

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO ARMADO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Viveiros Andrade, Mariela  
Padrón Faría, Jaime Gabriel

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, 2008

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO ARMADO**

Tutor Académico:  
Prof. Ronald Torres.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Viveiros Andrade, Mariela  
Padrón Faría, Jaime Gabriel

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, 2008

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado “CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO ARMADO”, desarrollado por los bachilleres “MARIELA VIVEIROS ANDRADE Y JAIME GABRIEL PADRÓN FARÍA” para optar al título de Ingeniero Civil, y lo encuentro apropiado tanto en su contenido, como en su formato y apariencia externa.

Considerando que cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, autorizo se proceda a la entrega de los ejemplares respectivos ante el Departamento de Ingeniería “Estructural”, para que sea sometido a evaluación por parte del jurado examinador que le sea designado.

En Caracas, a los 26 días del mes de Mayo del año 2008.

---

Tutor: Prof. Ronald Torres

### ACTA

El día 05 / 06 / 2008 se reunió el jurado formado por los profesores:

Nelson Camacho

Cesar Peñuela

Ronald Torres

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO ARMADO. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Mariela Viveiros Andrade	20	Veinte
Br. Jaime Gabriel Padrón Faría	20	Veinte


Recomendaciones:

---



---

FIRMAS DEL JURADO



## ACTA

Quienes suscriben, integrantes de la totalidad del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: "CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO ARMADO", realizado por la Srta. Viveiros, Mariela C.I. No. 16.346.665 y el Sr. Padrón, Jaime, C.I. No. 14.741.285 Para optar al título de Ingeniero Civil, acordaron por unanimidad solicitarle a las autoridades correspondientes de la Facultad de Ingeniería, tengan a bien otorgar MENCIÓN HONORÍFICA al Trabajo de Grado antes mencionado.

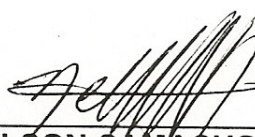
Esta solicitud se hace por considerar que el trabajo es un aporte importante en la caracterización de nuevos materiales para la construcción y permite tener una referencia de las propiedades de las barras de fibra de vidrio (GFRP), los resultados encontrados se pueden incluir en el área específica de diseño de concreto, especificaciones de durabilidad, patología estructural y pueden ser considerados como referencia de uso práctico en la ingeniería en Venezuela.

Se levanta la presente acta en Caracas, a los cinco días del mes de junio de dos mil ocho.



---

**CESAR PEÑUELA**  
Jurado Principal



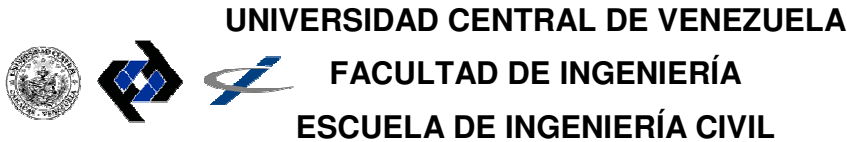
---

**NELSON CAMACHO**  
Jurado Principal



---

**RONALD TORRES**  
Tutor



**PLANILLA DE EVALUACIÓN – TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**TITULO T.E.G.: CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO ARMADO**

Estudiante: Padrón F, Jaime G.

Fecha de presentación:

DOCUMENTO		Calificación	%	Nota
1	Definición del problema y marco teórico		20	20
2	Metodología		10	20
3	Recopilación y ordenamiento de la información		10	20
4	Análisis de la información		20	20
5	Conclusiones y recomendaciones		15	20
6	Bibliografía		5	20
7	Redacción		20	20
<b>Calificación documento</b>				20
<b>Porcentaje</b>				<b>60</b>
<b>Total proveniente del documento</b>				12

EXPOSICIÓN		Calificación	%	Nota
a	Orden		25	20
b	Claridad		10	20
c	Capacidad de síntesis		20	20
d	Presentación Audiovisual		25	20
e	Respuesta a las preguntas		20	20
<b>Calificación exposición</b>				20
<b>Porcentaje</b>				<b>40</b>
<b>Total proveniente de la exposición</b>				8

<b>Calificación</b>	<b>20</b>
---------------------	-----------



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PLANILLA DE EVALUACIÓN – TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**TITULO T.E.G.: CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO ARMADO**

Estudiante: Padrón F, Jaime G.

Fecha de presentación:

DOCUMENTO		Calificación	%	Nota
1	Definición del problema y marco teórico		20	20
2	Metodología		10	20
3	Recopilación y ordenamiento de la información		10	20
4	Análisis de la información		20	20
5	Conclusiones y recomendaciones		15	20
6	Bibliografía		5	20
7	Redacción		20	20
<b>Calificación documento</b>				20
<b>Porcentaje</b>				<b>60</b>
<b>Total proveniente del documento</b>				12

EXPOSICIÓN		Calificación	%	Nota
a	Orden		25	20
b	Claridad		10	20
c	Capacidad de síntesis		20	20
d	Presentación Audiovisual		25	20
e	Respuesta a las preguntas		20	20
<b>Calificación exposición</b>				20
<b>Porcentaje</b>				<b>40</b>
<b>Total proveniente de la exposición</b>				8

<b>Calificación</b>	<b>20</b>
---------------------	-----------

## **DEDICATORIA**

Este trabajo Especial de Grado se lo dedico a Dios por iluminarme el camino a seguir en todo momento.

A mis padres por hacer hasta lo imposible porque yo pudiera alcanzar esta meta, ser Ingeniero Civil.

A mis hermanos por apoyarme y estar conmigo siempre que los necesite.

A mis amigos, los auténticos, por ser como mi familia cuando estoy lejos de ella, y por confiar en mi en todo momento, especialmente Denis Boret.

Y a mi hermanito Carlitos, por ser un ejemplo a seguir, eres mi orgullo.

**Mariela Viveiros A.**



## **DEDICATORIA**

Este trabajo especial de grado, que representa el final de una etapa maravillosa de gran crecimiento en mi vida, y a su vez el principio de mi carrera profesional, se lo dedico a mis padres María Rosalía y Jaime Ramón; el amor incondicional y el ejemplo que me dieron ha sido mi fortaleza y mi guía, gracias a ustedes soy lo que soy, los amo !.

Se lo dedico a mis hermanos; en primer lugar a mi morocho Fernando, has sido mi gran compañero y amigo de la vida, ahora también somos colegas y me llena de orgullo poder compartir esta nueva etapa contigo. A mis hermanos mayores Jaime Leo y Joaco, mis amigos del ejemplo, ustedes han sido mi patrón a seguir.

A mi abuela Nana, has sido el pilar de una hermosa familia y me has brindado el mas tierno amor y afecto, espero te sientas muy orgullosa de tus nietos.

Por último y el más importante de todos, a Dios, me has puesto en la más bella y hermosa familia y en el camino has hecho que me tope con los mejores amigos. Gracias.

