario, según su campo de acción para cumplir con el objetivo de ser un profesional integral y competitivo.

Por último, agradecemos a nuestras familias, por el amor, apoyo, confianza, dedicación, motivación, compañía y paciencia a lo largo de esta etapa de aprendizaje que muy pronto culminará.




 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

TABLA DE CONTENIDO


RESUMEN		15
INTRODUCCIÓN		16
1. GENERALIDADES		18
1.1	ANTECEDENTES	18
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.2.1	Descripción del problema	22
1.2.2	Formulación del problema	24
1.3	OBJETIVOS	24
1.3.1	Objetivo general	24
1.3.2	Objetivos específicos	24
1.4	JUSTIFICACIÓN	25
1.5	DELIMITACIÓN	26
1.5.1	Espacio	26
1.5.2	Tiempo	26
1.5.3	Contenido	26
2. MARCO REFERENCIAL		27
2.1	Marco teórico	27
2.1.1	Fibras en el concreto	27
2.1.2	Tereftalato de polietileno (PET)	28
2.1.3	Concreto	30
2.1.4	Corrosión en el concreto reforzado	32
2.2	Marco conceptual	39
2.3	Marco legal	41
2.4	ESTADO DEL ARTE	43
2.5	METODOLOGÍA	50
2.5.1	Primera Etapa Caracterización fibras PET	51
2.5.2	Segunda Etapa Caracterización de cementos y agregados	51

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

2.5.3	Tercera Etapa Elaboración de especímenes de concreto _____	51
2.5.4	Cuarta Etapa Realización de pruebas de laboratorio del concreto con fibras PET _____	52
2.5.5	Quinta Etapa Evaluación de la velocidad de corrosión del acero empleando la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal. _____	52
2.6	Análisis de Resultados _____	53
3.	MATERIALES Y MÉTODOS _____	54
3.1	Caracterización de cemento _____	54
3.1.1	Densidad del cemento hidráulico _____	55
3.1.2	Finura del cemento hidráulico _____	55
3.2	Caracterización de agregados pétreos _____	57
3.2.1	Granulometría _____	58
3.2.2	Densidad y la absorción del agregado grueso _____	60
3.2.3	Densidad y la absorción del agregado fino _____	61
3.2.4	Masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados _____	63
3.3	Caracterización de fibras PET _____	65
4.	DISEÑO DE MEZCLA Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS _____	67
4.1	Diseño de mezcla _____	67
4.2	Fabricación de muestras _____	71
4.3	Curado de especímenes _____	71
5.	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS _____	72
5.1	ENSAYOS MECÁNICOS _____	72
5.1.1	Asentamiento de cono de Slump _____	72
5.1.2	Compresión y módulo de elasticidad _____	73
5.1.3	Resultados resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para las muestras _____	74
5.1.4	Graficas de resistencia a la compresión y módulos de elasticidad para las muestras. _____	76
5.2	VELOCIDAD DE CORROSIÓN _____	78
5.2.1	Dimensiones y elaboración de probetas _____	78
5.2.2	Determinación de la resistencia polarización lineal _____	79
5.2.3	Medida de la resistencia a la polarización según la Norma ASTM G59. _____	80
5.2.4	Ensayo de resistencia a la polarización _____	81
5.2.5	Medida de la velocidad de corrosión _____	82
6.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS _____	84

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

6.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MODULO DE ELASTICIDAD _____	84
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE Velocidad de CORROSIÓN _____	88
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	91
7.1	CONCLUSIONES _____	91
7.2	RECOMENDACIONES _____	92
	BIBLIOGRAFÍA _____	94
	ANEXOS _____	100
	ANEXO A. Caracterización del cemento _____	100
	ANEXO B. Caracterización de agregados pétreos I _____	101
	ANEXO C. Caracterización de agregados pétreos II _____	103
	ANEXO D. Fabricación de muestras _____	104
	ANEXO E. Asentamiento del concreto _____	105

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Símbolo y estructura molecular PET	29
Figura 2. Composición del concreto.....	31
Figura 3. Elementos constituyentes de la celda de corrosión.	33
Figura 4.Reacción química de la carbonatación	35
Figura 5. Tablas de resultados de la investigación	44
Figura 6. Esquema de distribución de las fibras en el espécimen.	45
Figura 7.Proporciones de materiales.	47
Figura 8.Diseño de mezcla.	48
Figura 9.Proporciones para diseño de mezcla.....	49
Figura 10.Curva de Gradación.....	59
Figura 11. Características fibras PET	66
Figura 12. Relación Asentamiento vs Porcentaje de fibra	73
Figura 13. Relación Esfuerzo vs Adición fibras.....	76
Figura 14.Relación módulo de elasticidad y adición de fibra.	77
Figura 15.Esquema de la probeta fabricada.	78
Figura 16.Montaje para medir la resistencia del concreto.....	79
Figura 17.Montaje experimental resistencia a la polarización.....	82
Figura 18.Curvas de polarización desarrolladas a 28 días.	83



 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	---

Figura 19. Grafica comparativa general a 28 días.85

Figura 20. Grafica comparativa Modulo de elasticidad vs adición de fibras.....87

Figura 21. Icorr vs adición de fibras.89

Figura 22. Vcorr vs adición de fibras.....90

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados ensayo de finura.....	57
Tabla 2. Resultados análisis por tamizado	59
Tabla 3. Resultados densidad, NTC 176	61
Tabla 4. Resultados de densidad y absorción del agregado fino. NTC 237	63
Tabla 5. Masa unitaria compactada agregado grueso	64
Tabla 6. Masa unitaria compactada agregado fino	65
Tabla 7. Características muestras de fibras PET	66
Tabla 8. Requerimientos de agua de mezclado.....	67
Tabla 9. Relación de agua cemento según la resistencia.....	68
Tabla 10. Relación agua/cemento según durabilidad	68
Tabla 11. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	69
Tabla 12. Proporciones de materiales en el diseño de mezcla	70
Tabla 13. Resultados de asentamiento.....	72
Tabla 14 Resultados de compresión para muestras 7 días	75
Tabla 15 Resultados de compresión para muestras 28 días	75
Tabla 16. Resultados de módulo de elasticidad para muestras 28 días	76
Tabla 17 Resultados velocidad de corrosión.	83
Tabla 18. Resumen de resultados obtenidos.....	84



 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	---

Tabla 19. Normas de Control86

Tabla 20. Precisión del ensayo NTC 673.....86


Tabla 21. Resultados RPL a 28 días.....88

Tabla 22. Nivel de corrosión de acuerdo a la densidad de corriente.88

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	---

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Caracterización del cemento.....	100
ANEXO B. Caracterización de agregados pétreos I	101
ANEXO C. Caracterización de agregados pétreos II	103
ANEXO D. Fabricación de muestras.....	104
ANEXO E. Asentamiento del concreto.....	105

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	-------------------------------------


RESUMEN

El presente trabajo de investigación estudia el comportamiento de la velocidad de corrosión en los especímenes de concreto con diferentes adiciones de fibras PET, también analiza la influencia de las fibras en la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad para el diseño de mezcla propuesto.

Para ello, se desarrollan cinco etapas fundamentadas en ensayos de laboratorio de acuerdo a las normas establecidas para su ejecución. Se realiza la caracterización de fibras PET, cemento y agregados, luego se desarrolla el diseño y el proporcionamiento de la mezcla, posteriormente se elaboran los especímenes de concreto y se realizan ensayos de control del mismo para finalmente ejecutar el método de velocidad de corrosión del acero empleando la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal. Lo mencionado anteriormente permite establecer comparaciones entre muestras de cilindros de concreto normal y muestras con adición de fibra. También esta investigación permite evaluar dos propiedades del concreto fundamentales como lo son la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad relacionándolas con la cantidad de fibra adicionada a la mezcla, lo cual permite analizar y establecer diferentes relaciones e influencias que se evidenciarán en las propiedades del concreto.

En conclusión, la adición de fibras PET en la mezcla, permite establecer si las probetas con acero evidencian o no disminución en la corrosión, lo cual establecerá cantidades de aditivo que proporcionen respuestas óptimas a este fenómeno.

Palabras claves: velocidad de corrosión, resistencia de compresión, módulo de elasticidad, resistencia a la polarización lineal, espécimen de concreto.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	-------------------------------------

INTRODUCCIÓN


Colombia es reconocido en el sector de la construcción, específicamente en el mercado de materiales por tener una de las industrias más completas, según análisis de Invest Bogotá, para el consumo de estos productos, se estima un crecimiento de 5.54%, generando una proyección en cifras de ganancia. “Este estudio también reconoce ocho grupos de materiales más usados en las edificaciones colombianas; por volumen de uso, el cemento y el concreto son el primer material de mayor demanda con un 35% de la totalidad de materiales, seguido del insumo de hierro y acero, las pinturas y químicos para construcción, PVC y plásticos”¹.

También, logra suministrar hasta el 99% de los productos e insumos; innovadores, con calidad y servicio, que requiere cualquier proyecto. Por otra parte, somos atractivos para los compradores e inversionistas extranjeros, debido a la gran cantidad de recursos naturales y materiales como el cemento, cal, yeso, plástico y caucho, herramientas, productos metálicos, de cerámica, piedra y barro entre otros.

Para mejorar y potenciar las oportunidades en el sector, Colombia se capacita adoptando productos amigables con el medio ambiente, sostenibles y eficientes. Produciendo tejas a partir de tetra-pack, paredes hechas con botellas, ventanas que regulan el impacto térmico de los rayos del sol, cementos más resistentes y fibras como refuerzo de estructuras y acabados, entre otros.

Para el desarrollo del siguiente proyecto se utiliza el insumo de material PET, como refuerzo en el acero, estudiando la influencia que tiene el compuesto en la


¹Sector de la construcción en Colombia, análisis de estudio de Invest Bogotá. Disponible en <
<https://contratistas.co/noticias/los-materiales-mas-usados-en-construccion-colombia/>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	-------------------------------------

velocidad de corrosión. PET (tereftalato de polietileno) se clasificado como uno de los elementos reciclables de mayor uso, patentado como polímero para la fabricación de fibras, lo cual lo clasifica como una combinación inusual de propiedades, difícil de obtener con los metales, cerámicas y los polímeros convencionales. Las características que posee son procesables por soplado, inyección y extrusión, excelentes propiedades mecánicas, esterilizable por gamma y óxido de etileno, costo/beneficio, liviano, entre otras.

De acuerdo con lo anterior, se clasifica la siguiente propuesta como patología en estructuras de concreto en la línea de investigación de materiales, de tipo compuesto en el reforzamiento con fibras discontinuas o fibras cortas orientadas al azar, es decir de longitud sensiblemente inferior a la dimensión de la pieza a reforzar. La concentración y distribución influirán radicalmente en la resistencia y en otras propiedades del material compuesto. Esta investigación se desarrollará en la influencia a la corrosión, mediante el uso de fibras. Realizando diferentes etapas durante el proceso de análisis de investigación, determinando la acción que proporciona la relación fibra de PET con el acero.

Para la obtención de datos y determinación de conclusiones argumentadas bajo ciertos sistemas, que clasifique o discrimen la acción de estas fibras en el acero. Se ejecutará el ensayo de resistencia a la polarización lineal, en diferentes volúmenes adheridos a la varilla.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

1. GENERALIDADES


1.1 ANTECEDENTES

En Colombia se han realizado investigaciones respecto a la determinación de la velocidad de corrosión del acero, una de ellas es el estudio titulado “Estudio de la corrosión del acero embebido en concreto AAS sometido a cloruros”² presentado en la revista DYNA de la Universidad Nacional de Colombia, en donde se manifiesta una investigación de las propiedades que tiene una barra de acero embebida en una matriz cementicia de escoria activada alcalinamente cuando sufre corrosión, esta muestra se puso en dos medios, en electrolito con y sin contenido de cloro. Luego para identificar en cual medio hubo mayor corrosión se aplicó dos métodos al espécimen, el primero fue resistencia a la polarización lineal (LPR) y el segundo espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), de lo anterior se pudo establecer el comportamiento de capa pasiva del acero y electroquímico del metal cuando está inmerso en estos materiales cerámicos novedosos. (Torres, 2009)

Así mismo, ingenieros de la Universidad Tecnológica de Pereira, realizaron en el 2007 una investigación titulada “Desarrollo de la técnica de pulso galvanostático para medición de corrosión sobre la interfase concreto-acero”³ en la cual los autores elaboran “el diseño de un prototipo de sistema potencióstático utilizando instrumentación virtual, que implementa la técnica de pulso galvanostático. La técnica consiste en la impresión de un pulso de corriente eléctrica del orden de los

² TORRES GÓMEZ, Robinson, et al. Estudio de la corrosión del acero embebido en concreto AAS sometido a cloruros. En: DYNA. Junio, 2009, vol. 77, no. 164, p. 52-59, ISSN 0012-7353.


³ ÁLVAREZ, Miguel, et al. Desarrollo de la técnica de pulso galvanostático para medición de corrosión sobre la interfase concreto-acero. En: Scientia et Technica Año XIII. Septiembre, 2007, vol. 1, no. 36. ISSN 0122-1701

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

microamperios cuya duración es de 10 segundos, mostrando la respuesta en voltaje experimentada por la interfase, con lo que se obtiene información cuantitativa de su estado. Los resultados logrados por la técnica de pulso galvanostático con este prototipo, muestran valores que se confrontaron con los conseguidos mediante técnicas convencionales tales como: Resistencia a la Polarización Lineal (LPR), Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS) y curvas de polarización Tafel.”²

A nivel internacional se tienen estudios similares a estos, sin embargo, el enfoque que tiene estas investigaciones es más general, es decir se enfocan en la corrosión del concreto como fenómeno y en el comportamiento de las fibras de PET en el concreto. El Instituto Mexicano de Transporte realizó un estudio llamado “el fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado”⁴ en el 2001, este trabajo tuvo “el objetivo de establecer las bases que rigen el fenómeno de la corrosión, con la finalidad de apoyar a los profesionales involucrados en esta área de la ingeniería estructural comprender un poco más este complicado fenómeno. En esta investigación se describe el funcionamiento de la celda electroquímica como fundamento básico para la explicación del proceso de corrosión. Los fundamentos de termodinámica se abordan con la presentación de la serie galvánica, la serie electromotriz, la ecuación de Nernst y los diagramas de Pourbaix. La cinética electroquímica trata los mecanismos presentes en la corrosión metálica y su evolución en el tiempo. Se describe la importancia de los procesos de polarización por activación y por concentración, así como las técnicas empleadas para conocer la cinética de los procesos de corrosión. Por último, se enfatiza la importancia de la medición de parámetros termodinámicos y cinéticos en estructuras de concreto armado, puesto que son muy útiles para establecer diagnósticos acerca del proceso de corrosión en el acero de refuerzo y tomar medidas pertinentes para su protección y/o rehabilitación”³.


⁴ DEL VALLE MORENO, Angélica, et al. El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado [en línea]. Secretaria de comunicaciones y transporte, 2001, no. 182. ISSN 01887297. Disponible en <<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt182.pdf>>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Por otro lado, en la actualidad existen grandes cantidades de tereftalato de polietileno (PET) que no ha sido degradado lo cual constituye un grave problema ambiental por este motivo es necesario reutilizar este material. El profesor e investigador Renan Picolo Salvador (2012), de la Universidad de São Paulo, a través de su tesis “Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras”⁵ (Análisis comparativo de los métodos de prueba para la caracterización del comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra), determino que el uso de fibras para refuerzo de hormigón es una técnica bien conocida y estudiada en todo el mundo. Las más conocidas y estudiadas son las fibras de acero, aunque el uso de macrofibras de polímeros está muy extendido en el mercado brasileño. Sin embargo, la caracterización del comportamiento mecánico de los hormigones reforzados con estas macrofibras aún no se ha evaluado mejor. Los cuatro métodos que se emplearon para la caracterización del comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra son: ASTM C1609 (2010), ASTM C1399 (2010) y EN 14651 (2007) y el método JSE-SF4 (1984). Los cuatro procedimientos prescriben pruebas de flexión de muestras prismáticas para la determinación de la resistencia a la fisura residual y la tenacidad.

En dicho estudio, se analizó una macrofibra de polipropileno a las dosis de 0.22, 0.33, 0.50, 0.66, 0.82 y 1.0% en volumen en tres matrices de concreto, con resistencias a la compresión promedio de 30, 35 y 40MPa, y una fibra de acero, a dosis de 0.19, 0.32 y 0.45% en volumen en una matriz de resistencia a la compresión promedio de 35MPa. Se observó que el uso de la velocidad de desplazamiento de la muestra como parámetro de control de prueba proporcionó buenas condiciones de evaluación compuesta debido a la reducción de la inestabilidad post-pico. Por lo tanto, la determinación de la resistencia residual compuesta en los niveles iniciales de desplazamiento de la matriz y grietas se caracterizó mejor. Al analizar y comparar los resultados, se formularon ecuaciones

⁵ SALVADOR, Renan Pícolo. Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras [en línea]. São Paulo : Escola Politécnica, University of São Paulo, 2012. Master's Dissertation in Engenharia de Construção Civil e Urbana.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

para establecer correlaciones entre los diferentes métodos de prueba. Con el modelo de regresión utilizado en el análisis estadístico, fue posible verificar que la resistencia a la compresión de la matriz, el tipo y el contenido de fibra son las variables independientes que más influyen en los resultados de resistencia residual. Era necesario establecer correlaciones para cada tipo de fibra por separado.

De igual forma, el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto realizó un estudio de la “Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido”⁶ en el 2011. En esta investigación se estudia el efecto que tiene la incorporación de fibras cortas de polipropileno en las propiedades del concreto en estados fresco y endurecido. Debido a las ventajas mostradas por estudios anteriores que se han hecho y demuestran una mejora debida a la adición de fibras sintéticas en el concreto, se realizó esta investigación. Se hizo una descripción de los materiales componentes del concreto con fibras (cemento, agregados, fibra de polipropileno, aditivo, agua), luego se realizó el proceso de mezclar los materiales para después colocar, compactar y curar las mezclas.