**Jaime Gabriel Padrón Faría**

## **AGRADECMIENTOS**

En primer lugar le agradezco a Dios por todo lo que tengo y he logrado hasta ahora, y por haberme escuchado y ayudado en todo momento y a lo largo de toda mi vida. De verdad Gracias Diosito.

Les doy gracias a mis padres, por darme la vida y la crianza que me han dado con tanto amor, a eso le debo lo que soy hoy. Gracias por darme esa confianza que me ha ayudado tanto a seguir adelante, por apoyarme aun sin comprenderme, por respetar mis decisiones y acciones, sé que no se les ha hecho muy fácil y sin embargo siempre han estado conmigo. Los amo!

A mis queridísimos hermanos, por ser mi guía en tantos momentos, porque siempre que lo necesité me escucharon y en todo momento me apoyaron, por haber sido hermanos, amigos y en ocasiones como unos padres para mi.

A Carlitos, mi gorro bello, por ser un hombre tan especial. Eres gran parte de mi inspiración, eres mi orgullo y el de toda la familia. Gracias por todo hermanito. Te amo!

Gracias al Dios "Bati" por haber puesto en mi camino al más fiel de sus discípulos, mi Bubi. No existen palabras que expresen lo especial que eres y serás eternamente para mi; has sido una bendición en mi vida y te debo lo mejor que soy. Definitivamente, sé que en la vida he tenido mucha suerte, pero conocerte fue todo un éxito. Gracias totales por tu dedicación. TTM.

A los Córdoba Sosa y afines, en especial a Mimita y a Zaida; por hacerme sentir en familia, lo cual es todo un honor. De igual forma para Frank Boret y familia, por brindarme tanto cariño aún sin conocerme.

Gracias a mi primita bella Carina, porque te siento siempre a mi lado a pesar de las distancias. Eres la mejor prima del mundo.

A Mariselita, por ser la mejor cosecha de amistad del liceo y la ahijada más bella. Porque ni el tiempo ni la distancia entorpecerá nuestra amistad.

A mi ami hermosa, Lilín “mas bella y me mato”, por los maravillosos cafés de las 5 y por tu sincera e incondicional amistad. Eres un amor de persona ami ;-)

A la bella Joha, por brindarme desde el principio la dicha de contar con su valiosa amistad.

A mi Suki bella y hermosa, por la confianza que depositaste en mí desde el principio, por tu sincera amistad, por tu rebotante alegría y grata compañía.

A Veru, Liss, Alvarito, Bellggis, Forsyth, Wadiht, entre otros, por la amistad y el gran apoyo que me brindaron en la escuela y fuera de ella.

A Rosanita (mi flaca vitola), William Cuao, Capito, Majo, Eddie, Albertico (tico), Maripepi y Fenelix, mi familia de Cagua, que desde el Núcleo he podido disfrutar de su excelente compañía.

A Fava, Pedro (háblame) y Luismi, los mecánicos que mas quiero.

A los profesores Víctor León, Isabel García (UCV Núcleo Cagua), Eduardo Martínez, Javier López y Jesús Hernández (Chuchu), por ser los mejores profesores que he tenido y por su apoyo a lo largo de toda mi carrera.

Gracias a Isa, en su casa tuve un hogar de verdad, por su sincera amistad y grata compañía junto con Migue. Son lindos recuerdos que tengo de ustedes.

Y por supuesto, a mi compañero de Tesis, Gabito. Definitivamente el mejor. Gracias por tu paciencia y apoyo en todo momento. Fue todo un placer trabajar contigo. Gracias amigo!

Y no podría faltar la bellísima Gina, cuya colaboración durante toda la Tesis fue de muchísima ayuda. Gracias por ser tan linda persona y excelente amiga.

Gracias a los profesores César Peñuela y Nelson Camacho, a Elione y los demás técnicos del IMME, por todo su apoyo y dedicación en la realización de este Trabajo Especial de Grado; y al Prof. Ronald Torres por brindarnos un excelente tema de Tesis, además de su ayuda y paciencia durante el desarrollo de la misma.

A la Prof. María Korody, gracias por su buen asesoramiento cada semestre durante mi paso por la escuela.

Y a todos los que olvido mencionar pero que saben lo son especiales para mí.

**Mariela Viveiros A.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco profundamente a Dios, nunca dejaste que perdiera la fe en mi mismo, siempre estuviste a mi lado y me diste fortaleza.

A mis padres, que me dieron todo lo necesario y mas para que pudiera llevar adelante mis estudios universitarios, lo más valioso fue el apoyo y los buenos consejos, gracias mamá y papá.

Al profesor Ronald Torres, nuestro tutor en este trabajo especial de grado, al profesor César Peñuela y a todo el personal técnico del IMME, el apoyo técnico brindado hizo posible esta tesis de grado.

A mi profesora asesora Celia Herrera, gracias por la confianza y el apoyo prestado a lo largo de la carrera.

A mis amigas Veru y Lisette, lo mejor que me pudo pasar al entrar a la universidad fue haberlas tenido a mi lado, gracias por abrirme las puertas de su corazón incondicionalmente y por dejarme compartir con sus familias, sus madres fueron madres para mí.

A mis amigos Rubén, Krishna, Leonardo, Roberto, José Antonio, Carolina, mi primo Augusto y mi hermano Fer; siempre aportando el oxígeno cuando las presiones universitarias asfixiaban.

A Gina, mi novia; gracias por el amor y el apoyo que me brindaste durante la elaboración de este trabajo especial de grado. Lograste que todo fuera más simple.

A mis amigos y compañeros de la universidad, especialmente a mi bellísima compañera de tesis Marielita, a Simón, el Libanés, Vanner, Alejandro, Suki, Johana, Alesia, Luis Felipe, y Héctor, además de el constante apoyo académico, hicieron de la universidad un segundo hogar. Gracias amigos !.

A el resto de los amigos que no nombre pero de alguna u otra forma me los tope en el camino, siempre tuvieron algo que dar, gracias.

**Jaime Gabriel Padrón Faría**

**Viveiros A. Mariela.**

**Padrón F. Jaime G.**

**CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESTUDIOS DE DURABILIDAD Y  
ADHERENCIA DE LAS BARRAS REFORZADAS DE FIBRA DE  
VIDRIO UTILIZADAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO  
ARMADO**

**Tutor Académico: Prof. Ronald Torres**

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.**

**Escuela de Ingeniería Civil. 2008, 121 pág. (ciento veintiún páginas).**

**Palabras Clave:** Caracterización, Durabilidad, Corrosión, Adherencia, Concreto Armado, Fibra de Vidrio, Acero.

El material que tradicionalmente se ha utilizado como refuerzo en el armado del concreto ha sido el acero, esto por sus notables propiedades físicas y el excelente comportamiento que ofrecen ambos materiales actuando en conjunto, pero es un material muy sensible a los ataques corrosivos que terminan degradándolo rápidamente; así es como a mediados de los ochenta se comienza a trabajar con barras GFRP en la industria de la construcción buscando una alternativa para superar la deficiencia del acero frente a los problemas de corrosión y otros fenómenos que disminuyen la vida útil de la estructura por el ataque electroquímico que ejercen sobre el acero.

Las barras GFRP son un material compuesto de una matriz de polímero reforzada con fibras de vidrio, el resultado es un tercer material con excelentes propiedades físicas que lo hacen idóneo para el campo de la construcción. Su principal campo de aplicación ha sido en estructuras que deban soportar el ataque

constante de agentes corrosivos en las que la utilización del acero traería como consecuencia una reducción en la vida útil de la estructura y elevados costos por mantenimiento.

El estudio que se presenta a continuación tiene por objeto la evaluación y caracterización de barras GFRP para ser utilizadas como refuerzo en el concreto armado, mediante pruebas de durabilidad que simulen ambientes altamente corrosivos y ensayos de adherencia que evalúen su interacción con el concreto.

Los ensayos de durabilidad aplicados fueron los de exposición en ambientes ácidos y alcalinos durante un período de 40 semanas (10 meses) y ciclos de calor-humedad (5 ciclos). Para simular los ambientes ácidos se utilizaron Ácido Clorhídrico (HCL) al 5% y 10%, Ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) al 5% y al 20 % y Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 5% y 10%; en el caso de los ambientes alcalinos se uso Cloruro de Sodio (NaCL) al 3% y al 10%, Hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) al 3% y al 10% e Hidróxido de Sodio (NaOH) al 5% y al 20%; se llevó un control de la variación del diámetro, peso y longitud una vez por semana para cuantificar el ataque físico y luego se realizaron pruebas de tracción a cada barra para cuantificar el desgaste en sus propiedades mecánicas. Adicionalmente se realizó el mismo ensayo por un período de 12 semanas (3 meses) a barras de acero de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro para obtener un patrón de comparación entre los materiales bajo las mismas características de exposición. El ensayo de extracción se realizó en tres muestras de barras GFRP de  $\frac{5}{8}$ " de diámetro y tres de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro; el mismo se efectuó según la norma COVENIN 1667-80.

Los estudios de durabilidad demostraron la capacidad de las barras GFRP para soportar ataques de agentes corrosivos sin cambiar significativamente sus propiedades físicas, a diferencia de la gran susceptibilidad demostrada por el acero con una exposición más corta ante los mismos agentes. Para el caso del estudio de adherencia, se determinó que las barras GFRP ofrecen una capacidad de adherencia del 60% de los valores característicos del acero.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	3
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2. MARCO REFERENCIAL.....	4
1.3. OBJETIVOS .....	10
1.3.1. Objetivo General.....	10
1.3.2. Objetivos Específicos: .....	10
CAPÍTULO II .....	11
MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL.....	11
2.1.1. Propiedades Físicas: .....	11
2.1.1.1. Densidad:.....	11
2.1.1.2. Coeficiente de expansión térmica: .....	11
2.1.1.3. Efectos de altas temperaturas:.....	12
2.1.1.4. Rotura por fluencia.....	13
2.1.2. Propiedades mecánicas: .....	14
2.1.2.1. Comportamiento a la tracción: .....	14
2.1.2.2. Comportamiento a la compresión: .....	17
2.1.2.3. Capacidad de Adherencia:.....	17
2.1.2.4. Comportamiento al Corte: .....	18
2.2. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	19
2.2.1. Problemas de corrosión:.....	19
2.2.2. Problemas de las ondas electromagnéticas y conducción eléctrica: .	19
CAPÍTULO III .....	20



METODOLOGÍA.....	20
3.1. ESTUDIOS DE DURABILIDAD .....	20
3.1.1. Exposición prolongada de las barras GFRP en ambientes agresivos. 20	
3.1.1.1. Alcance: .....	20
3.1.1.2. Equipos Utilizados.....	20
3.1.1.3. Metodología .....	21
3.1.1.3.1. Montaje del ensayo .....	21
3.1.1.3.2. Compilación de datos.....	23
3.1.2. Exposición a corto plazo de las barras de acero en ambientes agresivos. ....	25
3.1.2.1. Alcance .....	25
3.1.2.2. Equipos necesarios.....	25
3.1.2.3. Metodología .....	26
3.1.3. Estudio de ciclos calor-humedad .....	27
3.1.3.1. Alcance .....	27
3.1.3.2. Equipos utilizados .....	27
3.1.3.3. Metodología .....	28
3.2. ESTUDIO DE ADHERENCIA.....	29
3.2.1. Alcance.....	29
3.2.2. Equipos Utilizados.....	29
3.2.3. Metodología.....	31
3.2.3.1. Preparación de la muestra .....	31
3.2.3.2. Ensayo de extracción.....	34
CAPÍTULO IV .....	36
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	36
4.1. Estudio de durabilidad.....	36
4.1.1. Exposición prolongada en ambientes ácidos de las barras GFRP ....	36

4.1.1.1.	Gráficos tiempo vs. diámetro.....	36
•	Ácido Clorhídrico al 5% .....	37
•	Ácido Clorhídrico al 10% .....	38
•	Ácido Acético al 5%. .....	38
•	Ácido Acético al 20%. .....	39
•	Ácido Sulfúrico al 5%. .....	40
•	Ácido Sulfúrico al 10%. .....	40
4.1.1.2.	Gráficos tiempo vs. longitud .....	41
•	Ácido Clorhídrico al 5% .....	41
•	Ácido Clorhídrico al 10% .....	42
•	Ácido Acético al 5%. .....	43
•	Ácido Acético al 20%. .....	43
•	Ácido Sulfúrico al 5%. .....	44
•	Ácido Sulfúrico al 10%. .....	45
4.1.1.3.	Gráficos tiempo vs. peso.....	46
•	Ácido Clorhídrico al 5% .....	46
•	Ácido Clorhídrico al 10% .....	46
•	Ácido Acético al 5%. .....	47
•	Ácido Acético al 20%. .....	48
•	Ácido Sulfúrico al 5%. .....	48
•	Ácido Sulfúrico al 10%. .....	49
4.1.1.4.	Gráficos Esfuerzo vs Deformación .....	50
•	Ácido Clorhídrico al 5% .....	50
•	Ácido Clorhídrico al 10% .....	51
•	Ácido Acético al 5%. .....	51
•	Ácido Acético al 20%. .....	52
•	Ácido Sulfúrico al 5%. .....	53