“Las variables que se consideran son el tamaño máximo del agregado grueso, los finos en la arena y el contenido de fibras. Se fabricaron ocho mezclas de concreto las cuales se ensayaron en estado fresco y a las edades de 7 y 28 días. Al concreto en estado fresco se le determinó el revendimiento, el contenido de aire, la masa unitaria y el agrietamiento por contracción plástica; en estado endurecido, la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson, la resistencia a tensión, la tenacidad, la resistencia al impacto y la contracción por secado. El estudio establece las siguientes conclusiones: La presencia de las fibras en el concreto fresco modifica la consistencia de la mezcla y reduce el agrietamiento por contracción plástica; en estado endurecido, incrementa la

⁶ MENDOZA, Carlos Javier; AIRE, Carlos, y DÁVILA, Paula. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. *En*: Concreto y cemento: Investigación y desarrollo. Enero – Junio , 2011 , vol. 2, no. 2. p. 35-47. ISSN: 2007-3011

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

tenacidad y la resistencia al impacto y reduce la contracción por secado y el agrietamiento; las otras propiedades permanecen sin cambios significativos”⁵.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA


1.2.1 Descripción del problema

El concreto es uno de los materiales de construcción más usados debido a sus propiedades, fácil adquisición, precio asequible, larga duración (vida útil por encima de periodo diseñado) y el mínimo mantenimiento que se le debe hacer, no obstante, los factores como el medio ambiente, la mano de obra no calificada, la selección de materiales baratos y de baja calidad provocan que las estructuras lleguen a su estado limite y deban actuar las personas encargadas de los proyectos.

La corrosión en las estructuras de concreto es uno de los problemas más comunes y con mayor relevancia en el mundo, según Gustavo Rojas profesor del Instituto Tecnológico de Costa Rica “la corrosión del acero de refuerzo consiste en la oxidación destructiva del acero debido al medio que lo rodea. Las consecuencias de la acción destructiva de la oxidación se presentan como una disminución de la sección de la varilla, fisura miento en el concreto e incluso laminación del concreto, debido a las presiones que ejerce el óxido expansivo y a la disminución o desaparición de la adherencia entre el refuerzo y el concreto”⁷.

En Colombia las estructuras de concreto son vulnerables al medio ambiente agresivo que las rodea, fundamentalmente las ubicadas en zonas costeras debido

⁷ ROJAS MOYA, Gustavo. Evaluación de estructuras de concreto por corrosión. En: Tecnología en Marcha. Octubre-Diciembre 2008, vol. 21, no. 4.p.69-78.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------


a que el agua marina contiene una gran variedad de sales, éstas forman cloruros los cuales llegan a las diferentes estructuras, generando deterioro en las estructuras. De igual modo, estos problemas de deterioro de estructuras en concreto ocurren en las zonas rurales e industriales debido al dióxido de carbono que generan los medios de transporte, las fábricas, la combustión de carbón, gas y demás fuentes de emisiones de este gas.

“Cuando los agentes agresivos no están presentes desde la elaboración del concreto, éstos penetran a través de él cuando la estructura es puesta en servicio. Al llegar a la superficie del metal, provocan que la corrosión se desencadene. Una vez que la corrosión se ha desencadenado, ésta se manifestará bajo tres vertientes”⁸: 1) Sobre el acero, con una disminución de su diámetro inicial y por lo tanto de su capacidad mecánica. 2) Sobre el concreto, debido a que al generarse acumulación de óxidos expansivos en la interfase acero-concreto, provoca fisuras y desprendimientos. 3) Sobre la adherencia acero/concreto.

Por otra parte, el uso indiscriminado de envases de plástico (PET) ha generado un problema ambiental porque el tiempo en descomponerse es demasiado para poder controlarlo, en su elaboración se usa recursos no renovables (petróleo) y en su producción se usan sustancias tóxicas, metales pesados, químicos que perjudican la salud de los seres vivos. Debido a esto en la investigación se va a utilizar fibras de tereftalato de polietileno (PET) para hacer una contribución al medio ambiente.

El concreto reforzado es susceptible a fallar por corrosión lo cual genera en la estructura problemas de durabilidad e implicaciones económicas para los

⁸ CYTED, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, 8, Tercera Edición. Maracaibo, Venezuela. Agosto 2000. p. 13-14, p.21, p. 38-40 ISBN 9802965413, 9789802965410.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

encargados del mantenimiento y rehabilitación del proyecto. El fenómeno de la corrosión en el concreto reforzado no es un tema reciente, se han realizado un gran número de investigaciones y de estas se han propuesto soluciones, sin embargo, los métodos hallados a la hora de someterlos a condiciones reales han sido poco eficientes y por ende sigue siendo un tema de estudio.

1.2.2 Formulación del problema

Con respecto a lo expuesto, la investigación propuesta busca dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Cuál es la influencia en la velocidad de corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto, con diferentes proporciones de adición de fibras PET?


1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la adición de macrofibra PET en la velocidad de corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto.

1.3.2 Objetivos específicos

- Incorporar fibras recicladas de tereftalato de polietileno (PET) como aditivo en probetas de concreto.
- Fabricar muestras de concreto con distintos contenidos de fibras PET.
- Determinar la influencia de la fibra PET en el comportamiento del concreto.
- Evaluar la velocidad de corrosión en muestras de concreto con fibras PET.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------


1.4 JUSTIFICACIÓN

En Colombia el uso de fibras sintéticas como refuerzo en el concreto ha tenido una acogida importante en el mercado de la construcción, ya que estas macrofibras “mejoran las propiedades del concreto y así controlan la propagación de fisuras en un material en estado de servicio”⁹. En contraste con lo anterior no se ha investigado rigurosamente los aportes o desventajas que le aportan las macrofibras PET a todas las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

La presente investigación se enfocará en evaluar si al agregar fibras de PET en una matriz de concreto la velocidad de corrosión de las varillas de acero aumenta, disminuye o es constante. Actualmente las estructuras hechas con concreto reforzado con varillas de acero sufren de un deterioro causado por la corrosión debido a que cuando el concreto reforzado es expuesto a factores ambientales las varillas de acero se corroen incrementando el diámetro de estas y en consecuencia un agrietamiento en el concreto. (Girón, 1998)

Este problema de corrosión no sólo causa un gasto económico a las dependencias encargadas sino también un problema social puesto que las edificaciones brindan servicio y seguridad para el desarrollo de las sociedades. La importancia de esta investigación radica en la contribución que puedan generar los estudiantes al evaluar la incidencia de las fibras PET en la corrosión del acero embebido en concreto, de esta forma aportar al desarrollo y avance del sector de la construcción e ingeniería civil en Colombia.

⁹ NOTICRETO. Explorando el Concreto Reforzado con Fibras (CRF). Agosto - Octubre de 2007, n°84. [en línea]. Disponible en <http://www.imcyc.com/ct2008/feb08/materia.htm>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	--

1.5 DELIMITACIÓN

A continuación, se presentan las diferentes limitaciones que restringirán el desarrollo de este proyecto:

1.5.1 Espacio


Este trabajo depende de los ensayos de laboratorio y espacio dispuesto para el análisis del proyecto.

1.5.2 Tiempo

Este proyecto se desarrolló en un tiempo de 8 meses, incluyendo el tiempo empleado para la realización del anteproyecto y ensayos ejecutados con recursos propios, en la ciudad de Bogotá.

1.5.3 Contenido

Este proyecto se desarrolla mediante la elaboración de ensayos y resultados teórico-prácticos.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Fibras en el concreto

“Las fibras son filamentos delgados y alargados en forma de haz, malla o trenza de cualquier material natural o fabricado que puede estar distribuido a través del concreto mezclado en estado fresco”¹⁰.

Tipos de fibras de refuerzo

Existen diversos tipos de fibras de refuerzo en el sector de la construcción, sin embargo, las más utilizadas actualmente son las siguientes:

- **Por material**

Fibras metálicas: son fabricadas a partir de acero con un porcentaje mínimo de contenido de carbono, su relación longitud diámetro es de 20 a 100.

Fibras sintéticas: están hechas de diversos materiales reutilizable como el polipropileno, acrílico, nylon, entre otros.


Fibras de vidrio: hechas para resistir al álcali.

Fibras naturales: se obtienen de caña de azúcar, madera, bambú, etc. Sus diámetros oscilan entre 0.5 y 0.2 mm.

- **Por funcionalidad, geometría y dosificación**

Microfibras: tienen como objetivo impedir la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas, no obstante, generan que el concreto en estado

¹⁰ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5721 2009-10-21 Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de energía (tenacidad) de concreto reforzado con fibra.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

fresco pierda manejabilidad o asentamiento. En el diseño de mezcla se dosifica respecto al volumen del concreto entre 0.03% a 0.15%.

Macrofibras: estas fibras tienen como finalidad evitar el agrietamiento del concreto en estado endurecido, disminuir el ancho de las fisuras si llega a ocurrir y aprobar el uso de la estructura fisurada. En el diseño de mezcla se dosifica respecto al volumen del concreto entre 0.2% a 0.8%. (SIKA, 2014).

2.1.2 Tereftalato de polietileno (PET)

“El tereftalato de polietileno (PET) es un polímero de condensación producido por la esterificación de etilenglicol (EG) con ácido tereftálico (TPA) o tereftalato de dimetilo (DMT) y tiene la fórmula general




A diferencia de los enlaces carbono-carbono en los polímeros discutidos anteriormente, los poliésteres se basan en enlaces carbono-oxígeno-carbono donde uno de los carbonos es parte de un grupo carbonilo. Las excelentes propiedades de la película de PET como material de envasado de alimentos son su gran resistencia a la tracción., excelente resistencia química, peso ligero, elasticidad y estabilidad en un amplio rango de temperaturas (-60° a 220°C). Las películas de PET se usan más ampliamente en la forma biaxialmente orientada, estabilizada al calor”¹¹.

Frente a la industria en las últimas décadas el tereftalato de polietileno ha tenido una gran acogida ya que es un material con diversas aplicaciones, que van desde envases de bebidas y alimentos, textiles, fabricación de piezas para dispositivos electrónicos y demás usos que se le pueden dar al PET. (Crawford, 2016)

Los residuos sólidos de tereftalato de polietileno (PET) han provocado un problema ambiental ya que estos no pueden biodegradarse, por esta razón se ha implementado el reciclaje como una solución viable ya que al reutilizar el material



¹¹ ROBERTSON G.L. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. Food Packaging. [en línea], Elsevier. Agosto, 2014.p. 232-249. Disponible en <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444525123000632>>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

este va afectar en menor porcentaje al ambiente, una manera de reutilizar este material es la elaboración de nuevos envases para bebidas. Para reutilizar el material reciclado debe tener un control respecto a la calidad porque es necesario que este material sea mejorado para la fabricación de nuevos envases. (Serrano, 2004)

Debido a que se tiene diversos tipos de polímeros se realizó una tabla en la cual se puede identificar los plásticos que son aptos para el reciclaje, en esta se puede observar que cada plástico tiene un símbolo característico, compuesto de un número y flechas de anillo, su estructura molecular y sus aplicaciones.

Figura 1. Símbolo y estructura molecular PET

Table 1.1 Structures and of the most commonly recycled polymers and their applications			
Symbol	Polymer	Structure	Applications
	Polyethylene terephthalate		Carbonated drinks bottles, fibres


Fuente: LA MANTIA, Francesco, 2002.

Con el fin de disminuir el impacto ambiental que genera el tereftalato de polietileno (PET) se establecieron distintas maneras de reciclar el PET desde el reciclado mecánico, químico, energético entre otros.

- Reciclado mecánico:

Esta técnica de reciclaje es la que tiene mayor aceptación porque conserva el valor máximo contenido en los desechos plásticos, pero está limitado su uso por causas como la contaminación, la degradación continua de sus propiedades y demás factores que no hacen optimo su aplicación. (La Mantia, 2002)

El reciclado mecánico es un proceso que no sufre transformaciones químicas relevantes, el proceso trata en, tener la materia prima esta se tritura, lava, se hace unos cortes pequeños homogéneos del material (PET).

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Consecutivamente se derrite y se da una nueva forma enduiciorecida al plástico, dependiendo el uso que se solicite. (Twenergy, 2012)

- **Reciclado químico:**

En tales procesos de reciclaje químico, el PET se descompone en sus componentes químicos básicos, que se purifican y luego se vuelven a ensamblar en nuevos polímeros. La ventaja es que la calidad del producto no está influenciada, por ejemplo, por el color de la entrada, etc.” (Tukker, 2002)

- **Reciclado energético:**

Este método es una alternativa buena con el medio ambiente ya que en un su proceso genera emisiones no toxicas, fuera del vapor de agua y CO₂ . Este reciclaje se efectúa mediante la combustión de los envases de tereftalato de polietileno debido a que provoca energía por su gran poder calórico. (Celi, 2013)

2.1.3 Concreto

“En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión”¹².

¹² SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero.2001.BHANDAR EDITORES LTDA. Quinta edición.p.19.ISBN958-9247-04-0


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Figura 2. Composición del concreto




Fuente: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego, 2001.

Propiedades físicas y mecánicas del concreto

- Propiedades del concreto fresco: El concreto fresco exhibe una consistencia plástica, ocasionada por agregar agua a la mezcla es importante controlar la docilidad para tener un diseño de mezcla adecuado y no tener futuros inconvenientes en el proyecto. El concreto fresco cuenta con las siguientes características: consistencia, docilidad, homogeneidad, segregación y exudación. (Mestanza, 2018)
- Propiedades del concreto endurecido: la transformación del concreto en estado pastoso a sólido se denomina concreto endurecido esto es debido a un proceso físico-químico que sufre la mezcla en un tiempo específico. El concreto en estado endurecido tiene las siguientes propiedades: densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta, resistencia a la flexión, resistencia a la adherencia, módulo de elasticidad, retracción, durabilidad, porosidad. (Mestanza, 2018)

Concreto reforzado

“El concreto reforzado es un material en el cual se tiene una matriz de concreto que perfectamente puede soportar por sí misma esfuerzos de compresión considerables y un refuerzo de acero en volúmenes relativamente mucho menores que los de concreto, el cual se usa con el fin de soportar los esfuerzos de tracción que puedan presentarse, además de ofrecer confinamiento a la sección de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

concreto, proporcionándole a su vez ductilidad. Tanto el comportamiento de falla de las secciones de material compuesto, como su resistencia ante diferentes tipos de esfuerzos, depende no solo de la ubicación de los refuerzos sino de la cantidad y la distribución en que estos se coloquen”¹³.

El concreto reforzado surge de la relación del concreto y el acero de refuerzo esta relación es simbiótica porque se benefician mutuamente, es decir, el concreto suministra de una protección tanto química como física al acero (corrosión) debido a la alcalinidad del concreto y por otro lado el acero provee una mayor resistencia a la tracción al concreto. (Lee, 2005)

Concreto reforzado con fibras


Debido a que los problemas de fisuración en el concreto son frecuentes se adicionan macrofibras como refuerzo secundario, estas macrofibras permiten que el concreto no se produzca fisuras en su estado endurecido (contracción por secado) y así controlar la aparición de fisuras durante la vida útil de la estructura. Adicional a esto incrementa la tenacidad del material, es decir, el concreto es capaz de resistir cargas antes de colapsar y aumenta su resistencia al impacto.

2.1.4 Corrosión en el concreto reforzado

El concreto es un material con alta alcalinidad con un pH promedio de 12.5 y baja conductividad, no obstante, ante la exposición de las estructuras de concreto a un ambiente agresivo esta protección no es suficientemente efectiva provocando que el fenómeno de la corrosión desencadene. Pero también existen otros aspectos que producen este fenómeno, concretamente desde su origen como: la excesiva porosidad del concreto, reducido espesor del recubrimiento del concreto sobre el refuerzo, existencia de grietas en la estructura y la alta concentración de agentes corrosivos en los componentes del concreto. (Girón, 1998)

“La corrosión en el concreto reforzado se puede definir como la oxidación destructiva de materiales metálicos en un medio específico. La corrosión ocurre

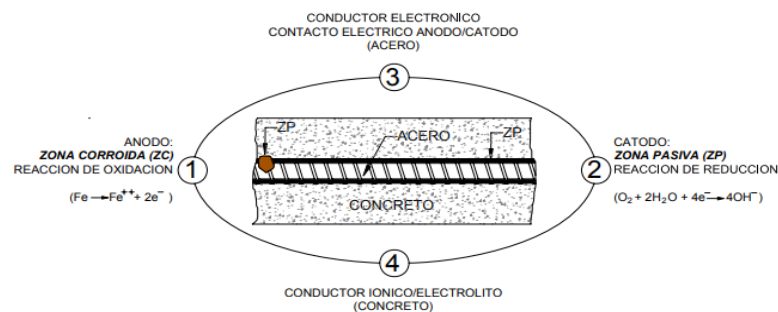
¹³ LAMUS, Fabián y ANDRADE, Sofía. Concreto reforzado: Fundamentos. Agosto, 2015. Ecoe ediciones.p.25. ISBN 9789587712636

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consiste en cuatro elementos principales¹⁴:

- a) Un ánodo, donde ocurre la oxidación.
- b) Un cátodo, donde ocurre la reducción.
- c) Un conductor metálico, donde la corriente eléctrica es el flujo de electrones.
- d) Un electrolito; en este caso el concreto, donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso.

Figura 3. Elementos constituyentes de la celda de corrosión.




Fuente: TROCÓNIS DE RINCÓN, Oladis ,2000

Agentes de corrosión en el concreto

En las últimas décadas la patología que más relevancia ha tenido en el campo de la construcción ha sido el deterioro por corrosión, puesto que se reportaron pérdidas económicas del orden de hasta 276 billones de dólares anuales. El fenómeno de la corrosión es ocasionado por la penetración de cloruros a través del concreto, y también en menor grado por la carbonatación del mismo. (Corral, 2013)

1. Corrosión por la penetración de cloruros:

¹⁴ TROCÓNIS DE RINCÓN, Oladis y miembros de la Red DURAR. Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado. CYTED. Agosto, 2000- Tercera Edición. Maracaibo, Venezuela. p. 13-14.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

La corrosión por cloruros se da porque “El ión Cl^- penetra en la película de óxido, a través de los poros y otros defectos, con mayor facilidad que otros iones, como por ejemplo el SO_4 , o puede dispersar en forma coloidal la película de óxido e incrementar su permeabilidad, formándose así diminutos ánodos de metal activo, rodeados por grandes áreas catódicas de metal pasivo.”¹⁵


La corrosión por cloruros se divide en dos etapas, en la primera etapa se genera al mismo tiempo dos reacciones: en establecidas zonas, el hierro (Fe) se disuelve, mientras que en otros lugares se desarrolla una reacción catódica, ocurrida cuando el contenido de oxígeno de los (OH^-) es muy elevado en el agua intersticial. En la segunda etapa del proceso el ion metálico (Fe^{++}) disuelto reacciona con otros aniones del H_2O para crear un precipitado que reviste el acero. (Raharinaivo, 1986)

Por último este proceso químico va formando hidróxido de hierro $\text{Fe}(\text{OH})_2$, liberando iones de Cl^- , cuando el electrón liberado se filtra entre el acero va generando una reacción de oxidación, de esta manera se disminuye el pH del material y perturba la capa protectora que envuelve al acero. (Casas, 2010)

La penetración de cloruros se puede evidenciar más fácilmente en las zonas costeras ya que en estos lugares las estructuras que están en zonas aéreas o sometidas a la acción de las mareas o salpicaduras se producen ciclos de humedad y secado, lo cual da lugar a que se desencadene más rápido la penetración de cloruros, porque además de la propagación surgen fenómenos de absorción capilar que acarrear concentraciones más altas. (Mena, 2005)

En las ciudades también ocurre el problema de la corrosión por cloruros, especialmente en las zonas industriales, puesto que la contaminación que generan estas en el medio ambiente produce una diversidad de componentes químicos con diferentes concentraciones mayor de la que se podría percibir en un

¹⁵ RAHARINAIVO, Andre y GENIN, Jean-Marie. On the corrosion of reinforcing steels in concrete in the presence of chlorides. En: Materiales de construcción CSIC. [en línea]. Octubre – Diciembre, 1986, vol.36, no.204. p.5-6. Disponible en <
<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/881>>

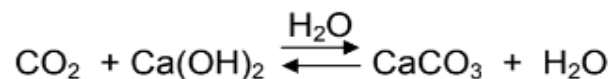
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

ambiente marino natural. Algunos de estos compuestos químicos son el óxido de carbono, sulfatos y nitratos los cuales inciden en la disminución del pH del concreto en condiciones normales. (Mena, 2005)

2. Corrosión por carbonatación:

“La pérdida de alcalinidad del concreto denominada como carbonatación también es un problema que actualmente afecta a muchas estructuras, este fenómeno ocurre cuando el dióxido de carbono CO₂ reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte al hidróxido de calcio Ca(OH)₂ con un pH de 12 a 13, a carbonato de calcio CaCO₃ que tiene un pH menos alcalino”²⁹.