•	Ácido Sulfúrico al 10%.....	53
4.1.2.	Exposición prolongada en ambientes alcalinos .....	56
4.1.2.1.	Gráficos tiempo vs. Diámetro .....	56
•	Hidróxido de Sodio al 3%. .....	56
•	Hidróxido de Sodio al 10%. .....	57
•	Cloruro de Sodio al 3%.....	58
•	Hidróxido de Amonio al 3% .....	59
•	Hidróxido de Amonio al 10%. .....	60
4.1.2.2.	Gráficos tiempo vs. longitud .....	61
•	Hidróxido de Sodio al 3%. .....	61
•	Hidróxido de Sodio al 10%. .....	61
•	Cloruro de Sodio al 3%.....	62
•	Cloruro de Sodio al 10%.....	63
•	Hidróxido de Amonio al 3%. .....	63
•	Hidróxido de Amonio al 10%. .....	64
4.1.2.3.	Gráficos tiempo vs. peso.....	65
•	Hidróxido de Sodio al 3%. .....	65
•	Hidróxido de Sodio al 10%. .....	66
•	Cloruro de Sodio al 3%.....	66
•	Cloruro de Sodio al 10%.....	67
•	Hidróxido de Amonio al 3%. .....	68
•	Hidróxido de Amonio al 10%. .....	68
4.1.2.2.	Gráficos Esfuerzo vs Deformacion.....	69
•	Hidróxido de Sodio al 3%. .....	69
•	Hidróxido de Sodio al 10%. .....	70
•	Cloruro de Sodio al 3%.....	71
•	Cloruro de Sodio al 10%.....	71

• Hidróxido de Amonio al 3% .....	72
• Hidróxido de Amonio al 10% .....	73
4.1.3. Exposición a corto plazo de las barras de acero en ambientes agresivos. ....	75
4.1.3.1. Ambientes Ácidos .....	75
• Ácido Clorhídrico (HCl) al 5% .....	75
• Ácido Clorhídrico (HCl) al 10% .....	76
• Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) al 5% .....	77
• Ácido sulfúrico( H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) al 10%.....	77
• Ácido Acético (CH <sub>3</sub> COOH) al 5% .....	78
• Ácido Acético (CH <sub>3</sub> COOH) al 20% .....	79
• Resultados del ensayo a tracción.....	80
4.1.3.2. Ambientes alcalinos .....	81
• Cloruro de Sodio (NaCl) al 3%.....	82
• Cloruro de Sodio (NaCl) al 10%.....	82
• Hidróxido de Sodio (NaOH) al 3% .....	83
• Hidróxido de Sodio al 10% .....	84
• Hidróxido de Amonio (NH <sub>4</sub> OH) al 3% .....	84
• Hidróxido de Amonio (NH <sub>4</sub> OH) al 10% .....	85
• Resultados del ensayo a tracción.....	87
4.2. Estudio de ciclos calor-humedad .....	90
4.2.1. Gráficas de tiempo vs. diámetro .....	90
4.2.2. Gráficas de tiempo vs longitud.....	91
4.2.3. Gráficas de tiempo vs. peso .....	92
4.3. Estudio de Adherencia .....	94
4.3.1. Gráficas de esfuerzo vs deslizamiento .....	94
4.3.1.1. Muestras de 5/8" de diámetro. ....	94

4.3.1.2. Muestras de 1/2" de diámetro. ....	95
4.3.2. Esfuerzo de adherencia.....	96
CAPÍTULO V .....	98
Conclusiones y Recomendaciones .....	98
1.1. Conclusiones.....	98
5.1.1. Durabilidad de las barras GFRP .....	98
5.1.2. Desgaste frente a ciclos de calor-humedad.....	98
5.1.3. Capacidad de adherencia.....	98
5.1.4. Contraste del comportamiento del acero y las barras GFRP en ambientes agresivos .....	99
5.1.5. Ventajas y desventajas de la utilización de las barras GFRP usadas como refuerzo en el concreto armado .....	99
5.1.5.1. Ventajas: .....	99
5.1.5.2. Desventajas: .....	100
1.2. Recomendaciones.....	100
CAPÍTULO VI .....	102
Referencias .....	102
Apéndice .....	106

### LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Propiedades Mecánicas de las barras GFRP, conocidas también como barras "Aslan 100 Vinyl Ester Matrix GFRP. ....	16
Tabla 2.2. Propiedades físicas de las barras GFRP.....	16
Tabla 4.1. Propiedades mecánicas de las barras GFRP sometidas a ambientes ácidos.....	55

Tabla 4.2. Propiedades mecánicas de las barras GFRP garantizadas por el fabricante.....	55
Tabla 4.3. Propiedades mecánicas de las barras sometidas a ambientes alcalinos. ....	74
Tabla 4.4. % de alargamiento de las barras de acero sometidas a ambientes ácidos.....	81
Tabla 4.5. % de alargamiento de barras sometidas a ambientes alcalinos.....	89
Tabla 4.6. Esfuerzo aplicado para 0,1 mm de desplazamiento. Barras Ø 5/8”...	95
Tabla 4.7. Esfuerzo aplicado para 0,1 mm de desplazamiento. Barras Ø 1/2”...	96
Tabla 4.8. Esfuerzo de adherencia de las barras GFRP .....	96
Tabla 4.9. Esfuerzo de adherencia de las barras de acero de diámetro 5/8” y 1/2”. ....	97

### LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1. Curve típica Esfuerzos vs. Deformaciones de barras GFRP. ....	14
Gráfico 4.1. Tiempo vs. Diámetro. HCl 5% - Barra GFRP Ø 5/8”.....	37
Gráfico 4.2. Tiempo vs. Diámetro. HCl 5% - Barra GFRP Ø 1/2”.....	37
Gráfico 4.3. Tiempo vs. Diámetro. HCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8”.....	38
Gráfico 4.4. Tiempo vs. Diámetro. HCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2”.....	38
Gráfico 4.5. Tiempo vs. Diámetro. CH <sub>3</sub> COOH 5% - Barra GFRP Ø 5/8”.....	38
Gráfico 4.6. Tiempo vs. Diámetro. CH <sub>3</sub> COOH 5% - Barra GFRP Ø 1/2”.....	39
Gráfico 4.7. Tiempo vs. Diámetro. CH <sub>3</sub> COOH 20% - Barra GFRP Ø 5/8”.....	39
Gráfico 4.8 Tiempo vs. Diámetro. CH <sub>3</sub> COOH 20% - Barra GFRP Ø 1/2”.....	39

Gráfico 4.9 Tiempo vs. Diámetro. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 5/8".....	40
Gráfico 4.10. Tiempo vs. Diámetro. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 1/2".....	40
Gráfico 4.11. Tiempo vs. Diámetro. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 5/8".....	40
Gráfico 4.12. Tiempo vs. Diámetro. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2".....	41
Gráfico 4.13. Tiempo vs. Longitud. HCl 5% - Barra GFRP Ø 5/8".....	41
Gráfico 4.14. Tiempo vs. Longitud. HCl 5% - Barra GFRP Ø 1/2".....	42
Gráfico 4.15. Tiempo vs. Longitud. HCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8".....	42
Gráfico 4.16. Tiempo vs. Longitud. HCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2".....	42
Gráfico 4.17. Tiempo vs. Longitud. CH <sub>3</sub> COOH 5% - Barra GFRP Ø 5/8".....	43
Gráfico 4.18. Tiempo vs. Longitud. CH <sub>3</sub> COOH 5% - Barra GFRP Ø 1/2".....	43
Gráfico 4.19. Tiempo vs. Longitud. CH <sub>3</sub> COOH 20% - Barra GFRP Ø 5/8".....	43
Gráfico 4.20. Tiempo vs. Longitud. CH <sub>3</sub> COOH 20% - Barra GFRP Ø 1/2".....	44
Gráfico 4.21. Tiempo vs. Longitud. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 5/8".....	44
Gráfico 4.22. Tiempo vs. Longitud. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 1/2".....	44
Gráfico 4.23. Tiempo vs. Longitud. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 5/8".....	45
Gráfico 4.24. Tiempo vs. Longitud. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2".....	45
Gráfico 4.25. Tiempo vs. Peso HCl 5% - Barra GFRP Ø 5/8".....	46
Gráfico 4.26. Tiempo vs. Peso HCl 5% - Barra GFRP Ø 1/2".....	46
Gráfico 4.27. Tiempo vs. Peso HCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8".....	46
Gráfico 4.28. Tiempo vs. Peso HCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2".....	47
Gráfico 4.29. Tiempo vs. Peso CH <sub>3</sub> COOH 5% - Barra GFRP Ø 5/8".....	47
Gráfico 4.30. Tiempo vs. Peso CH <sub>3</sub> COOH 5% - Barra GFRP Ø 1/2".....	47

Gráfico 4.31. Tiempo vs. Peso $\text{CH}_3\text{COOH}$ 20% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	48
Gráfico 4.32. Tiempo vs. Peso $\text{CH}_3\text{COOH}$ 20% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	48
Gráfico 4.33. Tiempo vs. Peso $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	48
Gráfico 4.34. Tiempo vs. Peso $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	49
Gráfico 4.35. Tiempo vs. Peso $\text{H}_2\text{SO}_4$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	49
Gráfico 4.36. Tiempo vs. Peso $\text{H}_2\text{SO}_4$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	49
Gráfico 4.37. Esfuerzo vs Deformación. $\text{HCl}$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	50
Gráfico 4.38. Esfuerzo vs Deformación . $\text{HCl}$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	50
Gráfico 4.39. Esfuerzo vs Deformación. $\text{HCl}$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	51
Gráfico 4.40. Esfuerzo vs Deformación. $\text{HCl}$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	51
Gráfico 4.41. Esfuerzo vs Deformación. $\text{CH}_3\text{COOH}$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	51
Gráfico 4.42. Esfuerzo vs Deformación. $\text{CH}_3\text{COOH}$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	52
Gráfico 4.43. Esfuerzo vs Deformación. $\text{CH}_3\text{COOH}$ 20% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" ....	52
Gráfico 4.44. Esfuerzo vs Deformación. $\text{CH}_3\text{COOH}$ 20% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" ....	52
Gráfico 4.45. Esfuerzo vs Deformación. $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	53
Gráfico 4.46. Esfuerzo vs Deformación. $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	53
Gráfico 4.47. Esfuerzo vs Deformación. $\text{H}_2\text{SO}_4$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	53
Gráfico 4.48. Esfuerzo vs Deformación. $\text{H}_2\text{SO}_4$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	54
Gráfico 4.49. Tiempo vs. Diámetro $\text{NaOH}$ 3% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	56
Gráfico 4.50. Tiempo vs. Diámetro $\text{NaOH}$ 3% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	57
Gráfico 4.51. Tiempo vs. Diámetro $\text{NaOH}$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 5/8" .....	57
Gráfico 4.52. Tiempo vs. Diámetro $\text{NaOH}$ 10% - Barra GFRP $\varnothing$ 1/2" .....	57



Gráfico 4.53. Tiempo vs. Diámetro NaCl 3% - Barra GFRP Ø5 /8” .....	58
Gráfico 4.54. Tiempo vs. Diámetro NaCl 3% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	58
Gráfico 4.55. Tiempo vs. Diámetro NaCl 10% - Barra GFRP Ø5 /8” .....	58
Gráfico 4.56. Tiempo vs. Diámetro NaCl 10% - Barra GFRP Ø1/2” .....	59
Gráfico 4.57. Tiempo vs. Diámetro NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø5 /8” .....	59
Gráfico 4.58. Tiempo vs. Diámetro NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø1/2” .....	59
Gráfico 4.59. Tiempo vs. Diámetro NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø5 /8” .....	60
Gráfico 4.60. Tiempo vs. Diámetro NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø1/2” .....	60
Gráfico 4.61. Tiempo vs. Longitud H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3% - Barra GFRP Ø 5/8” .....	61
Gráfico 4.62. Tiempo vs. Longitud H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	61
Gráfico 4.63. Tiempo vs. Longitud H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 5/8” .....	61
Gráfico 4.64. Tiempo vs. Longitud H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	62
Gráfico 4.65. Tiempo vs. Longitud NaCl 3% - Barra GFRP Ø 5/8” .....	62
Gráfico 4.66. Tiempo vs. Longitud NaCl 3% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	62
Gráfico 4.67. Tiempo vs. Longitud NaCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8” .....	63
Gráfico 4.68. Tiempo vs. Longitud NaCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	63
Gráfico 4.69. Tiempo vs. Longitud NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø 5/8” .....	63
Gráfico 4.70. Tiempo vs. Longitud NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	64
Gráfico 4.71. Tiempo vs. Longitud NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø 5/8” .....	64
Gráfico 4.72. Tiempo vs. Longitud NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	64
Gráfico 4.73. Tiempo vs. Peso NaOH 3% - Barra GFRP Ø 5/8” .....	65
Gráfico 4.74. Tiempo vs. Peso NaOH 3% - Barra GFRP Ø 1/2” .....	65

Gráfico 4.75. Tiempo vs. Peso NaOH 10% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	66
Gráfico 4.76. Tiempo vs. Peso NaOH 10% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	66
Gráfico 4.77. Tiempo vs. Peso NaCl 3% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	66
Gráfico 4.78. Tiempo vs. Peso NaCl 3% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	67
Gráfico 4.79. Tiempo vs. Peso NaCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	67
Gráfico 4.80. Tiempo vs. Peso NaCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	67
Gráfico 4.81. Tiempo vs. Peso NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	68
Gráfico 4.82. Tiempo vs. Peso NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	68
Gráfico 4.83. Tiempo vs. Peso NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	68
Gráfico 4.84. Tiempo vs. Peso NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	69
Gráfico 4.85. Esfuerzo vs Deformación. NaOH 3% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	69
Gráfico 4.86. Esfuerzo vs Deformación. NaOH 3% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	70
Gráfico 4.87. Esfuerzo vs Deformación. NaOH 10% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	70
Gráfico 4.88. Esfuerzo vs Deformación. NaOH 10% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	70
Gráfico 4.89. Esfuerzo vs Deformación. NaCl 3% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	71
Gráfico 4.90. Esfuerzo vs Deformación. NaCl 3% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	71
Gráfico 4.91. Esfuerzo vs Deformación. NaCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	71
Gráfico 4.92. Esfuerzo vs Deformación. NaCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	72
Gráfico 4.93. Esfuerzo vs Deformación. NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	72
Gráfico 4.94. Esfuerzo vs Deformación. NH <sub>4</sub> OH 3% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	72
Gráfico 4.95. Esfuerzo vs Deformación. NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø 5/8" .....	73
Gráfico 4.96. Esfuerzo vs Deformación. NH <sub>4</sub> OH 10% - Barra GFRP Ø 1/2" .....	73