Figura 4.Reacción química de la carbonatación




Fuente: KOBAYASHI, K. y UNO, Y.

Los agentes que influyen durante la carbonatación son: el contenido de humedad, el contenido de CO₂ y SO₂ en el ambiente atmosférico; y la permeabilidad del concreto. En el contenido de humedad para que ocurra carbonatación con mayor rapidez se debe tener en el intervalo de 50 -70% ya que si hay alta o baja humedad el dióxido de carbono no puede actuar. (Tuutti, 1982)

En el contenido de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, se atribuye en gran medida a la actividad económica-industrial, porque la concentración de una zona urbana a una rural es distinta, siendo la primera la mayor. Aunque para que se inicie la carbonatación en el concreto solo se necesita una pequeña cantidad de concentración de CO₂, que está en un rango 0.03%, el cual se presenta normalmente en la atmosfera. (Montani, 2000)

Técnicas electroquímicas para estimar el estado de corrosión

Identificar cuando una estructura está sufriendo de corrosión ha sido un tema de interés para el gremio de la construcción, por ende, se han realizado diversos estudios para estimar la velocidad de corrosión en una estructura. Algunas de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

estas técnicas eran poco efectivas porque se debían hacer en un tiempo prolongado y eran muy invasivas por este motivo el uso de técnicas electroquímicas era una opción viable por su rápida medición y no eran destructivas.


Las técnicas electroquímicas más usadas para medir el grado de corrosión son: medición de potencial (Ecorr), resistencia a la polarización lineal (LPR), voltametría cíclica y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). La técnica que se va emplear para esta investigación es la resistencia a la polarización lineal (LPR).

Resistencias a la polarización lineal (LPR)

Es un método utilizado para determinar las tasas de corrosión instantánea de los metales, es un método simple de implementar en la práctica y ha ganado un amplio uso. “La técnica se basa en la observación que, en una región de potencial cercana al potencial de corrosión libre, la dependencia de la respuesta de la corriente al sobre-potencial de un electrodo en corrosión es aproximadamente lineal y que la pendiente de esta respuesta es inversamente proporcional a la velocidad del proceso de corrosión”¹⁶.

En general, el ensayo de resistencia de polarización línea (RPL) es una técnica cuantitativa y no destructiva para la caracterización de materiales, “que fue descrita a finales de la década de los 50. Esta técnica permite la estimación de la velocidad de corrosión instantánea de un metal en un medio. En la actualidad, es la técnica más utilizada para medir la velocidad de corrosión en el acero del concreto reforzado, aunque tiene algunas limitaciones. El procedimiento se basa en que las curvas de polarización son prácticamente rectas en un pequeño

¹⁶ PRUCKNER, F. Corrosion and Protection of Reinforcement in Concrete Measurements and Interpretation, Tesis para optar por el título de Doctorado de la Universidad de Viena. Mayo, 2001.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

entorno del potencial de corrosión y su pendiente está relacionada con la velocidad de corrosión”¹⁷.

En el método de resistencia a la polarización lineal se utilizan la siguiente ecuación, la cual fue desarrollada por Stern y Geary:

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{[2.303 * R_p (\beta_a + \beta_c)]} = \frac{B * \Delta I}{\Delta E} = \frac{B}{R_p} \quad (\text{Ec 2.1.4 -1})$$

Donde:


- I_{corr}** : Densidad de corriente de corrosión (A/m²)
- β_a y β_c** : Las pendientes de Tafel anódica y catódica, respectivamente.
- R_p** : Resistencia a la polarización de un metal.

“La ecuación de Stern y Geary establece la relación entre la densidad de corriente de corrosión i_{corr} , con la resistencia a la polarización. Esta ecuación recuerda la conocida ley de Ohm, donde se establece que la diferencia de potencial entre dos puntos resulta en un flujo de corriente limitado por la presencia de una resistencia”¹⁸.

“La medida de la resistencia a la polarización del acero en el concreto es frecuentemente realizada usando un montaje de tres electrodos, compuesto por el electrodo de prueba (la barra de acero), un electrodo de referencia (una media celda), y un electrodo auxiliar (‘inerte’ acero inoxidable o elemento similar). El potencial del electrodo de prueba es medido respecto al electrodo de referencia y el electrodo de prueba es entonces polarizado por una corriente de una fuente externa vía el electrodo auxiliar”³².

¹⁷ Nace Corrosion Engineer’s Reference Book, Third Edition, 2002.

¹⁸ RODRÍGUEZ, Francisco. Técnicas electroquímicas de corriente directa para la medición de la velocidad de la corrosión: resistencia a la polarización. (Dep. ing. metalurgica, facultad de Química, UNAM.). 2000

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

“La resistencia a la polarización R_p es determinada como la tangente a la curva de polarización evaluada en el potencial de corrosión o cuando la corriente tiende a cero”³³.

La expresión matemática para definir R_p es:

$$R_p = \left(\frac{dE}{dI} \right) I \rightarrow 0 \quad (\text{Ec 2.1.4 -3})$$


$$\left(\frac{1}{R_p} \right) = \left(\frac{dE}{dI} \right) E_{corr} \quad (\text{Ec 2.1.4 -4})$$

dE: Cambio de potencial (polarización)

dI: Cambio de la densidad de corriente aplicada

Por otra parte, el método de resistencia a la polarización lineal tiene unas limitaciones principales reconocidas desde sus comienzos, (1) “Es un procedimiento inexacto, basado en una relación "aproximadamente lineal" (de ahí el nombre de "método de polarización lineal", con el que también es conocido), (2) el desconocimiento de las pendientes de Tafel, b_a y b_c y su posible variación con el tiempo, lo que condiciona el valor de la constante B. No obstante, el margen de variabilidad de las pendientes de Tafel no es muy amplio y, además, el hecho de encontrarse en el numerador y denominador restringe aún más el rango de valores posibles de B que, en la mayoría de los casos, están comprendidos entre 0,013 y 0,052 V”¹⁹.

¹⁹ GONZÁLEZ, J.A, ALBÉNIZ J. y FELIU S. Valores de la constante B del método de resistencia de polarización para veinte sistemas metal-medio diferentes.1996. En: Revista de metalurgia, vol. 32, no. 1. ISSN 1988-4222 Disponible en <<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/926>>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Para una mejor comprensión del presente estudio, se presenta a continuación las definiciones generales dentro de las cuales se desarrolla la investigación.

- **Corrosión:** Existen diversas definiciones para corrosión algunas de ellas cortas y otras muy amplias al deterioro. La definición general de corrosión es: “desgaste progresivo de una superficie por rozamiento o por una reacción química”²⁰. Pero más específicamente para el caso de los metales corrosión se define como una “reacción química o electroquímica entre el material y su entorno que produce deterioro del metal y sus propiedades”²¹.
- **Velocidad de corrosión:** “El término índice de corrosión se refiere al efecto de la corrosión general (o uniforme) sobre un metal (o no metal) por unidad de tiempo. El tipo de expresión de la velocidad de corrosión utilizada depende del sistema técnico y del tipo de efecto de corrosión. Por lo tanto, la velocidad de corrosión puede expresarse como (a) la masa de metal convertido en productos de corrosión por unidad de área de superficie por unidad de tiempo (pérdida de peso), o (b) un aumento en la profundidad de corrosión por unidad de tiempo (tasa de penetración). La tasa de remoción de metal debido a la corrosión se calcula a partir de”¹⁹

$$R = \frac{KW}{ATd}$$


Dónde:

R: Velocidad de corrosión

K: Constante

²⁰ The Free Dictionary. “definición de concreto”. [en línea] 2012. Disponible en <<https://es.thefreedictionary.com/corrosi%c3%b3n>>

²¹ Davis, Joseph. Corrosion: Understanding the Basics. ASM international, the materials information society. p.2, 45-46. ISBN 1615030689.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

W: Pérdida de peso en g a mg

A: Área más cercana a 0.01 cm²

T: Tiempo de exposición en horas al 0.01 h más cercano


d: Densidad en g/cm³

- **Resistividad eléctrica:** La resistividad se define como “la resistencia eléctrica de un conductor de volumen unitario y área transversal constante en la cual la corriente está continuamente y uniformemente distribuida. La resistividad eléctrica es una propiedad de cada material, las mediciones de resistividad eléctrica son una evaluación no destructiva de los materiales y permiten estudiar las grietas en el concreto y evaluar el aumento o la disminución de la porosidad abierta”²². La unidad de medida es ($\Omega \times \text{cm}$).
- **Resistencia a la compresión:** “La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm²), mega-pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg² o psi) a una edad de 28 días”²³.
- **Curado:** “El curado es el mantenimiento de un contenido de humedad y temperatura adecuados en el concreto a edades tempranas para que pueda desarrollar las propiedades para las que fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después de la colocación y el acabado para que el concreto pueda desarrollar la resistencia y durabilidad deseadas”²⁴
- **Dosificación:** “La dosificación es el proceso de medida, por masa o por volumen, de los ingredientes del concreto y su introducción en la

²² A.Hidalgo, et al. Microstructure of the system calcium aluminate cement-silica fume: application in waste immobilization [en línea]. Octubre, 2007. Disponible en <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167299107810391>>

²³ KOSMATKA, Steven H, et al. Diseño y control de mezclas de concreto.2004 Portland Cement Association, ISBN 089312-233-5

²⁴ National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). Concrete in practice: Curing in place concrete [en línea]. Disponible en <<https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/11p.pdf>>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

mezcladora. Para producirse un concreto con calidad uniforme, los ingredientes se deben medir con precisión para cada revoltura (bachada, amasada)²¹.

- **Trabajabilidad:** “La trabajabilidad puede describirse como la propiedad de la mezcla de concreto plástico que define la facilidad con la que se puede colocar y el grado en que resiste la segregación. La definición de ASTM es esa propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de concreto recién mezclado con una pérdida mínima de homogeneidad”²⁵.
- **Fraguado:** “El proceso debido a reacciones químicas, que ocurre después de la adicción del agua de mezclado, y que produce un gradual desarrollo de rigidez de una mezcla cementicia”²⁶.
- **Agregado:** “Es un término para cualquier material en partículas incluye grava, piedra triturada, arena, escoria, hormigón reciclado y agregados geosintéticos. El agregado puede ser natural, fabricado o reciclado. Los agregados constituyen entre el 60 y el 80% de la mezcla de concreto y proporcionan resistencia a la compresión y volumen al hormigón”²⁷


2.3 MARCO LEGAL

A continuación, se lista de manera general un marco normativo para la realización de ensayos en la caracterización de materiales y pruebas aplicables a los especímenes de concreto:


²⁵ M.S.J, Gani. Cement and concrete.1997 Chapman & Hall, p. 65. ISBN 0412790505

²⁶ THE AMERICAN < FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C-125 Op.Cit P. 1

²⁷ Greenspec. Aggregates for concrete.2019 [en línea] Disponible en <<http://www.greenspec.co.uk/building-design/aggregates-for-concrete/>>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	--

- NTC 77 - Concretos. Método de Ensayo para el Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos
- NTC 92 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados.
- NTC 176 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso.
- NTC 237 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino.
- NTC 33 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para Determinar la Finura del Cemento Hidráulico por Medio del Aparato Blaine de Permeabilidad al Aire.
- NTC 221 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Cementos. Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico
- NTC 1377 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos en el Laboratorio.
- NTC 396 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto.
- NTC 673 - Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales.
- NTC 4025 - Concretos. Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión.
- ASTM G59 – 97 (2014) Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

2.4 ESTADO DEL ARTE

La incidencia de las fibras en el concreto ha ganado popularidad a través del tiempo por los beneficios que ofrecen, es un tema que ha sido investigado de manera amplia a nivel internacional, no obstante, autores han determinado que es importante seguir analizando e investigando, involucrando otros elementos o factores que puedan causar cambios en el comportamiento del concreto.

Respecto a la evaluación de la velocidad de corrosión de concretos adicionado con fibras, el Instituto de concreto de Japón, específicamente, Hirozo Mihashi, Shaikh Faiz Uddin Ahmedy y Ayuko Kobayakawa publicaron una investigación titulada “Corrosion of Reinforcing Steel in Fiber Reinforced Cementitious”²⁸ (Corrosión de acero de refuerzo en cemento reforzado con fibra Compuestos). Este artículo plasma una serie de informes y resultados que se obtuvieron al hacer pruebas de laboratorio con especímenes de mortero que contenían un porcentaje respecto a su volumen de fibras de polietileno (PE) y el otro cable de acero híbrido (SC) con fibras de polietileno (PE). En este estudio se hicieron dos ensayos a los especímenes, el primero fue la resistencia a la tracción y el segundo fue exponer los especímenes a una corrosión acelerada la cual duro 52 semanas. El primer ensayo se determinó que el espécimen que tenía cable de acero híbrido (SC) con fibras de polietileno (PE), tenía un mejor endurecimiento por deformación y por tracción, que el que contenía solo fibras de polietileno, la resistencia a la tracción 2850 MPa y 2580 MPa respectivamente. En el segundo ensayo se calculó la cantidad de corrosión estimada por la ley de Faraday de los especímenes, luego se expusieron a la técnica de corrosión acelerada la cual se tuvo registros de 30, 40, 52 semanas de los especímenes, los resultados de este estudio establecieron las siguientes tablas. Donde se puede observar que el espécimen que menos cantidad de corrosión fue el que tenía cable de acero híbrido (SC) con fibras de polietileno (PE), según los resultados el espécimen no presentó ninguna grieta y la pérdida de acero fue mínima.

²⁸ MIHASHI, Hirozo, AHMEDY, Shaikh Faiz Uddin y KOBAYAKAWA, Ayuko. Corrosion of Reinforcing Steel in Fiber Reinforced Cementitious. Junio, 2011 En: Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 9, no. 2.p. 159-167.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Figura 5. Tablas de resultados de la investigación

Table 3 Corrosion area ratio and depth after one year exposure.

	Mortar	FRCC	HFRCC
Corrosion area* [%]	100.0	65.4	11.8
Corrosion depth [mm]	3.1	1.2	0.0

*corroded surface area / total surface area of the reinforcing steel bar

Table 4 Comparison between the actual amount of corrosion and the calculated by measuring the current.

	Mortar	FRCC	HFRCC
Actual amount of corrosion [g]	69.9	20.0	1.0
Estimated amount of corrosion [g]	52.1	20.6	7.7
Difference [g]	-17.8	0.4	6.7
Error of estimation [%]	25.4	2.2	671.5

Fuente: MIHASHI, Hirozo. 2011

En consecuencia, se determinó que el espécimen HFRCC, si se expone a condiciones naturales se obtendría buenos resultados disminuyendo la tasa de corrosión del concreto reforzado, porque “en el caso de corrosión natural donde la barra de acero está incrustada en el HFRCC que contiene fibra SC, la pasividad de las fibras de acero en la superficie del concreto serían amplias debido a la presencia de iones agresivos y oxígeno. Como las fibras SC se distribuyen aleatoriamente en la viga, algunas fibras pueden estar interconectadas, mientras los otros tal vez no. Las que están conectados a la barra de acero actuará como ánodos, por lo tanto, una pareja galvánica se formará y la corrosión de las fibras SC será acelerada y la corrosión de la barra de acero se reducirá o detendrá (Someh y Saeki 1997).

Por otra parte, el SC fibras que no están conectadas, debido a la naturaleza discreta de Fibras SC, en el área catódica máxima disponible para fibras sería limitado. Por lo tanto, incluso si la corrosión se presenta en algunas de las fibras SC, sería posible que la tasa de corrosión posterior sería muy pequeña (Mangat y Gurusamy 1988). El diámetro pequeño de fibras con su mayor área de superficie a la relación de volumen, incluso estará más efectiva, ya que se encuentra protegido por la alcalinidad en el hormigón”²⁶.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Figura 6. Esquema de distribución de las fibras en el espécimen.

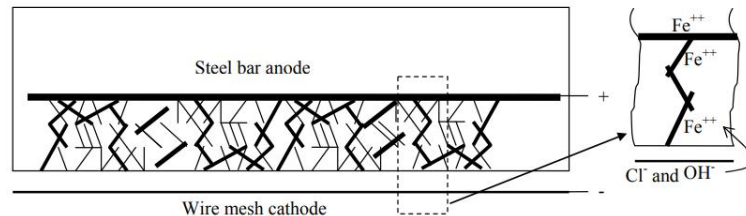



Fig. 10 Schematic of distribution of SC fibers (—) and PE fibers (---) in the specimen and the formation of sacrificial corrosion of SC fibers.

Fuente: MIHASHI, Hirozo. 2011

En esta área de conocimiento Fernando Fraternali , Saverio Spadea y Valentino P. Berardi realizan un estudio titulado “Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland cement-based concretes”²⁹ (Efectos de las fibras de PET recicladas sobre las propiedades mecánicas y el curado del agua de mar de los hormigones a base de cemento Portland), esta investigación tenía como objetivo estudiar las propiedades mecánicas de las fibras PET en el concreto y su durabilidad bajo la influencia del agua del mar en el curado.