Gráfico 4.84. Tiempo vs. Peso. HCl 5%. Barra de acero Ø 1/2".....	75
Gráfico 4.85. Tiempo vs. Diámetro. HCl 5%. Barra de acero Ø 1/2" .....	76
Gráfico 4.86. Tiempo vs. Peso. HCl 10%. Barra de acero Ø 1/2".....	76
Gráfico 4.87. Tiempo vs. Diámetro. HCl 10%. Barra de acero Ø 1/2" .....	76
Gráfico 4.88. Tiempo vs. Peso. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5%. Barra de acero Ø 1/2" .....	77
Gráfico 4.89. Tiempo vs. Diámetro. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5%. Barra de acero Ø 1/2" .....	77
Gráfico 4.90. Tiempo vs. Peso. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%. Barra de acero Ø 1/2" .....	77
Gráfico 4.91. Tiempo vs. Diámetro. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%. Barra de acero Ø 1/2" .....	78
Gráfico 4.92. Tiempo vs. Peso. CH <sub>3</sub> COOH 5%. Barra de acero Ø 1/2" .....	78
Gráfico 4.93. Tiempo vs. Diámetro. CH <sub>3</sub> COOH 5%. Barra de acero Ø 1/2" .....	78
Gráfico 4.95. Tiempo vs. Diámetro. CH <sub>3</sub> COOH 20%. Barra de acero Ø 1/2" .....	79
Gráfico 4.96. Curva de esfuerzo vs deformación de las barras en ambientes acidos .....	80
Gráfico 4.96. Tiempo vs. Peso. NaCl 3%. Barra de acero Ø 1/2".....	82
Gráfico 4.97. Tiempo vs. Diámetro. NaCl 3%. Barra de acero Ø 1/2" .....	82
Gráfico 4.98. Tiempo vs. Peso. NaCl 10%. Barra de acero Ø 1/2".....	82
Gráfico 4.99. Tiempo vs. Diámetro. NaCl 10%. Barra de acero Ø 1/2" .....	83
Gráfico 4.100. Tiempo vs. Peso. NaOH 3%. Barra de acero Ø 1/2".....	83
Gráfico 4.101. Tiempo vs. Diámetro. NaOH 3%. Barra de acero Ø 1/2" .....	83
Gráfico 4.102. Tiempo vs. Peso. NaOH 10%. Barra de acero Ø 1/2".....	84
Gráfico 4.103. Tiempo vs. Diámetro. NaOH 10%. Barra de acero Ø 1/2" .....	84
Gráfico 4.104. Tiempo vs. Peso. NH <sub>4</sub> OH 3%. Barra de acero Ø 1/2".....	84

Gráfico 4.105. Tiempo vs. Diámetro. NH <sub>4</sub> OH 3%. Barra de acero Ø 1/2" .....	85
Gráfico 4.106. Tiempo vs. Peso. NH <sub>4</sub> OH 10%. Barra de acero Ø 1/2" .....	85
Gráfico 4.107. Tiempo vs. Diámetro. NH <sub>4</sub> OH 10%. Barra de acero Ø 1/2" .....	85
Gráfico 4.109. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Diámetro Muestra N°1 .....	90
Gráfico 4.110. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Diámetro Muestra N°2 .....	90
Gráfico 4.111. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Diámetro Muestra N°3 .....	91
Gráfico 4.112. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°1 .....	91
Gráfico 4.113. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°2 .....	92
Gráfico 4.114. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°3 .....	92
Gráfico 4.115. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°1 .....	92
Gráfico 4.116. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°2 .....	93
Gráfico 4.117. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°3 .....	93
Gráfico 4.82. Ensayo de adherencia. Esfuerzo vs Deslizamiento . Barras Ø 5/8" .....	94
Gráfico 4.83. Ensayo de adherencia. Esfuerzo vs Deslizamiento . Barras Ø 1/2" .....	95

### LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1.1. Fase de construcción del Puente Box Culvert, Rolla MO. USA.....	5
Imagen 1.2. Fase de construcción del Puente Sierrita de la Cruz, Texas. USA.....	5
Imagen 1.3. Fase de construcción del Puente de la Avenida 53. Los Angeles, USA. .....	6
Imagen 1.4. Fase de construcción del Puente Miles Road, Ohio. USA.....	6

Imagen 1.5. Fase de construcción del Puente Franklin County, Virginia. USA. ....	6
Imagen 1.6. Fase de construcción del Puente Trout River, British Columbia. Canadá.....	7
Imagen 1.7.: Estacion CSO Tri Met. Portland, Oregon.....	8
Imagen 1.8.: Estacion Yi Shan. Shanghai .....	8
Imagen 1.9: Estacion Yi Shan. Shanghai .....	8
Imagen 3.1. Recipientes plásticos utilizados para la inmersión de las barras en las soluciones. ....	20
Imagen 3.2. Balanza de apreciación 0,1 gr. ....	21
Imagen 3.3. Barra sumergida en recipiente plástico etiquetado.....	22
Imagen 3.4. Las 24 barras expuestas a los distintos ambientes. ....	23
Imagen 3.5. Medición de las barras con un vernier de 0,002 cm de apreciación ..	23
Imagen 3.6. Medición del peso de las barras, balanza de apreciación 0,1 gr. ....	24
Imagen 3.7. Elaboración del mango de resina para el anclaje del ensayo.....	24
Imagen 3.8 Barra GFRP con mango de resina cubierto de tubo galvanizados .....	25
Imagen 3.9. Recipientes de almacenamiento de las barras de acero. ....	26
Imagen 3.10. Horno industrial, apreciacion 1 °C .....	28
Imagen 3.11. Moldes de probeta de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto.....	29
Imagen 3.12. Flexímetro de reloj, de apreciación 0,01 mm.....	30
Imagen 3.13. Máquina de ensayo universal. ....	30
Imagen 3.14. Suncho en forma de hélice para refuerzo transversal de la probeta. .....	32

Imagen 3.15. En proceso de colocación de resina epóxica, para el agarre de la máquina de ensayo. ....	32
Imagen 3.16. En proceso de colocación de resina epóxica, para el agarre de la máquina de ensayo. ....	33
Imagen 3.17. En proceso de colocación de resina epóxica, para el agarre de la máquina de ensayo. ....	33
Imagen 3.18. Montaje del ensayo de extracción. Probeta en la máquina universal de ensayo sobre goma de neopreno, con flexímetro reloj en su extremo superior para medir el desplazamiento de la barra en la probeta. ....	34
Imagen 3.19. Ensayo de extracción “pull-out” .....	35
Imagen 4.1. Desprendimiento en el cambio de las soluciones del material de las barras .....	86
Imagen 4.2. Desprendimiento en el cambio de las soluciones del material de las barras .....	87
Imagen 4.3. Desprendimiento en el cambio de las soluciones del material de las barras .....	87
Grafico 4.108. Curva de esfuerzo vs deformación de las barras sometidas a ambientes alcalinos.....	88

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

FRP= Polímeros reforzados.

GFRP= Polímeros reforzado con fibras de vidrio.

T<sub>g</sub>= Vidrio-temperatura transición.

$\alpha$ = Relación agua/cemento.

$\beta$ = Relación de los agregados que conforman la mezcla de concreto.

P<sub>A</sub>= Peso del agregado fino (arena) en (Kg).

P<sub>C</sub>= Peso del cemento en (Kg).

P<sub>P</sub>= Peso del agregado grueso (piedra) en (Kg).

P<sub>a</sub>= Peso del agua en (Lts).

IMME= Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.

$f_u$  = Esfuerzo a tracción en (Kg/cm<sup>2</sup>).

F<sub>u</sub> = Carga a tracción registrada por la maquina de ensayo en (Kg).

A<sub>1</sub>= Área de la sección de la muestra en (cm<sup>2</sup>).

E<sub>L</sub>= Módulo de elasticidad en (Kg/cm<sup>2</sup>).

$\epsilon_u$  = Máxima deformación en unidades de longitud.

$f_{fu}^*$  = Esfuerzo a tracción garantizado por el fabricante en (Kg/ cm<sup>2</sup>).

$\epsilon_{fu}^*$  = Módulo de elasticidad por el fabricante garantizado en (Kg/ cm<sup>2</sup>).

F<sub>u</sub><sup>\*</sup> = Carga a tracción garantizada por el fabricante en (Kg).

$E_{LP}$  = Módulo de elasticidad promedio obtenido para todas las barras en (Kg/ cm<sup>2</sup>).

$E^*_L$  = Módulo de elasticidad promedio garantizado por el fabricante en (Kg/ cm<sup>2</sup>).

$f_{fu}$  = Resistencia a tracción de diseño, considerando las reducciones por la condición de exposición en (kg/cm<sup>2</sup>).

$C_E$  = Factor de reducción ambiente, depende del tipo de fibra y las condiciones de exposición.

$f^*_{ffu}$  = Resistencia a la tracción garantizada por el fabricante y se define como la peor resistencia a la tracción menos tres veces por la desviación estándar.  $f^*_{ffu} = (f_{u,ave} - 3\sigma)$  en (kg/cm<sup>2</sup>).

$A_f$  = Área de refuerzo de GFRP en (cm<sup>2</sup>).

$f_f$  = Esfuerzo a la tracción que soportan las barras GFRP con las cargas aplicadas en (kg/cm<sup>2</sup>).

$\Phi$  = Factor de reducción.

$V_{c,f}$  = Capacidad del concreto al corte en un miembro a flexión usando barras de GFRP como refuerzo al corte en (Kg).

$f_{fb}$  = Resistencia en los dobleces en (Kg/ cm<sup>2</sup>).

$r_b$  = Radio interno de curvatura del doblese en (cm).

$d_b$  = Diámetro de la barra de refuerzo en (cm).

$f_{fv}$  = Resistencia a tracción en diseño por corte en (Kg/ cm<sup>2</sup>).



$V_s$  = Resistencia al corte aportado por el acero de refuerzo en (Kg).

$f_y$  = Resistencia a la tracción del acero en (Kg/cm<sup>2</sup>).

$P_v$  = Peso propio en (Kg).

$E_f$  = Módulo de elasticidad garantizado por el fabricante definido como el peor modulo de elasticidad obtenido en los ensayos.  $E_f = E_{f,ave}$  (kg/cm<sup>2</sup>).

$\varepsilon_{cu}$  = Máxima deformación en el concreto.

$f'_c$  = Resistencia del concreto en (Kg/cm<sup>2</sup>).

$\alpha_L$  = Coeficiente de expansión térmica en la dirección longitudinal en ( $\times 10^6 / ^\circ \text{C}$ ).

$\alpha_T$  = Coeficiente de expansión térmica en la dirección transversal en ( $\times 10^6 / ^\circ \text{C}$ ).

$\alpha$  = Desviación estándar.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo especial de grado que se presenta a continuación, tiene como finalidad la caracterización mediante estudios de durabilidad y adherencia de las barras de fibra de vidrio utilizadas como refuerzo en el concreto armado. Este tipo de refuerzo es mejor conocido como barras GFRP por sus siglas en inglés “Glass Fiber Reinforced Polymer”, y actualmente representa una de las alternativas más novedosas y usadas en países desarrollados para sustituir el acero de refuerzo en el concreto armado, debido a ambientes agresivos que puedan atacar el material o a características especiales sobre el uso de la estructura.

El estudio realizado comprende una investigación descriptiva y evaluativa del material, mediante el cual se caracterizó el mismo y una investigación analítica y comparativa que determinó las ventajas y desventajas con respecto a las barras convencionales de acero, en función de los factores tomados en cuenta para el estudio. Para ello las barras fueron sometidas a dos ensayos de durabilidad y un ensayo de adherencia; los ensayos de durabilidad utilizados fueron los de ciclos de calor-humedad y exposición prolongada en ambientes ácidos y ambientes alcalinos; el ensayo de adherencia se realizó mediante el método de extracción pull-out, siguiendo la norma COVENIN 1667-80 y adaptándola a las características de las barras GFRP, ya que la misma se aplica originalmente a las barras de acero.

A través de los estudios de durabilidad se logró simular la exposición de las barras en los diversos ambientes agresivos presentados en Venezuela para un período aproximado de 20 años y de esta forma evaluar el material. En el caso del ensayo de adherencia se evaluó la interacción de las barras de GFRP con el concreto en relación al deslizamiento, de esta forma se calculó el esfuerzo de adherencia correspondiente al esfuerzo aplicado en la barra GFRP capaz de producir un deslizamiento relativo de 0,1 mm entre la barra GFRP y el concreto; estos valores obtenidos, ofrecen un punto de comparación con los valores de las

barras de acero, y ofrecen un punto de partida para nuevos estudios con respecto a la adherencia que debe existir entre las barras y el concreto.