Se hicieron especímenes de concreto con igual diseño de mezcla, lo que los diferenciaba era el porcentaje y tipo de fibra PET que tenían, el primero era concreto no reforzado con fibra, el segundo era concreto reforzado con fibra PET/a y el tercero con fibra PET/c la disimilitud de estas fibras es su perfil, uno es recto y el otro ondulado. Estos especímenes se desmoldaron y se curaron durante 28 días en condiciones normales, luego se dividieron en tres grupos: a) muestras de laboratorio para ser analizadas sin ningún curado adicional; b) muestras para analizar después de sumergirlas por 6 meses en el Puerto de Salerno, c) muestras para analizar después de sumergirlas por 12 meses en el Puerto de Salerno. Estas muestras se le hicieron ensayos de compresión, flexión, capacidad de absorción de energía y ductilidad.

²⁹ FRATERNALI, Fernando, SPADEA, Saverio, BERARDI, Valentino P. Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland cement-based concretes. *En: Construction and Building Materials*. Abril, 2014, vol.61, p.293–302.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Finalmente se obtuvo que la resistencia a la compresión de las muestras de laboratorio y marinas con fibras disminuye en comparación con el concreto sin fibras, luego en la prueba a flexión las muestras de laboratorio el mayor valor fue de las fibras de PET/c, sin embargo, en las muestras marinas el valor disminuyó 1.2% pero seguía siendo el mayor valor esto demostró que no hubo una diferencia considerable en ninguna de las muestras expuestas al mar.

Por último, se demuestra que el refuerzo con fibra PET del concreto es altamente beneficioso en términos de capacidad de absorción de energía del material y respecto a la ductilidad las dos muestras reforzadas con fibras tienen un mayor valor a la del concreto sin refuerzo.

En relación con el tema la revista Materials difundió un artículo denominado "Material and Structural Performance Evaluations of Hwangtoh Admixtures and Recycled PET Fiber-Added Eco-Friendly Concrete for CO₂ Emission Reduction"³⁰ (Evaluaciones de desempeño estructural y de materiales de mezclas de Hwangtoh y concreto reciclado ecológico con fibra de PET reciclado para la reducción de emisiones de CO₂). Esta publicación tiene como primicia evaluar el material, la durabilidad y las capacidades estructurales del concreto al disminuir la cantidad de cemento Portland y completarlo con la arcilla Hwangtoh y las fibras PET, y así crear un concreto amigable con el medio ambiente.

Las proporciones para el diseño de mezcla que se usaron en este experimento se exponen en la siguiente tabla, se utilizaron relaciones de reemplazo del 20% y 30% para polvo de escoria de alto horno y Hwangtoh, respectivamente, para una relación de reemplazo total de cemento del 50% en la mezcla de concreto. Para mejorar el agrietamiento por contracción en el concreto de Hwangtoh, un volumen de 0.5% de fibras cortas de PET se agregaron a algunos ejemplares.

³⁰ KOO, Bon-Min, et al. Material and Structural Performance Evaluations of Hwangtoh Admixtures and Recycled PET Fiber-Added Eco-Friendly Concrete for CO₂ Emission Reduction. En: Materials. Agosto 2014, vol. 7, p.5959-5981; doi:10.3390/ma7085959 ISSN 1996-1944

Figura 7. Proporciones de materiales.


Table 2. Concrete mixture proportions.

Specimens	W/B (%)	S/A (%)	Replacement ratio of Hwangtoh (%)	Replacement ratio of GGBS (%)	Unit weight (kg/m ³)					RPET fiber (%)	SP (%)
					W	C	HT	GGBS	S		
Control			-	-	339.4	-	-	-	-	-	-
SC			-	30	237.6	-	101.8	-	-	-	-
KH			20	-	271.5	67.9	-	-	-	-	-
CH			20	-	271.5	67.9	-	-	-	-	-
KHS	55	44.8	20	30	186.7	169.7	67.9	101.8	746.7	958.1	0.7
CHS			20	30	169.7	67.9	101.8	-	-	-	-
KHSP			20	30	169.7	67.9	101.8	-	-	-	0.5
CHSP			20	30	169.7	67.9	101.8	-	-	-	0.5
RPET			-	-	339.4	-	-	-	-	-	0.5

Fuente: KOO, Bon-Min, 2014.

Los métodos experimentales que se emplearon fue resistencia a la compresión, modulo elástico, PH, carbonatación, fluencia, agrietamiento por contracción de secado y flexión de concreto reforzado con acero. De estas pruebas se obtuvo que la resistencia a la compresión es menor en las muestras que tienen Hwangtoh, polvo de escoria de alto horno y fibras PET en correspondencia al concreto con cemento Portland (control) y al RPET, en el módulo elástico muestra un comportamiento similar, no obstante, las muestras KHS, CHS, KHSP Y CHSP en relación al concreto simple muestran capacidades similares y diferencias dentro de un margen aceptable para el uso estructural.

Respecto a la conducta de la falla de compresión los especímenes de Hwangtoh que tenían fibras de PET restringieron el desprendimiento de concreto y el crecimiento de las fibras, de lo cual se deduce que las fibras PET son beneficiosas para prevenir falla prematura del concreto. En la prueba de agrietamiento por contracción de secado y los índices de ductilidad las muestras KHSP, CHSP y RPET fueron las que demoraron más tiempo en cuartearse debido a lo anterior planteado. Por último, al reemplazar el cemento con Hwangtoh y polvo de escoria

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

de alto horno en proporciones de hasta 50% se puede lograr la trabajabilidad deseada y propiedades de material semejantes al concreto simple.

El siguiente estudio trata de “Durability performance of a novel ultra-high-performance PET Green concrete (UHPPGC)”³¹ (Rendimiento de durabilidad de un novedoso hormigón verde PET de ultra alto rendimiento (UHPPGC)), esta investigación tiene como objetivo determinar la eficiencia del concreto con cenizas de combustible de aceite de palma ultrafinas (UPOFA) y fibras plásticas de tereftalato de polietileno (PET).

Los ensayos que se hicieron fueron resistencia a la compresión, porosidad y absorción de superficie inicial, prueba de permeabilidad al gas, prueba permeabilidad al agua y permeabilidad al cloruro, estas pruebas se hicieron con muestras que tenían 1% de fibra de PET con cenizas de combustible de aceite de palma fino en diferentes cantidades (0%, 20% y 40% en volumen de cemento Portland).


Figura 8. Diseño de mezcla.

Components (kg/m ³)	U ₀ -UHPC	U ₂₀ -UHPPGC	U ₄₀ -UHPPGC	U ₀ -UHPPC	U ₂₀ -UHPPGC	U ₄₀ -UHPPGC
OPC	1080	863	648	1080	863	648
UPOFA	0	176	352	0	176	352
River sand (1.18–0.6)mm	760	760	760	760	760	760
River sand (0.6–0.3)mm	380	380	380	380	380	380
Water	184	184	184	184	184	184
Superplasticizer	54	54	54	54	54	54
PET fiber	0	0	0	13.2	13.2	13.2

Fuente: ALANI Aktham, 2019.

Para concluir el concreto en estado fresco con UPOFA, es decir las muestras UHPPGC tienen un mejor asentamiento y viscosidad con respecto al UHPC (concreto de alto rendimiento), y las muestras de UHPPC y UHPPG ocurre lo contrario generando las fibras PET un efecto negativo en la trabajabilidad. En la resistencia a la compresión los especímenes U20-U40 UHPPGC tienen un mayor valor en comparación con las demás muestras. Además, las muestras UHPPC

³¹ALANI, Aktham H, et al. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC). En: Construction and Building Materials. Marzo, 2019, vol.209, p.395-405.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

registraron una menor porosidad, absorción superficial inicial, permeabilidad al gas, permeabilidad al agua, permeabilidad rápida al cloruro en relación con UHPPG.

En el 2018 se hizo un estudio “Recycling woven plastic sack waste and PET bottle waste as fiber in recycled aggregate concrete: An experimental study”³² (Reciclaje de desechos de sacos de plástico tejido y desechos de botellas de PET como fibra en concreto agregado reciclado: un estudio experimental). El objetivo de este estudio es disminuir la cantidad de desechos sólidos, evaluando las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto agregado reciclado (RAC) reforzado con fibra de botella de PET reciclado (RPET) o reciclado tejido de sacos de plástico (RWS). Los diseños de mezcla de las muestras que se hicieron para realizar los ensayos se encuentran en la presente tabla. Se realizaron pruebas de compresión, de tensión de división, prueba de corte y prueba de tensión para fibra.


Figura 9. Proporciones para diseño de mezcla.

Notation	Water	Cement	Coarse NA	Coarse RCA	Fine aggregate	Silica fume	RPET fiber	RWS fiber
NAC	206.15	428.89	1024.14	-	668.91	-	-	-
RAC	213.00	428.89	-	899.19	687.34	-	-	-
RAC-5SF	213.00	428.89	-	899.19	687.34	21.44	-	-
RAC-5SF-0.25WS	213.00	428.89	-	899.19	687.34	21.44	-	0.25%
RAC-5SF-0.5WS	213.00	428.89	-	899.19	687.34	21.44	-	0.50%
RAC-5SF-0.75WS	213.00	428.89	-	899.19	687.34	21.44	-	0.75%
RAC-5SF-0.25PET	213.00	428.89	-	899.19	687.34	21.44	0.25%	-
RAC-5SF-0.5PET	213.00	428.89	-	899.19	687.34	21.44	0.50%	-
RAC-5SF-0.75PET	213.00	428.89	-	899.19	687.34	21.44	0.75%	-

Fuente: BUI, NgocKien, 2018.

Como resultado “el estudio investigó los efectos de RWS, fibra RPET y SF sobre las propiedades mecánicas y la durabilidad de RAC. SF y la técnica de mezcla propuesta desempeñaron un papel importante en la mejora de las propiedades de RAC que contienen RCA 100% grueso y compensado. La pérdida de resistencia a la compresión debido al reciclaje de fibra plástica mientras que la fibra RPET y

³² BUI, Ngoc Kien, et al. Recycling woven plastic sack waste and PET bottle waste as fiber in recycled aggregate concrete: An experimental study. *En: Waste Management*. Mayo, 2018, vol. 78, p. 79-93.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------


RWS mejoró las propiedades posteriores al agrietamiento, la resistencia al corte y la resistencia a la rotura por tracción del RAC. La ingeniería potencial del RAC reforzado con fibra RPET y RWS puede resolver los problemas ambientales actuales”³⁰.

De lo antes dicho se evidencia que, en las investigaciones nombradas anteriormente en el uso de fibras PET con diferentes materiales (cemento portland, concreto normal, concreto reforzado, entre otros), se encuentran enfocadas, en objetivos específicos en el espécimen de concreto o cualquier material, según el estudio. Con la propuesta auxiliar de investigación se estudiará el acero y las fibras en el concreto, pero el principal objetivo es la influencia de la adición de fibras PET en la velocidad de corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto. Está formulación propuesta, no cuenta con investigaciones concretas, ya que el principal objetivo es el desempeño que genera las macrofibras PET en el acero de refuerzo, mientras que la mayoría de los estudios referenciados, buscan aumentar la resistencia al concreto.

Respecto a las investigaciones presentadas anteriormente se identifica el vacío que se quiere llenar con esta investigación al poder determinar la influencia de las fibras PET en la velocidad de corrosión de las varillas de acero embebidas en concreto y establecer la influencia que tienen las fibras en las propiedades mecánicas del concreto.

2.5 METODOLOGÍA

A lo largo de este capítulo se determina la metodología más adecuada para esta investigación, basada en análisis, consultas bibliográficas y de documentos en línea. La investigación se desarrollará en 5 etapas principales las cuales se dividirán en actividades:

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

2.5.1 Primera Etapa Caracterización fibras PET

- Caracterización de las propiedades físicas de las fibras determinando la densidad, longitud, diámetro.
- Caracterización de las propiedades mecánicas de las fibras a través de ensayos de resistencia a la tensión (f_t) y módulo de elasticidad (E_t).


2.5.2 Segunda Etapa Caracterización de cementos y agregados

Para la obtención y selección de materiales durante la realización de los ensayos se realizaron los siguientes ensayos:

- NTC 221 - Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico.
- NTC 33 - Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire.
- NTC 237 - Método para determinar la Densidad y absorción del agregado fino
- NTC 176 - Método para determinar la Densidad y absorción del agregado grueso
- NTC 92- Método para determinar la masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados
- NTC 77 - Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos

2.5.3 Tercera Etapa Elaboración de especímenes de concreto

Para poder realizar los ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y velocidad de corrosión se van elaborar las probetas en dos tipos de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

moldes, el diseño de mezcla para el concreto y el procedimiento de compactación de las probetas van a ser los mismos. A continuación, se describe las características de los moldes.


- a) Probetas cilíndricas de 20 cm de alto por 10 cm de diámetro estas muestras se van a utilizar para los ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.
- b) Probetas cilíndricas fabricadas de 10 cm de alto por 5 cm de diámetro. Los especímenes tienen una varilla embebida en el centro de 15 cm y 0.64 cm de diámetro, sobresaliendo 5 cm sobre la cara superior de las probetas.

2.5.4 Cuarta Etapa Realización de pruebas de laboratorio del concreto con fibras PET

- Ensayo de laboratorio al concreto fresco: NTC - 396 Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto
- Ensayo de laboratorio al concreto endurecido: NTC - 673 Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. NTC 4025 Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad Estático y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión

2.5.5 Quinta Etapa Evaluación de la velocidad de corrosión del acero empleando la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal.

Las probetas de concreto con la varilla embebida en concreto se les va a medir la velocidad de corrosión mediante la aplicación de la técnica electroquímica Resistencia a la polarización lineal, este ensayo no se puede realizar en la Universidad Católica de Colombia ya que no se cuenta con el equipo, por lo tanto, se hará en la Universidad Nacional de Colombia mediante un proyecto de investigación liderado por el ingeniero Héctor Camilo Higuera.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	--

Este ensayo se realizara por medio de un montaje compuesto de una varilla de acero embebida en concreto, solución conductora y potencioestado. Estos son algunos de los pasos a seguir

- Hallar el valor de la resistencia a la polarización según ASTM G59-97
- Cálculo de velocidad de corrosión.

2.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Análisis de la respuesta de los especímenes de concreto a los ensayos físico-mecánicos
- Evaluación de los resultados de las muestras de concreto a la técnica de resistencia a la polarización lineal.
- Elaborar con los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio los cálculos, gráficas y demás componentes que permitan plantear conclusiones adecuadas.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

3. MATERIALES Y MÉTODOS


Los materiales que se van a emplear para la fabricación de muestras son cemento hidráulico Holcim tipo GU arena y grava de la empresa Concescol de Colombia, macrofibras de la empresa ACEBRI y varillas de acero N° 2 (0.63 mm), los cuales se van almacenar en la Universidad Católica de Colombia para posterior caracterización de estos y de esta forma realizar el diseño de mezcla y elaboración de especímenes.

Posteriormente se presenta una breve descripción de los materiales con los diferentes ensayos y resultados que se usaron para la fabricación de las probetas, dichos métodos y técnicas de ensayos tienen una corta explicación, además se presenta evidencia fotográfica de los ensayos realizados [Anexos].

3.1 CARACTERIZACIÓN DE CEMENTO

En el diseño de mezclas se utiliza el cemento, el cual es el principal componente del concreto dado que ocupa entre un 7% y 15% del volumen total. Por lo tanto, La primera etapa para el proporcionamiento del concreto es la especificación de la relación agua-material cementante, proporcionando la resistencia y durabilidad apropiada y necesaria. Este material está conformado de una conglomeración de caliza y arcillas calcinadas, que posteriormente son molidas para ser mezcladas con agregados pétreos grava, arena y agua, después se crea una aleación maleable y plástica que fragua y se endurece en un determinado tiempo, finalmente el objetivo es adquirir una consistencia pétreo.

El cemento usado en esta investigación es denominado hidráulico tipo GU (uso general), marca Holcim el cual tiene el sello de cumplimiento de la norma NTC-121 (V.2014) otorgada por Icontec. Para el cemento utilizado se realizaron los ensayos de densidad, finura y posteriormente el diseño de mezcla.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Además, se presenta evidencia fotográfica de los ensayos realizados en laboratorio. [Anexo A].

3.1.1 Densidad del cemento hidráulico

El objetivo de este ensayo es determinar la densidad del cemento hidráulico por medio de un frasco patrón de Le Chatelier.³³

Para establecer la densidad del cemento hidráulico se debe llenar “el frasco de Le Chatelier con Kerosene entre las marcas de 0 y 1 ml, luego se seca el interior del frasco con ayuda de una toalla, evitando que el cemento se adhiera a las paredes del mismo”³⁴, posteriormente se agrega 64 g de cemento portland en pequeñas cantidades, después se tapa el frasco con su tapón y se empieza a rotar en posición inclinada para extraer todas las burbujas dentro del frasco. Finalmente, para tomar la lectura final, se sumerge el frasco en el baño de agua el cual se encuentra a una temperatura específica. Los cálculos se presenten a continuación.

$$Densidad = \frac{Masa\ de\ cemento\ (g)}{Volumen\ desplazado\ (cm^3)} \quad (Ec\ 3.1.1- 1)$$

$$Densidad = \frac{64\ g}{22.7\ cm^3 - 0.4\ cm^3}$$


$$Densidad = 2.87\ g/cm^3$$

3.1.2 Finura del cemento hidráulico

En este proceso se define la distribución o clasificación total del tamaño de las partículas del cemento denominado finura, “esta propiedad altera el calor liberado

³³ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 221 2011-10-19 Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.

³⁴ UMAÑA, FM. Informe descripción de las propiedades físicas del cemento hidráulico empleado en la elaboración de concreto hidráulico. 2017. Academia.edu

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

y la velocidad de hidratación³⁵. Por lo anterior a mayor finura de cemento se genera un incremento en la velocidad o tasa de hidratación del cemento, por lo cual acelera el proceso de resistencia. Para el desarrollo de este ensayo se utiliza el aparato de permeabilidad del aire de Blaine, el cual consiste en un dispositivo que permite el paso de una cantidad definida de aire a través de una muestra preparada de cemento con porosidad definida. La porosidad está en función del tamaño de las partículas y la distribución del tamaño, entonces por medio de este se determina la velocidad con que fluye el aire a través de la capa de cemento, en otras palabras, se define al material en términos de su grosor o finura de las partículas del cemento. Como resultado suministra la medición de la finura en términos del área de la superficie específica (superficie total de la partícula) en centímetros cuadrados por gramo [$\frac{cm^2}{g}$]. Los cálculos se realizados son los siguientes:

Para determinar la masa de la muestra patrón empleada, se calcula por la siguiente ecuación:

$$M = \rho * v * (1 - \varepsilon) \quad (\text{Ec 3.1.2 - 1})$$

Donde

M: masa de la muestra patrón (g)

ρ : densidad de la muestra (g/cm^3)

v: volumen ocupado por el cemento (cm^3)


ε : porosidad deseada de la capa de cemento

La finura se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{K\sqrt{t}}{\rho\sqrt{n}} \quad (\text{Ec 3.1.3 - 1})$$

Donde

³⁵ Boletín de ingeniería EB201, Diseño y control de mezcla de concreto-Cap. 2-Cementos portland, cementos adicionados y otros cementos hidráulicos-Steve H. Kosmatka, Bearix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi, pág. 69

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

M : masa de la muestra patrón (g)
 ρ : densidad de la muestra (g/cm^3)
 v : volumen ocupado por el cemento (cm^3)
 ε : porosidad deseada de la capa de cemento

De acuerdo a lo anterior, se obtienen los siguientes datos ver Tabla 1.

Tabla 1. Resultados ensayo de finura

Variables	Datos
Densidad (g/cm^3)	2.87
Volumen (cm^3)	1.708
Porosidad	0.5
Masa de la muestra patrón (g)	2.45
Viscosidad del aire	17.98
Tiempo (s)	93.54
Finura (cm^2/g)	4012


Fuente: Elaboración propia

3.2 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados finos y gruesos, son el material de mayor porcentaje en la mezcla pues ocupan (aproximadamente el 60%-80% del volumen) en el diseño de mezcla de concreto, las propiedades de los materiales son de gran “influencia en la consistencia en estado plástico, durabilidad y resistencia del concreto endurecido”.³⁶

El uso de agregados en el concreto tiene como objetivo reducir los costos en la producción de la mezcla, puesto que disminuye el contenido de cemento, también proporciona control en los cambios volumétricos y resistencia final del material. “La cantidad de agregados pétreos, se determina a partir del diseño de mezcla, pero existe un contenido límite de agregados gruesos para su trabajabilidad del

³⁶ Trabajo de investigación Caracterización física de agregados pétreos para concretos, Universidad Católica de Colombia, pág. 10-15.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

concreto. si la cantidad de este agregado es excesiva se presentará el fenómeno de segregación. De igual manera ocurre en los agregados finos, su dosificación permitirá una buena trabajabilidad y cohesión a la mezcla”.³⁷ Por lo tanto se realizan “métodos de ensayo verificando y analizando las propiedades de tipo, calidad, limpieza, granulometría, contenido de humedad, entre otras propiedades”³⁸. Para la caracterización de esta mezcla se realizan los siguientes ensayos:

Se presenta evidencia fotográfica de los ensayos realizados. [Anexo B], [Anexo C].

3.2.1 Granulometría

El objetivo de este ensayo es determinar la distribución de partículas de los agregados por medio de tamizaje. Este ensayo es fundamental, puesto que la granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes para el efecto de dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto. Una variación en este ensayo afecta notoriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Por otra parte, para la gradación de los agregados se utiliza una serie de tamices que están especificados en la Norma Técnica Colombiana NTC 32, los cuales seleccionarán los tamaños, especificando los porcentajes mínimos y máximos que pasan por lo tamices estándar, también se obtendrá el módulo de finura, este proceso permite determinar el tamaño máximo nominal para el agregado fino y absoluto para el agregado grueso, entre mayor sea el módulo de finura, las partículas tendrá un mayor grosor.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla y posteriormente se grafican, ver figura 12. % Pasa VS Abertura de Tamices (mm).

³⁷ ASOCRETO, Argos Agregados pétreos en la mezcla de concreto. [en línea] Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

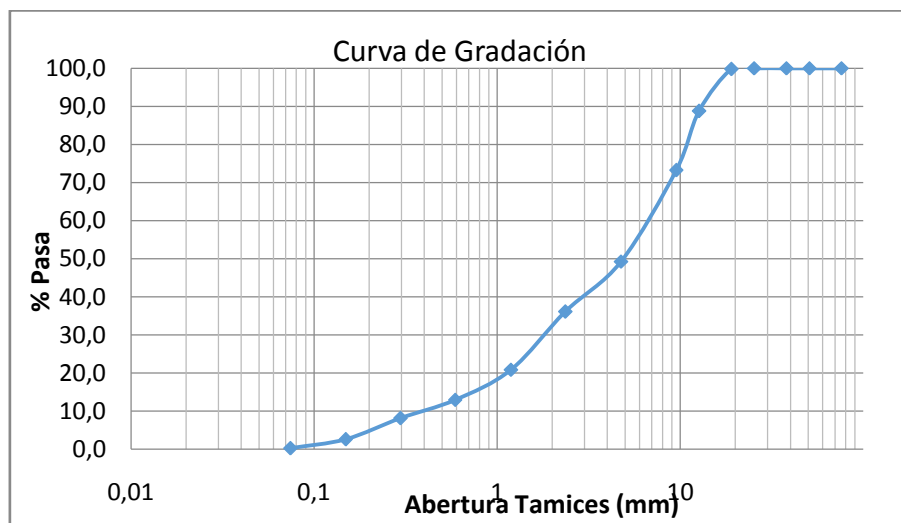
³⁸ Boletín de ingeniería EB201, Diseño y control de mezcla de concreto-Cap. 5-Agregados para concreto Steve H. Kosmatka, Bearix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi, pág. 114

Tabla 2. Resultados análisis por tamizado


Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Peso (Retenido)	% Peso (Retenido Acum.)	% Peso (pasa)
3"	76.2	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.8	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.1	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.4	0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.05	10.3	0.2	0.2	99.8
1/2"	12.7	535	10.7	10.9	89.1
3/8"	9.52	777.2	15.5	26.5	73.6
No. 4	4.76	1190.1	23.8	50.3	49.7
No. 8	2.36	656.5	13.1	63.4	36.6
No. 16	1.19	763.7	15.3	78.7	21.3
No. 30	0.59	387	7.7	86.4	13.6
No. 50	0.297	239.5	4.8	91.2	8.8
No. 100	0.149	278.5	5.6	96.8	3.2
No. 200	0.0745	133.6	2.7	99.4	0.6
Pasan		28.6			

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Curva de Gradación



Fuente: Elaboración propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

3.2.2 Densidad y la absorción del agregado grueso

El objeto de este ensayo es determinar la densidad relativa (gravedad específica), absorción y humedad superficial de los agregados, el proceso que se realiza durante la práctica se define como: secado al horno (SH), secado al aire, saturado con superficie seca (SSS) o densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) y húmedo durante un tiempo prescrito.

Los agregados gruesos se caracterizan por tener niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) en un rango de “0.2% al 4% y los contenidos de agua libre varían del 0.5% al 2%, también el contenido máximo de humedad es usualmente menor que el del agregado fino, por otro lado, el contenido máximo de humedad drenada se encuentra del 1% al 6%”³⁹.

El proceso en laboratorio de este ensayo consiste en sumergir el agregado en agua durante 24 h hasta saturar los poros, posteriormente se remueve el agua y se seca la superficie de las partículas, determinándose su masa. Finalmente el volumen de la muestra es calculado por el método de desplazamiento de agua y la muestra se seca al horno determinándose su masa, como en los procesos anteriormente mencionados con los datos obtenidos se aplican las siguientes formulas:

$$Densidad (SH) = \frac{A}{(B-C)} \quad (Ec 3.2.2 - 1)$$


$$Densidad (SSS) = \frac{B}{(B-C)} \quad (Ec 3.2.2 - 2)$$

$$Densidad (Aparente) = \frac{A}{(B-C)} \quad (Ec 3.2.2 - 3)$$

$$Absorción \% = \frac{(B-A)}{A} * 100 \quad (Ec 3.2.2 - 4)$$

En donde:

³⁹ Boletín de ingeniería EB201, Diseño y control de mezcla de concreto-Cap. 5-Agregados para concreto Steve H. Kosmatka, Bearix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi, pág. 115

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

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 aparente en el agua de la muestra de ensayo saturada, g.

A continuación, se presentan los cálculos determinados de este ensayo en la tabla 3, según ecuaciones teóricas del método de ensayo NTC 176.

Tabla 3. Resultados densidad, NTC 176

Temperatura agua (°C)	23 °C
Masa en el aire muestra SSS=Valor B (g)	4000
Masa sumergido=Valor C (g)	2476
Masa en el aire de la muestra seca=Valor A (g)	3867.8
Densidad bulk (GsBulk)	2.54
Densidad aparente SSS (GsBulk SSS)	2.62
Densidad nominal (Gs aparente)	2.78
Absorción (%)	3.4

Fuente: Elaboración propia


3.2.3 Densidad y la absorción del agregado fino

“El objeto de este ensayo es determinar la densidad aparente y nominal, en condiciones de temperatura de 23°C y la absorción del agregado fino”.⁴⁰

Las características generales de los agregados finos son: tener un nivel de “absorción de 0.2% al 2%, un contenido de agua libre entre el 2% al 6% y un contenido máximo de humedad drenada de 3% al 8%”³⁹

El proceso de la práctica consiste en llenar el picnómetro parcialmente con agua, inmediatamente se introduce dentro del picnómetro 500 g de agregado saturado y superiormente seco, luego se llena con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de la capacidad. Se gira, invierte y agita el picnómetro para eliminar todas las

⁴⁰NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 237 Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.PDF

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

burbujas de aire. Finalmente se ajusta su temperatura y se lleva el nivel del agua en el picnómetro hasta su capacidad calibrada. Como resultado del ensayo, se toma masa del picnómetro, la muestra y el agua. Se hacen los cálculos de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$D_s \text{ aparente} = \frac{0.9975 * A}{(B+S-C)} \quad (\text{Ec 3.2.3 - 1})$$

$$D_s \text{ aparente}(SSS) = \frac{0.9975 * S}{(B+S-C)} \quad (\text{Ec 3.2.3 - 2})$$

$$D_s \text{ nominal} = \frac{0.9975 * A}{(B+A-C)} \quad (\text{Ec 3.2.3 - 3})$$

$$\text{Absorción } \% = \frac{(S-A)}{A} * 100 \quad (\text{Ec 3.2.3 - 4})$$

En donde:

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, g.

En la siguiente tabla 4 se exponen los resultados determinados a partir del ítem de ecuaciones del ensayo NTC 237.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Tabla 4. Resultados de densidad y absorción del agregado fino. NTC 237

Temperatura agua (°C)	25 °C
Masa muestra seca=Valor A (g)	491.23
Masa picnómetro=Valor M (g)	185.9
Volumen picnómetro=Valor V (ml)	500
Masa picnómetro + agua=Valor B (g)	683.10
Masa picnómetro + agua + muestra=Valor C (g)	1013.4
Masa muestra SSS=Valor S (g)	500
Densidad aparente (g/cm ³)	2.89
Densidad SSS (g/cm ³)	2.9
Densidad nominal (g/cm ³)	3.0
Absorción (%)	1.8

Fuente: Elaboración propia


3.2.4 Masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados

El objetivo de este ensayo es determinar la masa volumétrica del agregado en condición compacta o suelta necesaria para ocupar un recipiente con un volumen unitario especificado. Este volumen es el conjunto de agregados y vacíos entre las partículas del mismo. Esta práctica analiza las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados. “aplicable para agregados que no excedan los 125mm de tamaño máximo nominal.”⁴¹

Como característica general de la masa volumétrica, el agregado usado en el concreto normal varia en un rango de “1200 a 1750 kg/m³. Es importante este ensayo, puesto que la cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de agua-cemento en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos para agregado grueso se encuentra entre el 30% y 45%, y para agregado fino en el rango de 40% a 50%”³⁸

El procedimiento consiste en llenar una tercera parte del molde y apisonar la capa con 25 golpes utilizando la varilla de apisonamiento. Luego completar las dos

⁴¹ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 92 Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados.PDF.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

terceras partes del molde y de la misma manera nivelar y apisonar. Finalmente llenar el molde por completo hasta el rebose y apisonar de la forma descrita anteriormente especificada, (el apisonamiento se debe realizar uniformemente sobre la superficie). Verificando que los vacíos entre partículas se encuentren por debajo del borde del molde. Los cálculos se realizan con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{W_{mm} - W_m}{V} \quad (\text{Ec 3.2.4 - 1})$$

Dónde:

M: masa unitaria del agregado, kg/m³

W_{mm}: masa del agregado más el molde, kg.


W_m: masa del molde, kg.

V: Volumen del molde, m³

A continuación, se presentan los resultados de las masas compactadas para agregado grueso y agregado fino, proceso que se realizó tres veces en laboratorio, para calcular el promedio total de la masa compactada respectivamente. Ver tabla 5 y tabla 6.

Tabla 5. Masa unitaria compactada agregado grueso

MASA UNITARIA COMPACTA AGREGADO GRUESO (kg)	
1	15,84
2	15,77
3	15,98
SUMATORIA	15,98
PROMEDIO	15.98
MASA DEL MOLDE (kg)	4.59
MASA DEL MATERIAL (kg)	11.39
VOLUMEN MOLDE (m3)	7.179
DENSIDAD BULK (kg/m3)	1587.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA	2540.0
% VACIOS	37.5

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Masa unitaria compactada agregado fino


MASA UNITARIA COMPACTA AGREGADO FINO (kg)	
1	16.38
2	16.46
3	16.52
SUMATORIA	49.36
PROMEDIO	16.45
MASA DEL MOLDE (kg)	4.59
MASA DEL MATERIAL (kg)	11.86
VOLUMEN MOLDE (m3)	7.1790
DENSIDAD BULK (kg/m3)	1652.3
GRAVEDAD ESPECÍFICA	2890.0
% VACIOS	42.8

Fuente: Elaboración propia

3.3 CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS PET

“La producción de residuos plásticos es aplicable en diferentes procesos de la construcción, corresponde a un 10% de todos los residuos sólidos urbanos a nivel global”⁴², por lo tanto, se emplean estos materiales para producir fibras para el concreto. El uso de este material permite desarrollar productos alternativos en la construcción promoviendo el uso de componentes reciclables y biodegradables, como lo son las fibras PET, para este trabajo es aplicable a procesos de reducción de la corrosión. La composición de estos materiales se caracteriza por una alta pureza, resistencia y tenacidad. Para la fabricación de los especímenes de concreto se utilizaron fibras PET recicladas comerciales, las cuales tienen las propiedades indicadas en la tabla 7. Los ensayos para la caracterización de las fibras son realizados en la Universidad Nacional de Colombia, donde se determina

⁴² DISEÑO Y ENSAYO DE FIBRAS PLÁSTICAS RECICLADAS PARA REFUERZO DE MORTERO- Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos, Instituto de Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario (M5502KFA), Casilla de correo 405, Mendoza, Argentina *Autor para correspondencia:

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

longitud, diámetro, densidad, resistencia a la tensión y módulo de elasticidad. De acuerdo a lo anterior, se presenta la siguiente tabla.

Tabla 7. Características muestras de fibras PET


Parámetro	Dato
Diámetro (mm)	0.7
Longitud (mm)	25
Densidad (g/cm ³)	1.3
Resistencia a tensión (Mpa)	385
Módulo de elasticidad (Mpa)	4405

Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Características fibras PET



Fuente: Elaboración propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020</p> <p>VERSIÓN 0</p>
--	--	-------------------------------------

4. DISEÑO DE MEZCLA Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS

El diseño de mezcla y la elaboración de los especímenes se hacen de acuerdo a la normatividad colombiana lo cual garantiza que los resultados obtenidos se han confiables.

4.1 DISEÑO DE MEZCLA

Los procedimientos de diseño consisten en diferentes factores al momento de diseñar una mezcla de concreto, para lograr las propiedades y características de los especímenes durante su etapa de análisis en laboratorio. Se deben analizar las características de los materiales en la mezcla: propiedades del cemento, calidad del agua, propiedades de los agregados y características de los aditivos. Para realizar un adecuado diseño de mezcla se siguieron los siguientes pasos para el proporcionamiento de los materiales:


- Elección de Asentamiento (Slump):** para el diseño de mezcla se elige un asentamiento 2 pulgadas (50 mm) para una consistencia seca.
- Selección del tamaño máximo del agregado grueso:** se usa un agregado de $\frac{3}{4}$ pulgadas (19.05 mm).
- Estimación del agua de mezclado y contenido de aire:** Estos cálculos se hacen de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 8. Requerimientos de agua de mezclado

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $litros/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Fuente: Huanca, Samuel, 2006⁴³.

⁴³ Huanca, Samuel. Diseño de mezclas de concreto. En: Universidad Nacional del Antiplano. Marzo, 2006

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

De acuerdo a la anterior tabla el contenido de agua en L/m^3 para un tamaño máximo de agregado de $\frac{3}{4}$ " es de **185 L/m^3** (el agua de mezclado en $1 m^3$ de concreto es de $0.185 m^3$) y el contenido de aire es del **2%**.

d) Selección de la relación agua/cemento (a/c): Para elegir una relación a/c se debe tener en cuenta dos criterios; resistencia y durabilidad, estos se comparan y se elige el menor de los valores.

Tabla 9. Relación de agua cemento según la resistencia.


RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'_{cr}) (kg/cm ²)*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Huanca, Samuel, 2006⁴⁴.

Tabla 10. Relación agua/cemento según durabilidad

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45

Fuente: Huanca, Samuel, 2006⁴⁴.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Respecto a las tablas expuestas se difiere que la relación agua / cemento es de **0.48** puesto que es el menor valor obtenido de dichas tablas.

e) Cálculo del contenido de cemento: la cantidad de cemento es estimada por medio de las siguientes expresiones.

$$\text{Contenido de cemento} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado} \left(\frac{lbs}{m^3} \right)}{\text{Relación } \omega_c^a \text{ (para } f' cr)} \quad (\text{Ec. 4.1 - 1})$$

$$\text{Volumen de cemento} (m^3) = \frac{\text{Contenido de cemento} (kg)}{\text{Peso específico del cemento} \left(\frac{kg}{m^3} \right)} \quad (\text{Ec. 4.1 - 2})$$

En base a los resultados hallados en los numerales anteriores se calculó el contenido de cemento y el volumen de esta forma.


$$\text{Contenido de cemento} = \frac{185 \frac{lbs}{m^3}}{0.48} = 385.42 \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Volumen de cemento} (m^3) = \frac{385.42}{2870} = 0.13$$

f) Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino: Por medio del método ACI 211 se determina el contenido de agregado grueso mediante la tabla 11.

Tabla 11. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de finura del agregado fino.			
		MÓDULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Fuente: Huanca, Samuel, 2006⁴⁴.

El coeficiente b/b_0 es de 0.65 con este valor se procede a calcular la cantidad de agregado grueso por metro cubico, así:

$$\text{Peso seco del A. grueso} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{b}{b_0} * (\text{peso unitario comp del A. grueso}) \quad (\text{Ec. 4.1 -3})$$

Para calcular los volúmenes de agregados grueso y fino se determina a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Vol. agregado grueso} (m^3) = \frac{\text{Peso seco A. grueso}}{\text{Peso específico del A. grueso}} \quad (\text{Ec. 4.1 -4})$$

$$\text{Vol. A. fino} (m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. A. grueso}) \quad (\text{Ec.4.1-5})$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

$$\text{Peso seco del A. grueso} = 0.65 * 1587 \frac{kg}{m^3} = 1031.55 \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Vol. agregado grueso} = \frac{1031.55}{2540} = 0.40 m^3$$

$$\text{Vol. agregado fino} = 1 - (0.18 + 0.02 + 0.13 + 0.40) = 0.27 m^3$$


g) Determinación de cantidades para 1 m³ de concreto

En la tabla 12 se puede observar la masa de cada material para cada diseño de mezcla con una relación a/c de 0.48.

Tabla 12. Proporciones de materiales en el diseño de mezcla

Adición Fibra	Cemento	Agregado grueso	Agregado fino	Agua
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
0	5.112	15.062	8.186	2.454
0.029	5.112	15.062	8.186	2.454
0.057	5.112	15.062	8.186	2.454

Fuente: Elaboración propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

4.2 FABRICACIÓN DE MUESTRAS

En la elaboración de muestras de concreto se tiene en cuenta la NTC-1377 elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio. Para cada una de las mezclas se realizaron 9 probetas para un total de 27, sin embargo, no se utilizaron las mismas formaletas, 6 se hicieron con formaletas cilíndricas de un diámetro de 4" (100 mm) y una altura de 200 mm y las tres restantes con probetas cilíndricas fabricadas de 50 mm de diámetro por 100 mm de altura.

Antes de fundir o colocar el concreto en los moldes se deben impregnar ligeramente con aceite para que el proceso de desencofrado sea más sencillo. El concreto se coloca en los moldes con un palustre o cucharón. Se vierte el concreto en tres capas de aproximadamente igual altura, este procedimiento se denomina (método de compactación) apisonando con la varilla 25 veces "se distribuyen uniformemente los golpes sobre la sección transversal del molde y para las capas superiores se permite que la varilla penetre 25 mm dentro de la capa inferior"⁴⁴, luego de apisonar cada capa se golpea suavemente de 10 a 15 veces los bordes del molde con el martillo de caucho sacando las burbujas de aire atrapadas y cerrando los huecos dejados por el apisonamiento. Finalmente se retiran los excesos y se enrasa.

Al terminar la fabricación de las muestras de concreto, los especímenes se dejan "fraguar durante 24h +/- 8 h después del vaciado y se procede a desencofrar los especímenes posteriormente se colocan en un ambiente de curado"⁴². El proceso de elaboración de muestras de concreto se evidencia. [Anexo D].

4.3 CURADO DE ESPECÍMENES

El curado es un proceso de mantener el concreto en condiciones favorables en su contenido de humedad y temperatura, para la correcta hidratación de sus materiales cementantes (Asocreto, 2018). En el presente trabajo los especímenes se sumergen en una pileta, la cual debe estar a una temperatura de 23+/- 2 °C desde el momento de desencofrado hasta la ejecución del ensayo, y se mantendrán en este ambiente húmedo durante un periodo de 7 días y 28 días.

⁴⁴ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1377 Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio. PDF.

5. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

5.1 ENSAYOS MECÁNICOS

5.1.1 Asentamiento de cono de Slump

Este ensayo consiste en tomar una muestra de concreto fresco en un molde tronco cónico, el cual se compacta mediante una varilla. Luego el molde se levanta permitiendo que el concreto se asiente. El asentamiento de la muestra corresponde a la diferencia entre la posición inicial y el desplazamiento de la superficie superior del concreto, como datos se debe incluir el asentamiento del concreto tomado con el flexómetro.⁴⁵

En las tres prácticas de fundidas de cilindros se realiza el ensayo de asentamiento y se toman los datos. Ver tabla 13. El proceso de elaboración de muestras de concreto se evidencia. [Anexo E].

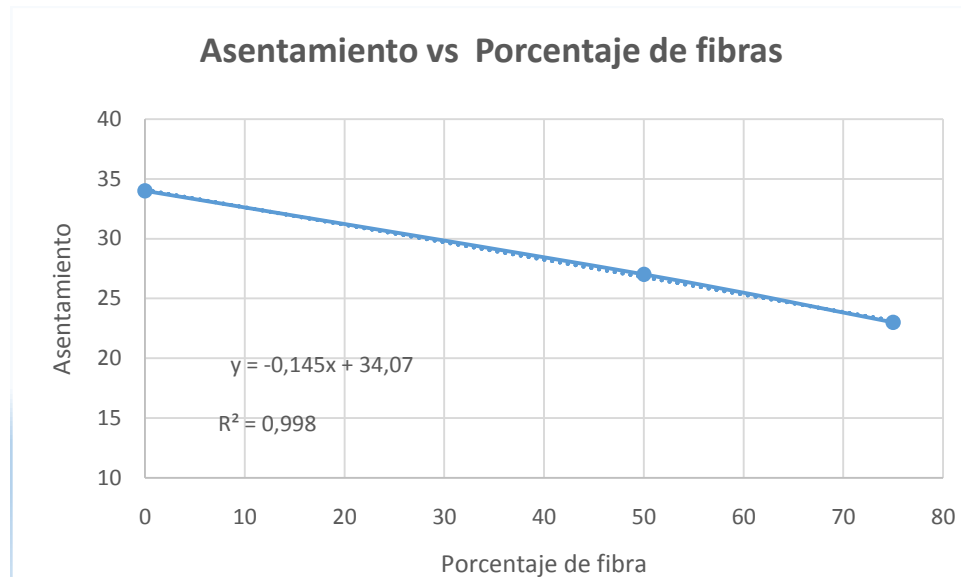
Tabla 13. Resultados de asentamiento

Adición Fibra (kg)	Asentamiento (mm)
0.000	34
0.029	27
0.057	23

Fuente: *Elaboración propia*

⁴⁵NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 396 Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.PDF

Figura 12. Relación Asentamiento vs Porcentaje de fibra




Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de mezclado del concreto, se observa una propiedad considerable, para la consolidación de la mezcla, denominada manejabilidad, la cual se refiere a la capacidad de mezclado, manejo y colocado. Un método para determinar esta propiedad se denomina ensayo de asentamiento de cono de Slump, el cual permite evaluar la consistencia o fluidez de la mezcla, los datos determinados de esta práctica caracterizan una consistencia seca en un rango de 20-35 mm. También la gráfica ilustra que a mayor cantidad de fibra menor es el asentamiento, es decir la mezcla con fibra requiere de mayor energía manual para homogeneidad.

Respecto al coeficiente de correlación, la cantidad del ajuste corresponde al 0.9988 indicando una óptima correlación entre las ordenadas y las abscisas, es decir se encuentra una dependencia entre ellas (asentamiento y porcentaje de fibras).

5.1.2 Compresión y módulo de elasticidad

Este procedimiento busca determinar la resistencia máxima a la compresión de una muestra frente a una carga de tipo axial, brindando información de las propiedades mecánicas del material y su comportamiento, “se calcula a partir de la

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga, en unidades de megapascales (MPa)²⁴, los resultados de este ensayo permiten fundamentar la mezcla de concreto especificada en el diseño de mezcla. Este ensayo se analiza a partir de una curva de esfuerzo vs deformación, la cual se obtiene a partir de los datos generados por la maquina universal. Otro objetivo de importancia al realizar este ensayo es determinar el módulo de elasticidad puesto que es la relación entre el esfuerzo al que se encuentra sometido el material y su deformación unitaria, esta propiedad “influye directamente en deflexiones, derivas y rigidez de una estructura⁴⁶.”

“Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke.”⁴⁹

Los periodos de tiempo en los que se evaluó la resistencia a la compresión de las muestras fueron: a los 7 y 28 días. Para los ensayos de módulo de elasticidad se tomaron los resultados valorados a los 28 días, donde fueron elegidas 2 muestras por cada mezcla.

A continuación, se presenta compilación de tablas y gráficas de los resultados de los ensayos de compresión y módulo de elasticidad con el promedio y desviación estándar, según corresponda.

5.1.3 Resultados resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para las muestras

⁴⁶ Osorio, Jesus David. ARGOS. [En línea] 19 de Enero de 2011. Disponible en :<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO	FECHA: 2020
		VERSIÓN 0

Tabla 14 Resultados de compresión para muestras 7 días

Muestra N°	Sección	Edad (Días)	Adición fibras (kg)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio fc	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente variación (%)
1	4"	7	0.000	142.787	15.8	15.6	0.5	0.03
2	4"	7	0.000	144.356	16.0			
3	4"	7	0.000	136.707	15.1			
4	4"	7	0.029	161.616	17.9	18	0.3	0.017
5	4"	7	0.029	165.637	18.3			
6	4"	7	0.029	160.047	17.7			
7	4"	7	0.057	154.163	17.1	17.1	0.2	0.009
8	4"	7	0.057	155.830	17.3			
9	4"	7	0.057	153.280	17.0			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Resultados de compresión para muestras 28 días

Muestra N°	Sección	Edad (Días)	Adición fibras (kg)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (MPa)	Promedio fc	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente variación (%)
10	4"	28	0.000	211.141	23.4	23.7	0.8	0.035
11	4"	28	0.000	222.418	24.6			
12	4"	28	0.000	207.316	23			
13	4"	28	0.029	259.586	28.8	28.7	0.5	0.016
14	4"	28	0.029	262.332	29.1			
15	4"	28	0.029	254.683	28.2			
16	4"	28	0.057	240.169	26.6	26.2	0.5	0.017
17	4"	28	0.057	232.225	25.7			
18	4"	28	0.057	236.148	26.2			

Fuente: Elaboración propia

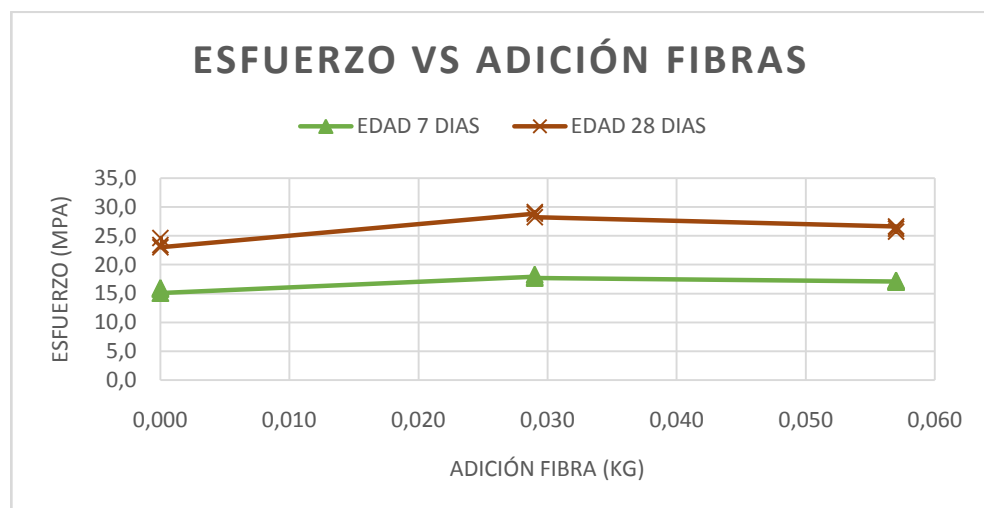
Tabla 16. Resultados de módulo de elasticidad para muestras 28 días

Adición fibras (kg)	Módulo de elasticidad (MPa)	Promedio	Desviación estándar (MPa)	Coficiente variación (%)
0.000	23019	22902	165.5	0.007
0.000	22785			
0.029	22028	21951	108.9	0.005
0.029	21874			
0.057	20719	20352	519.0	0.026
0.057	19985			

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Graficas de resistencia a la compresión y módulos de elasticidad para las muestras.

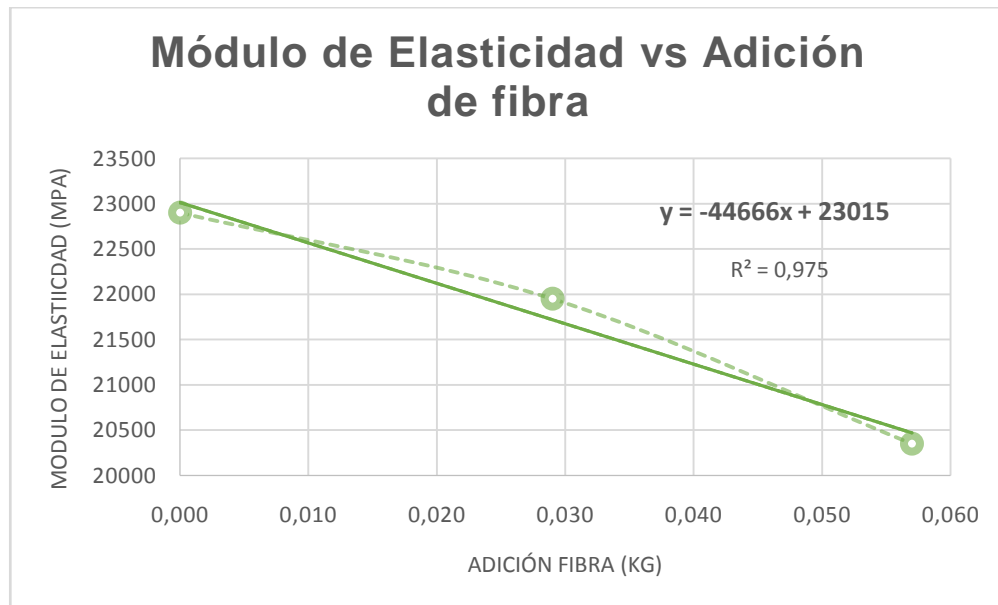
Figura 13. Relación Esfuerzo vs Adición fibras.



Fuente: Elaboración propia


La anterior gráfica representa el promedio de esfuerzos de los especímenes fallados a los 7 y 28 días para las mezclas con las siguientes características: sin fibra, 0.029 kg y 0.057kg. Se observa un esfuerzo mayor en el rango de 0.010 a 0.030 de cantidad de fibras PET. Posteriormente en la última adición de fibra, se disminuye el esfuerzo, pero no decrece lo suficiente para igualar el esfuerzo inicial sin cantidad de fibras PET en la mezcla. El periodo de curado para 7 y 28 días en los cilindros se encuentra correlacionado para la figura esfuerzo vs adición de fibras.

Figura 14. Relación módulo de elasticidad y adición de fibra.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se relaciona módulo de elasticidad con adición de fibra, donde se observa una disminución de módulo de elasticidad a una mayor cantidad de fibra. Esta propiedad evidencia la capacidad que tiene el concreto para deformarse elásticamente y también describe la rigidez relativa del material, el valor del módulo de elasticidad depende del tipo de concreto, de su dosificación, del tipo y origen del agregado usado. Para este caso se observa que la adición de fibra genera una “menor resistencia por lo tanto el módulo de elasticidad desciende. Por

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

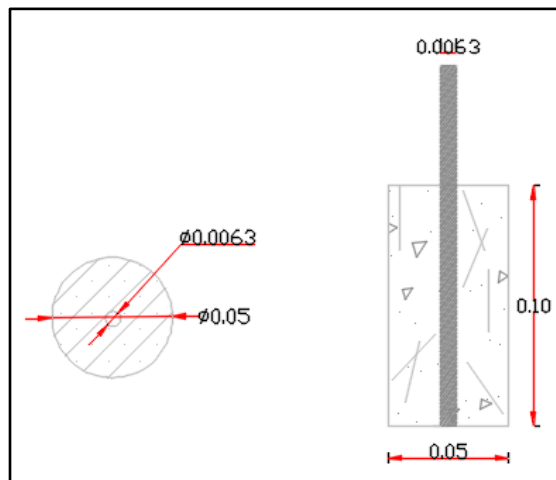
último, estos resultados generan cambios en la rigidez del concreto”⁴⁷ evidenciando variaciones en la mezcla con o sin fibras PET.

5.2 VELOCIDAD DE CORROSIÓN

5.2.1 Dimensiones y elaboración de probetas

Las muestras fabricadas no se hacen en probetas cilíndricas convencionales, sino de 10 cm de altura y 5 cm de diámetro con una varilla de ¼ pulgada y 15 cm de largo embebida en el centro, sobresaliendo 5 cm sobre la cara superior de la probeta. Los diseños de mezcla son los mismos para las muestras que se hicieron los ensayos de resistencia a compresión y módulo de elasticidad. Para cada una de estas mezclas se realizaron 3 probetas para un total de 9.

Figura 15. Esquema de la probeta fabricada.



Fuente: Elaboración propia

⁴⁷ Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. Concr. cem. investig. desarro vol.2 no.2 México ene./jun. 2011.

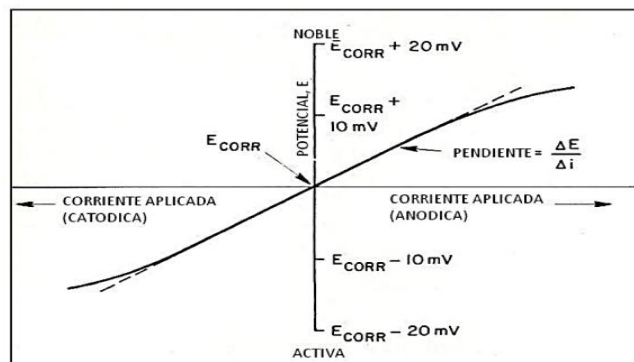
5.2.2 Determinación de la resistencia polarización lineal

El objetivo de este procedimiento de control en los procesos corrosivos, es obtener valores correspondientes a la cinética de la corrosión, es decir obtener datos que sean evaluados numéricamente, para así relacionarlos con la velocidad de corrosión, se diferencia del ensayo de potencial de media celda por lo mencionado anteriormente.


Este ensayo de resistencia a la polarización lineal (RPL), es un proceso cuantitativo que no genera efectos nocivos para la caracterización de materiales, esta práctica fue expuesta a finales de la década de los 50. Dicho procedimiento proporciona estimación de la velocidad de corrosión inmediata de un metal en un medio. Por tanto, actualmente es el proceso más empleado para calcular la velocidad de corrosión en el acero del concreto reforzado, pero presenta algunas limitaciones. Por último este método se fundamenta en que las curvas de polarización tienden a ser rectas en un pequeño espacio de distribución del potencial de corrosión, donde la pendiente está relacionada con la velocidad de corrosión.

“En la práctica se aplica una pequeña polarización, ΔE de ± 30 mV y se mide la densidad de corriente resultante, Δi , dando nombre al método el hecho de que las dimensiones del cociente $\Delta E/\Delta i$ sean las de una resistencia”¹⁷, tal y como se presenta en la figura 15.

Figura 16. Montaje para medir la resistencia del concreto.



Fuente: Nace Corrosion Engineer's Reference Book, Third Edition, 2002.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

“El contexto antes descrito, forma las bases que Stern usó para la formulación de las ecuaciones del método, las cuales establecen que la relación entre la velocidad de corriente y la resistencia a la polarización se pueden expresar (Ec 2.1.4 -1).

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2,3 * R_p * (\beta_a + \beta_c)} = \frac{B * \Delta I}{\Delta E} = \frac{B}{R_p}$$

Donde β_a y β_c son las pendientes anódica y catódica obtenidas de las curvas de Tafel correspondientemente. Las unidades en las que se expresa la velocidad de corrosión son $\mu A/cm^2$. El valor de B puede variar entre 13 y 52 mV en la mayoría de los sistemas metal-medio. En el caso del concreto reforzado, se asumen valores entre **26 mV - 52 mV** para el acero⁴⁸ de refuerzo.

5.2.3 Medida de la resistencia a la polarización según la Norma ASTM G59.

La Norma ASTM G59 “Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements”⁴⁹, especifica un procedimiento experimental para las medidas de resistencia a la polarización.


En este método, “un potencial pequeño, $\Delta E(t)$, definido con respecto al potencial de corrosión ($\Delta E = E - E_{corr}$), es aplicado a una muestra metálica. Las corrientes resultantes son registradas. La resistencia a la polarización, R_p , de un electrodo de corrosión es definido anteriormente como la pendiente en la gráfica de potencial contra la densidad de corriente a $i=0$, de la forma:

$$R_p = \left(\frac{\partial \Delta E}{\partial i} \right)_{i=0, dE dt \rightarrow 0}$$

La densidad de corriente es dada por i . La densidad de corriente de corrosión, i_{corr} , está relacionado con la resistencia a la polarización por el coeficiente de Stern Geary, denominado B, de la forma:

⁴⁸ ASM Metals Handbook, Volume 13, Corrosion, 9th Edition

⁴⁹ ASTM International, ASTM G59 – 14.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

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

Las dimensiones de R_p están dadas por $\text{ohm}\cdot\text{cm}^2$, i_{corr} en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, y las de B están en Voltios. Al polarizar el potencial de corrosión, E_{corr} con las densidades de corriente anódica y catódica aplicada⁵⁰, i_a y i_c :

$$\varepsilon_c = \beta_c \log \frac{i_c}{i_{corr}}$$

y

$$\varepsilon_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_{corr}}$$

5.2.4 Ensayo de resistencia a la polarización

El equipo que se usa para realizar este ensayo es el ponteciostato Gamry referencia serie G-750 y un software de control Gamry Framework Versión 5.67, el cual se realiza la conexión de una celda electroquímica en un sistema de 3 electrodos sumergidas en agua potable con NaCl, donde se utilizó un electrodo de referencia (ER) una varilla de acero inoxidable, electrodo auxiliar es un grafito y electrodo de trabajo es la varilla de acero número 2 embebida en la probeta. El arreglo experimental se muestra en la figura 16.

⁵⁰ Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, 2da Edition, 1996


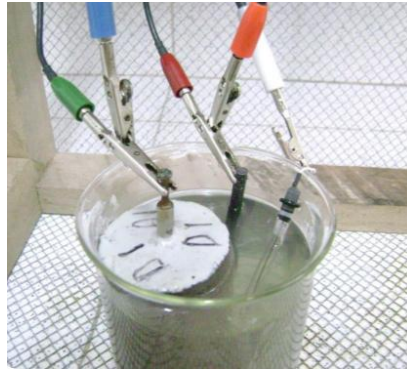
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Figura 17. Montaje experimental resistencia a la polarización.



Fuente: *Elaboración propia*

5.2.5 Medida de la velocidad de corrosión

“La constante B sirve para pasar de la proporcionalidad a la igualdad y presenta una relación existente entre las pendientes de Tafel”⁵¹. Con lo anterior, la velocidad de corrosión se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{corr} = 0.129 * \frac{PE}{D} i_{corr} \quad (\text{Ec 5.2.5 -1})$$

Donde:

V_{corr}: Velocidad de corrosión (mpy)

PE: peso equivalente

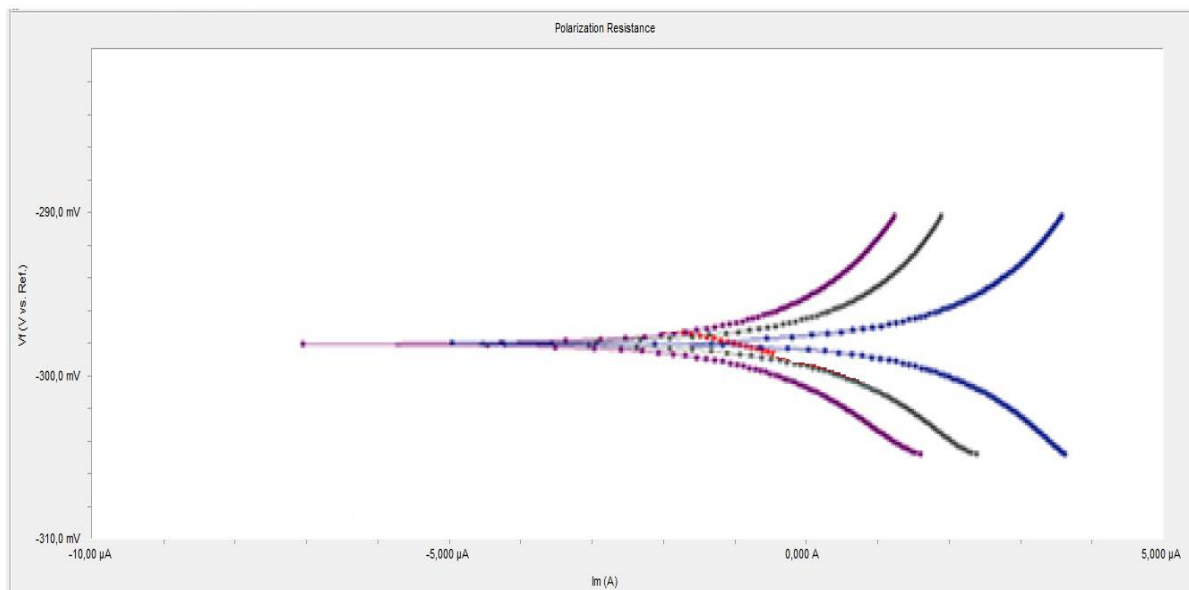
D: densidad en g/cm³

I_{corr}: densidad de corriente de corrosión (μA/cm²)

A continuación, se presenta una tabla y grafica de los resultados del ensayo de resistencia a la polarización lineal.

⁵¹ J. R. Galvele & G. S. Duffó, Degradación de Materiales - Corrosión.

Figura 18. Curvas de polarización desarrolladas a 28 días.




Fuente: Software de control Gamry Framework Versión 5.67

Con los resultados obtenidos para cada muestra, se obtuvieron los siguientes valores de corriente de corrosión (i_{corr}), Resistencia a la polarización lineal (RPL) y velocidad de corrosión (V_{corr}) para cada contenido de fibras:

Tabla 17 Resultados velocidad de corrosión.

Contenido de fibras (kg)	i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	B (mV)	RPL ($\Omega \cdot cm^2$)	V_{corr} (mpy)
0	7	26	3.71	0.903
0.029	5.5	26	4.73	0.709
0.057	4.5	26	5.78	0.581

Fuente: Elaboración propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo, se presenta el análisis de resultados obtenidos en el capítulo anterior, además se presenta una explicación de acuerdo a los resultados obtenidos.

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MODULO DE ELASTICIDAD

A continuación, se presenta un resumen de los resultados determinados para realizar un análisis pertinente.

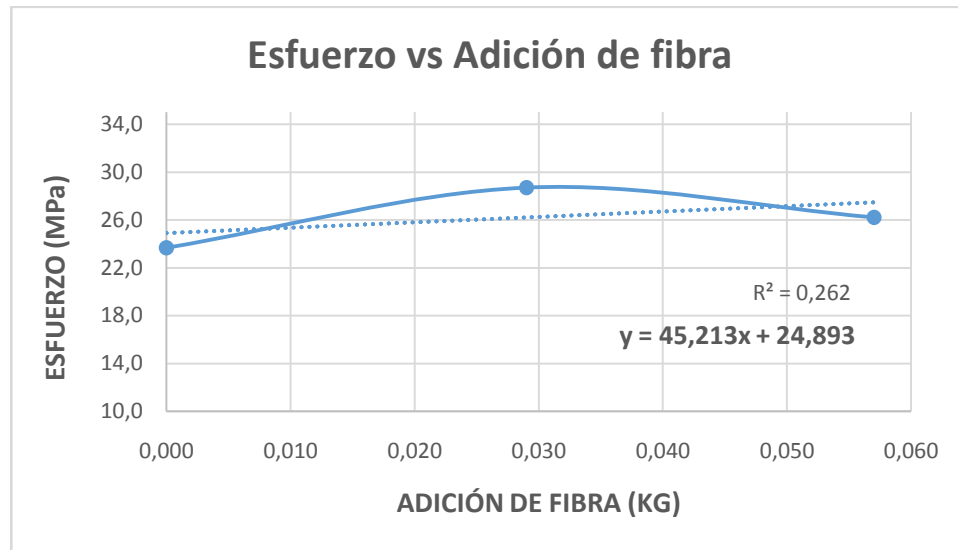
Tabla 18. Resumen de resultados obtenidos

Ensayos	Unidad	0 kg	0.029 kg	0.057 kg
Resistencia Compresion	MPa	23.7	28.7	26.2
Modulo de Elasticidad	MPa	22902	21957	20352

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 18 se muestra los promedios de los resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad de los concretos ensayados a edades de 28 días. En la resistencia a la compresión no se evidencia grandes diferencias en sus resultados por la incorporación de las fibras PET, no obstante, se reduce la resistencia al ser mayor el contenido de fibras debido a que se disminuye la consistencia de la mezcla y, por ende, la compactación que se obtenga.

Figura 19. Grafica comparativa general a 28 días.




Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se puede observar que la resistencia a compresión de las muestras con adicción de fibras de 0.029 kg aumenta un 21% con respecto al concreto convencional y las muestras con 0.057 kg aumenta un 10%, lo cual indica que la adicción de fibras favorece la resistencia a la compresión, sin embargo, la que presento un mayor porcentaje fue la muestra con adicción del 1% (0.029).

También se concluye que las resistencias aumentan respecto a la adición de fibras en las mezclas, para este análisis se tiene en cuenta dos factores; período de curado y cantidad de fibras PET, según figura 19. Se observa el mismo comportamiento de las curvas para los períodos de curado, pero con diferentes resistencias, por lo cual la mayor resistencia se obtiene para una cantidad de 0.029 kg de fibras, posteriormente la resistencia empieza a disminuir para una mayor cantidad de aditivo, por lo tanto, el rango óptimo de fibras para la mezcla se encuentra entre 0.5% y 1%, correspondiente a 0.010 y 0.030 kg de fibra PET.

Respecto a lo anterior se hace un análisis estadístico de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión, presentados en la tabla 19 y tabla 20 se especifican unas normas para el control del concreto y la precisión de la NTC

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

673 respectivamente, tomando el valor del coeficiente de variación calculado anteriormente para cada adicción de fibra.

Tabla 19. Normas de Control

PRODUCCIÓN GENERAL - VARIACIÓN TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	Desviación Estándar para Diferentes Grados de Control en (Kg/cm ²) (Coeficiente de Variación para Diferentes Grados de Control en %)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Pruebas de Control de Campo	Menor de 25 (Menor de 10)	25 - 35 (-)	35 - 40 (10 - 15)	40 - 50 (15 - 20)	Mayor de 50 (Mayor de 20)
Mezcla de Prueba de Laboratorio	Menor de 15 (Menor de 5)	15 - 17 (-)	17 - 20 (5 - 7)	20 - 25 (7 - 10)	Mayor de 25 (Mayor de 10)

Fuente: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del Mortero*. 2a. Edición. Santa fe de Bogotá, 1991, 349p.

Tabla 20. Precisión del ensayo NTC 673

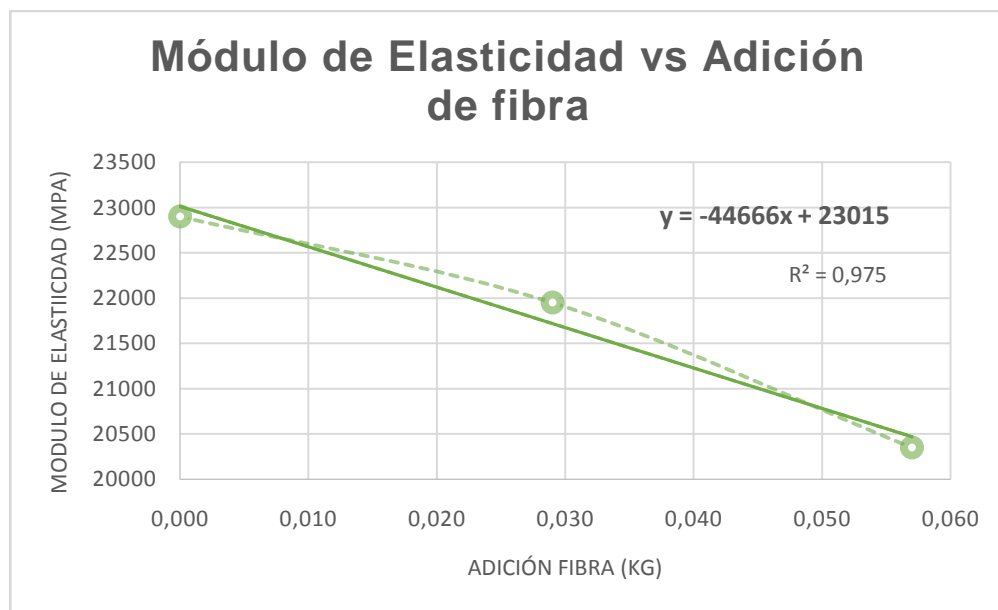
	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 cilindros	3 cilindros
150 mm por 300 mm (6 pulgadas por 12pulgadas)			
Condiciones de laboratorio	2.4%	6.6%	7.8%
Condiciones de obra	2.9%	8.0%	9.5%
100 mm por 200 mm (4 pulgadas por 8 pulgadas)			
Condiciones de laboratorio	3.2%	9.0%	10.6%

Fuente: NTC 673 2010-02-17 *Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndrico de concreto*.

En base a las anteriores tablas se puede deducir que el concreto diseñado, fabricado y ensayado tiene un control de calidad excelente, ya que el coeficiente de variación máximo es de 3.5% y respecto a la precisión que exige la normatividad colombiana los resultados cumplen.

En la rigidez de las muestras no se observa cambios notables por agregar fibras, se presenta un comportamiento similar al de concreto sin adicción lo cual no es lo esperado porque si aumentara la rigidez en el concreto influiría positivamente en las deflexiones, derivas y rigidez de la estructura.


Figura 20. Grafica comparativa Modulo de elasticidad vs adición de fibras.



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar [Figura 19], que los módulos de elasticidad de la muestras con adición de fibras presentan un comportamiento inversamente proporcional obteniendo valores por debajo del módulo de elasticidad del concreto convencional. El espécimen de 0.057kg disminuye un 12%.

Además, en la anterior gráfica los resultados de los ensayos determinan una variación del módulo de elasticidad con respecto a las proporciones de fibra PET

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

de la siguiente manera: entre menor cantidad de PET se adicione a la mezcla, la deformación unitaria elástica crece en menor proporción que los esfuerzos, por lo tanto, el valor de las ordenas se encuentra en aumento.

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN

En la tabla 21 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la polarización lineal, donde aparecen los parámetros electroquímicos como: i_{corr} , resistencia a la polarización lineal (RPL) y velocidad de corrosión (V_{corr}) para los especímenes en estudio.

Tabla 21. Resultados RPL a 28 días.

Contenido de fibras (kg)	i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	RPL ($\Omega.cm^2$)	V_{corr} (mpy)
0	7	3.71	0.903
0.029	5.5	4.73	0.709
0.057	4.5	5.78	0.581

Fuente: Elaboración propia

Según (López, Pérez et al. 2006) se puede clasificar el nivel de corrosión basados en la densidad de corriente con la siguiente tabla:

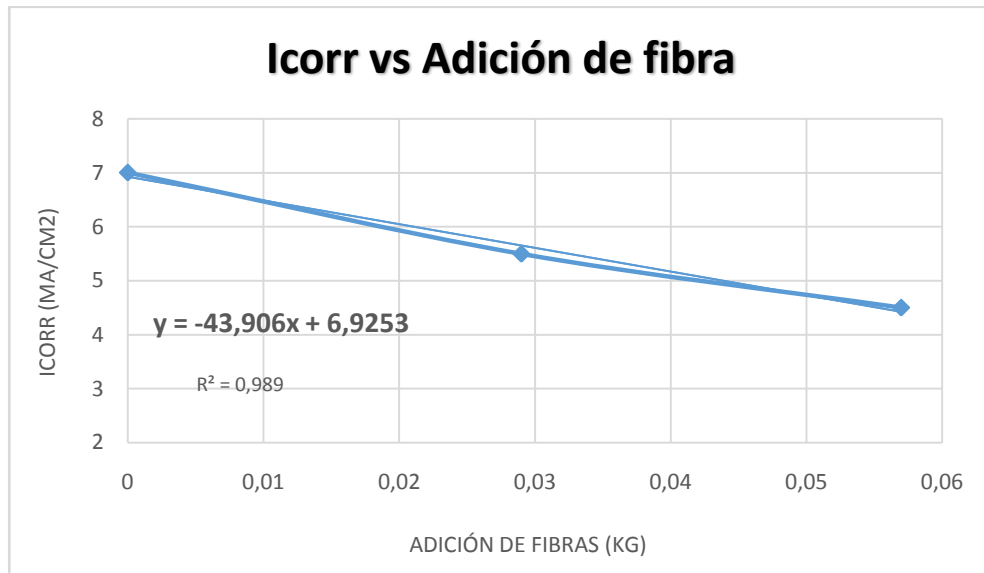
Tabla 22. Nivel de corrosión de acuerdo a la densidad de corriente.

Densidad de corriente i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	Nivel de Corrosión
<0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderado
0.5 – 1	Elevado
>1	Muy elevado

Fuente: LÓPEZ, Pérez et al. 2006

De acuerdo a la tabla 22 se elabora una gráfica para comparar el nivel alcanzado por cada espécimen.

Figura 21. Icorr vs adición de fibras.

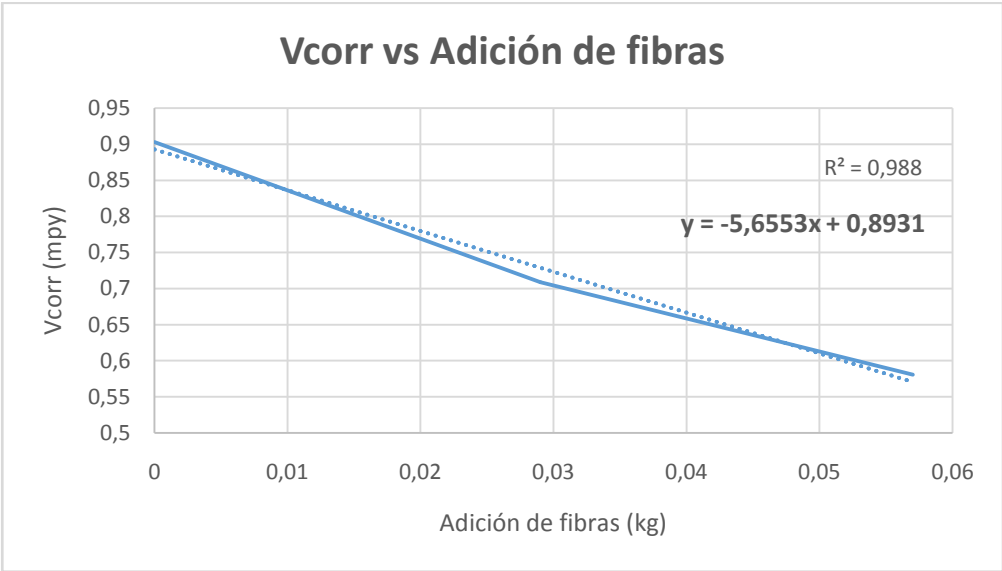


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la gráfica anterior se muestra la variación de la densidad de corriente de los distintos tipos de probetas, encontrando que las muestras presentan un valor **muy elevado**, se presenta una relación inversamente proporcional donde entre más proporción de fibra menor es la densidad de corriente. Las probetas de 0.057 kg disminuyeron un **36%** en comparación con el concreto convencional, es decir, que “estas muestras de Icorr 4.5 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (45 $\mu\text{A}/\text{año}$ de penetración homogénea) se puede calcular que en caso de ataque localizado, la máxima profundidad de picaduras será de 450 $\mu\text{A}/\text{año}$ ”⁵².


⁵² ASTM G109 - 07 Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments

Figura 22. Vcorr vs adición de fibras.



Fuente: Elaboración propia

Según lo observado en la [figura 21] la velocidad de la corrosión presenta un comportamiento decreciente, cuyos resultados son favorables porque la velocidad de corrosión indica la pérdida de peso que ha experimentado el metal en contacto con un medio corrosivo. La mínima velocidad de corrosión es alcanzada por la probeta de 0.057 kg a 0.581 mpy (0.01475 mm/año), lo cual indica, que de mantenerse constante esta velocidad en aproximadamente 70 años se esperaría según la técnica de RPL un deterioro de 1 mm en el radio de la varilla (2mm en el diámetro). Por otro lado la mayor velocidad la consigue las muestra de concreto convencional con 0.907 mpy (0.02293 mm/año) que muestran, posteriormente de las suposiciones hechas, un deterioro de 1 mm del radio de la varilla en 44 años. Una contraste notable cuando se habla de durabilidad.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------


7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Respecto a los ensayos mecánicos ejecutados, la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad al utilizar fibras PET como aditivo para el concreto, no mejoró notablemente estas propiedades mecánicas, dado que el diseño de mezcla realizado era para una resistencia de 28 MPa, sin embargo se obtienen resultados mayores con el uso de las fibras, ya que el concreto sin ellas presenta una resistencia de 24 MPa y el máximo valor obtenido fue de 29 MPa con una cantidad de fibras de 0.029 kg lo cual muestra un aumento del 21% en la resistencia de la compresión.

Caso contrario ocurre con el módulo de elasticidad, puesto que a mayor cantidad de fibras menor es la rigidez, decreciendo el 12% comparado con el concreto simple, lo cual es ocasionado porque el módulo de elasticidad de las fibras es menor que el del concreto y por ende las fibras no contribuyen en nada a esta propiedad. En conclusión, a mayor cantidad de fibra PET, se evidencia una disminución en el módulo de elasticidad.


- El contenido de fibras PET tiene una influencia directa con la eficacia de las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, puesto que una mayor cantidad de fibra es perjudicial para la resistencia obteniendo menores valores a las del concreto normal. Por lo anterior el comportamiento óptimo se presentó en las muestras que contenían 0.029 kg de aditivo.
- Los ensayos realizados determinaron que el módulo de elasticidad con respecto a la cantidad de fibra PET son inversamente proporcionales, puesto que, a mayor cantidad de aditivo en la mezcla, la deformación unitaria elástica crece en mayor proporción que los esfuerzos, por lo cual a una cantidad nula de aditivo se generó un mayor módulo de elasticidad.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

- Posiblemente no se obtuvieron los valores de resistencia deseados por el diseño de mezcla por los tipos de materiales usados, la marca del proveedor y la garantía de calidad de los mismos. Sin embargo, se puede demostrar que no ocurrió por la elaboración de muestras y ejecución de los ensayos puesto que se calculó la precisión de estos y dio un valor aceptable.
- La técnica electroquímica de la resistencia a la polarización es muy útil porque nos permite medir el fenómeno de la corrosión y la velocidad con la que esta se desarrolla. Las muestras se deterioran 1mm del radio de la varilla en 70 años con una cantidad de fibras de 0.057 kg lo cual determina la vida útil del material y contribuir a la durabilidad de las estructuras donde se desee usar.
- Probablemente la velocidad de corrosión disminuye con una mayor cantidad de fibras porque impiden la penetración de los cloruros en el concreto actuando como una barrera impermeable y por ende logra ser un efectivo aditivo en la prevención de la corrosión.

7.2 RECOMENDACIONES


- Se recomienda investigar y experimentar con otras cantidades de fibras PET en la mezcla de concreto, de tal manera conseguir menores valores de velocidad de corrosión y así contribuir en el fenómeno de la corrosión
- Durante el proceso de caracterización de agregados se recomienda una granulometría combinada de agregado, asociada con un contenido constante de cemento y consistencia, la cual desarrollará una relación agua-cemento más eficiente y de mayor resistencia.
- Es recomendable verificar y conocer los procesos para la ejecución de cada ensayo de acuerdo a la norma establecida, también revisar el

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

funcionamiento de los equipos a emplear, lo anterior permitirá obtener resultados óptimos y favorables para el análisis.

- Debido a que las fibras PET disminuyen la trabajabilidad al concreto es recomendable que estas se distribuyan progresivamente y no se aglomeren quedando separadas unas de otras y si es posible usar un plastificante para tener un mejor manejabilidad y homogeneidad en la mezcla.
- En esta investigación se usó las ecuaciones de Stern- Geary para hallar la resistencia a la polarización de la unión concreto-acero, no obstante G. Song dice “Aun así si la ecuación Stern- Geary fuera aplicable y los valores B aceptables (típicamente entre 25-52 Mv), se introducirán errores en el cálculo de velocidad de corrosión debido al efecto de sobre o subconfinamiento del anillo guarda”⁵³. Por lo cual se recomienda profundizar más en el estudio de esta técnica electroquímica y así lograr una estimación más acertada de la velocidad de corrosión del acero embebido en concreto.

⁵³ G.Song. Cement and Concrete Research, 407-415 (2000).

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

BIBLIOGRAFÍA

ALANI, Aktham H, et al. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC). En: Construction and Building Materials. Marzo, 2019, vol.209, p.395-405.

ÁLVAREZ, Miguel, et al. Desarrollo de la técnica de pulso galvanostático para medición de corrosión sobre la interfase concreto-acero. En: Scientia et Technica Año XIII. Septiembre, 2007, vol. 1, no. 36. ISSN 0122-1701

A.Hidalgo, et al. Microstructure of the system calcium aluminate cement-silica fume: application in waste immobilization [en línea]. Octubre, 2007. Disponible en < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167299107810391> >

ASOCRETO, Argos Agregados pétreos en la mezcla de concreto. [en línea] Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>


ASM Metals Handbook, Volume 13, Corrosion, 9th Edition

ASTM International, ASTM G59 – 14. Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements

ASTM G109 - 07 Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments.

Boletín de ingeniería EB201, Diseño y control de mezcla de concreto-Cap. 2- Cementos portland, cementos adicionados y otros cementos hidráulicos-Steve H. Kosmatka, Bearix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi, pág. 69

Boletín de ingeniería EB201, Diseño y control de mezcla de concreto-Cap. 5- Agregados para concreto Steve H. Kosmatka, Bearix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi, pág. 114

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Boletín de ingeniería EB201, Diseño y control de mezcla de concreto-Cap. 5- Agregados para concreto Steve H. Kosmatka, Bearix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi, pág. 115

BUI, Ngoc Kien, et al. Recycling woven plastic sack waste and PET bottle waste as fiber in recycled aggregate concrete: An experimental study. En: Waste Management. Mayo, 2018, vol. 78, p. 79-93.

CORRAL H, Ramón, et al. Corrosión por cloruros del acero de refuerzo embebido en concreto con agregado grueso reciclado y materiales cementantes suplementarios. En: Revista Ingeniería de Construcción. [en línea]. Abril, 2013. vo.28, no.1. p.21-35.

CRAWFORD, Christopher Blair y QUINN Brian. Microplastic Pollutants .The biological impacts and effects of contaminated microplastics [en línea]. Diciembre, 2016.p. 159-178. <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128094068000074>>


CYTED, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, 8, Tercera Edición. Maracaibo, Venezuela. Agosto 2000. p. 13-14, p.21,p. 38-40 ISBN 9802965413, 9789802965410

DEL VALLE MORENO, Angélica, et al. El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado [en línea]. Secretaria de comunicaciones y transporte, 2001, no. 182.ISSN 01887297. Disponible en <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt182.pdf>

Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, 2da Edition, 1996

Diseño y ensayo de fibras plásticas recicladas para refuerzo de mortero- Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos, Instituto de Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario (M5502KFA), Casilla de correo 405, Mendoza, Argentina *Autor para correspondencia:

FRATERNALI, Fernando, SPADEA, Saverio, BERARDI, Valentino P. Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	--

cement-based concretes. En: Construction and Building Materials. Abril, 2014, vol.61, p.293–302.

GIRÓN, Humberto. Ataque por cloruros en el concreto [en línea]. Octubre, 1998 . Disponible en < <http://www.imcyc.com/revista/1998/oct/ataque.htm>>

Greenspec. Aggregates for concrete.2019 [en línea] Disponible en <http://www.greenspec.co.uk/building-design/aggregates-for-concrete/>

G.Song. Cement and Concrete Research, 407-415 (2000).

Huanca, Samuel. Diseño de mezclas de concreto. En: Universidad Nacional del Antiplano. Marzo, 2006

Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. Concr. cem. investig. desarro vol.2 no.2 México ene./jun. 2011.

J. R. Galvele & G. S. Duffó, Degradación de Materiales - Corrosión.


KOO, Bon-Min, et al. Material and Structural Performance Evaluations of Hwangtoh Admixtures and Recycled PET Fiber-Added Eco-Friendly Concrete for CO2 Emission Reduction. En: Materials. Agosto 2014, vol. 7, p.5959-5981; doi: 10.3390/ma7085959 ISSN 1996-1944.

KOSMATKA, Steven H, et al. Diseño y control de mezclas de concreto.2004 Portland Cement Association, ISBN 089312-233-5

LA MANTIA, Francesco. Handbook of Plastics Recycling. Chemical recycling, 2002, Rapra Technology limited. p.297. ISBN: 1-85957-325-8

LAMUS, Fabián y ANDRADE, Sofía. Concreto reforzado: Fundamentos. Agosto, 2015. Ecoe ediciones.p.25. ISBN 9789587712636

MENDOZA, Carlos Javier; AIRE, Carlos, y DÁVILA, Paula. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. En: Concreto y cemento: Investigación y desarrollo. Enero – Junio, 2011, vol. 2, no. 2. p. 35-47. ISSN: 2007-3011

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	--

MIHASHI, Hirozo, AHMEDY, Shaikh Faiz Uddin y KOBAYAKAWA, Ayuko. Corrosion of Reinforcing Steel in Fiber Reinforced Cementitious. Junio, 2011 En: Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 9, no. 2.p. 159-167.

MONTANI, Rick. La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. En: Revista Construcción y Tecnología. Diciembre, 2000. Disponible en <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>

M.S.J, Gani. Cement and concrete.1997 Chapman & Hall, p. 65. ISBN 0412790505

Nace Corrosion Engineer's Reference Book, Third Edition, 2002.

National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). Concrete in practice: Curing in place concrete [en línea]. Disponible en <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/11p.pdf>

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5721 2009-10-21 Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de energía (tenacidad) de concreto reforzado con fibra.


NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 221 2011-10-19 Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.PDF

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 237 Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.PDF

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 92 Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados.PDF

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1377 Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio. PDF.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 396 Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.PDF

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

Osorio, Jesus David. ARGOS. [En línea] 19 de Enero de 2011. Disponible en <<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>>

PRUCKNER, F. Corrosion and Protection of Reinforcement in Concrete Measurements and interpretation, Tesis para optar por el título de Doctorado de la Universidad de Viena. Mayo, 2001.

RAHARINAIVO, Andre y GENIN, Jean-Marie. On the corrosion of reinforcing steels in concrete in the presence of chlorides. En: Materiales de construcción CSIC. [en línea]. Octubre – Diciembre, 1986, vol.36, no.204. p.5-6. Disponible en <<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/881>>

ROBERTSON G.L. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. Food Packaging. [en línea], Elsevier. Agosto, 2014.p. 232-249. Disponible en <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444525123000632>>

RODRÍGUEZ, Francisco. Técnicas electroquímicas de corriente directa para la medición de la velocidad de la corrosión: resistencia a la polarización. (Dep. ing. metalurgia, facultad de Química, UNAM.). 2000


ROJAS MOYA, Gustavo. Evaluación de estructuras de concreto por corrosión. En: Tecnología en Marcha. Octubre-Diciembre 2008, vol. 21, no. 4.p.69-78.

SALVADOR, Renan Pícolo. Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras [en línea]. São Paulo : Escola Politécnica, University of São Paulo, 2012. Master's Dissertation in Engenharia de Construção Civil e Urbana.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero.2001.BHANDAR EDITORES LTDA. Quinta edición.p.19.ISBN958-9247-04-0

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del Mortero. 2a. Edición. Santa fe de Bogotá, 1991, 349p.

SERRANO, Carlos. Reciclaje de PET para fabricación de botellas. [en línea]. En: Tecnología del plástico. Noviembre, 2004 [citado 14 Agosto 2019] Disponible en <

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	--

<http://www.plastico.com/temas/Reciclaje-dePET-para-fabricacion-de-botellas+3034432>>

SIKA COLOMBIA SAS. Concreto, concreto reforzado con fibras. Agosto, 2014. Vol. 194

UMAÑA, FM. Informe descripción de las propiedades físicas del cemento hidráulico empleado en la elaboración de concreto hidráulico. 2017. Academia.edu

THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C-125 Op.Cit P. 1

The Free Dictionary. “definición de concreto”.[en línea] 2012. Disponible en <https://es.thefreedictionary.com/corrosi%C3%B3n>>

TORRES GÓMEZ, Robinson, et al. Estudio de la corrosión del acero embebido en concreto AAS sometido a cloruros. En: DYNA. Junio, 2009, vol. 77, no. 164, p. 52-59, ISSN 0012-7353.


Trabajo de investigación Caracterización física de agregados pétreos para concretos, Universidad Católica de Colombia, pág. 10-15.

TROCÓNIS DE RINCÓN, Oladis y miembros de la Red DURAR. Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado. CYTED. Agosto, 2000- Tercera Edición. Maracaibo, Venezuela. p. 13-14.

TUKKER, A. Plastics Waste: Feedstock Recycling, Chemical Recycling and Incineration. Rapra Technology limited 2002.vol.13.






TUUTTI, Kyösti. Corrosion of Steel in Concrete. En: Swedish Cement and Concrete Research Institute. 1982, Suecia.p.56-60. ISSN 0346-6906.

Twenergy. (2012). Reciclado de Plástico. Disponible en <https://twenergy.com/a/reciclado-de-plasticos-542>


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

ANEXOS


ANEXO A. Caracterización del cemento

	
<p>Fotografía 1: Muestra de cemento hidráulico</p>	<p>Fotografía 2: Adición de queroseno en el frasco de Le Chatelier.</p>
	
<p>Fotografía 3: Toma de datos para determinar la densidad de la muestra</p>	<p>Fotografía 4: Cemento hidráulico en el frasco patrón de Le Chatelier.</p>
	
<p>Fotografía 5: Rotación del frasco de Le Chatelier</p>	


Fuente: *Elaboración propia*

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

ANEXO B. Caracterización de agregados pétreos I


	
<p>Fotografía 6: Muestra de agregados para tamizado</p>	<p>Fotografía 7: Serie de tamices con muestra (agregado fino y grueso)</p>
	
<p>Fotografía 8: Muestra agregado fino</p>	<p>Fotografía 9: Muestra agregado grueso</p>
	
<p>Fotografía 10: Agregado sumergido durante 24 horas.</p>	<p>Fotografía 11: Muestra sumergida para secado superficial</p>

Fuente: Elaboración propia


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

	
<p>Fotografía 12: Muestra de agregado fino saturado en picnómetro, para determinar la densidad.</p>	<p>Fotografía 13: Muestra de agregado fino y grueso para secado al horno durante 24 h.</p>
	
<p>Fotografía 14: Muestra de agregado fino y grueso en horno</p>	


Fuente: *Elaboración propia*

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

ANEXO C. Caracterización de agregados pétreos II

	
<p>Fotografía 15: Muestra de agregado fino en secado</p>	<p>Fotografía 16: Muestra de agregado fino para determinación de vacíos entre las partículas</p>
	
<p>Fotografía 17: Molde y varilla para apisonar el agregado grueso</p>	<p>Fotografía 18: Muestra de agregado grueso apisonado para determinación de vacíos entre partículas</p>


Fuente: Elaboración propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

ANEXO D. Fabricación de muestras

	
<p>Fotografía 19: Moldes para los especímenes de concreto.</p>	<p>Fotografía 20: Mezcla de concreto para el curado</p>
	
<p>Fotografía 21: Desencofrado de los especímenes</p>	

Fuente: Elaboración propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO EN CONCRETO REFORZADO</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

ANEXO E. Asentamiento del concreto

	
<p>Fotografía 22: Apisonamiento de 1er capa para ensayo de asentamiento</p>	<p>Fotografía 23: Molde tronco cónico girando, para tomar el asentamiento</p>
	
<p>Fotografía 24: Toma de asentamiento en cono de Slump</p>	<p>Fotografía 25: Flexómetro para la toma de asentamiento.</p>

Fuente: Elaboración propia