Los datos obtenidos al final del estudio y las conclusiones a las que se llegó, constituyen un aporte valioso para la industria de la construcción venezolana y para el desarrollo del país, ya que generan una nueva base de información sobre novedosos materiales alternativos a utilizarse en la construcción civil, permitiendo que se forme un criterio amplio basado en estudios confiables para la óptima utilización de estos nuevos materiales en el país.

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad se busca sustituir materiales tradicionales por nuevos materiales que sean capaces de soportar por más tiempo, el efecto de distintos agentes agresivos que causen fatiga al material, alterando sus propiedades físicas y químicas, disminuyendo su capacidad de resistencia. Además se busca que estos materiales representen bajos costos de producción, mantenimiento y sean de fácil manipulación. En el caso del refuerzo para el concreto armado, el material comúnmente utilizado es la barra de acero, la cual está siendo sustituida por nuevos materiales, entre los cuales se encuentran las Barras de Polímero Reforzado a base de Fibra de Vidrio (GFRP por sus siglas en inglés, Glass Fiber Reinforced Polymer).

El acero convencional suele ser muy sensible a la corrosión, especialmente en lugares donde la salinidad y la humedad son altas o en medios en los que se encuentren sustancias químicas que reaccionan con éste, hasta corroer el material y cambiar sus propiedades, incluyendo su resistencia; también es un buen conductor de electricidad, lo que puede resultar perjudicial cuando se le utiliza en espacios donde se trabaje con altos voltajes de electricidad. Todo lo antes mencionado trae como consecuencia, que la estructura que se encuentre expuesta ante estos factores ambientales y funcionales sufra un desgaste acelerado y tenga mayores probabilidades de fallar. La opción de sustituir el acero por GFRP resulta viable, ya que este material es inerte a los ambientes agresivos y no es buen conductor de electricidad.

En países desarrollados se han hecho estudios que evalúan las propiedades de las barras de GFRP y se han obtenido resultados satisfactorios sobre su comportamiento como refuerzo. En la actualidad, está siendo utilizado

este tipo de material con mucha frecuencia en gran variedad de estructuras, las cuales se ven afectadas por agentes agresivos provenientes del ambiente y de procesos industriales.

La finalidad de este proyecto es evaluar los resultados obtenidos de los diversos estudios realizados, mediante ensayos que aporten los datos suficientes para caracterizar el material, tomando en cuenta las condiciones ambientales de nuestro país y el poco conocimiento de este tipo de tecnología en la industria de la construcción venezolana. Los ensayos a realizar en este caso serán el de durabilidad a mediano y largo plazo, y de adherencia al concreto.

Finalmente se debería poder responder las siguientes interrogantes sobre las barras reforzadas de fibra de vidrio GPRF: ¿Cómo es la durabilidad?, ¿Cómo reaccionan al enfrentarse a ciclos de calor-humedad (envejecimiento acelerado)?, ¿Cuánto es la adherencia al concreto, en comparación con los valores del refuerzo convencional? y por último, ¿Cuáles son las ventajas y desventajas en la utilización de éstas?; de esta forma se podrá ampliar el criterio para juzgar su utilidad como refuerzo para el concreto armado.

## **1.2. MARCO REFERENCIAL**

Los materiales compuesto de matriz polimérica y refuerzos en forma de fibras continuas orientadas, lo que se conoce como barra FRP (Fiber Reinforced Polymer), aparecen por vez primera en la década de los 80 como una alternativa para sustituir el acero en elementos de concreto armado en ambientes potencialmente corrosivos, éstas presentaban diversas variaciones en cuanto al tipo de fibra utilizado y el polímero que constituye la barra, entre estas variaciones se encuentra la barra de fibra de vidrio GFRP. Existen diversas empresas que se han dedicado a la producción de estos materiales y han realizados numerosos estudios para evaluar las propiedades de sus productos y caracterizar los mismos.

A partir del año 1999, la empresa Hughes Brothers Inc, la cual fue contactada para obtener el material, comenzó a realizar obras de relevancia en Canadá y Estados Unidos; las imágenes presentadas a continuación muestran algunas de esas obras.



Imagen 1.1. Fase de construcción del Puente Box Culvert, Rolla MO. USA.  
Fuente: [http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100\\_GFRP\\_rebar.html](http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100_GFRP_rebar.html)



Imagen 1.2. Fase de construcción del Puente Sierrita de la Cruz, Texas. USA.  
Fuente: [http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100\\_GFRP\\_rebar.html](http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100_GFRP_rebar.html)



Imagen 1.3. Fase de construcción del Puente de la Avenida 53. Los Angeles, USA.  
Fuente: [http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100\\_GFRP\\_rebar.html](http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100_GFRP_rebar.html)



Imagen 1.4. Fase de construcción del Puente Miles Road, Ohio, USA.  
Fuente: [http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100\\_GFRP\\_rebar.html](http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100_GFRP_rebar.html)



Imagen 1.5. Fase de construcción del Puente Franklin County, Virginia, USA.  
Fuente: [http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100\\_GFRP\\_rebar.html](http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100_GFRP_rebar.html)

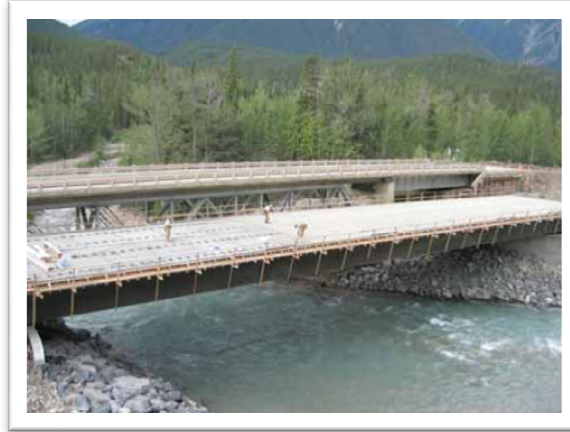


Imagen 1.6. Fase de construcción del Puente Trout River, British Columbia, Canadá.

Fuente: [http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100\\_GFRP\\_rebar.html](http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan100_GFRP_rebar.html)

Como se pudo observar en las imágenes mostradas anteriormente, la mayor parte de la aplicación de estas barras han sido en los tableros de los puentes; también se han introducido en otras áreas de la construcción, que se especificarán más adelante. La empresa cuenta adicionalmente con estudios realizados del material que ofrecen toda la información necesaria para la caracterización del mismo, así como reportes de los resultados obtenidos en cada una de las obras realizadas.

En el país se han utilizado vagamente este tipo de materiales pero no se han realizado estudios sobre el uso dado ni se han llevado controles documentados de los mismos, un caso fue la obra de la estación de metro “Mercado”, de la ampliación de la línea tres del metro de Caracas, en la cual se utilizó refuerzo de barras GFRP en los muros colados de la estación, ya que iban a ser perforados por la topa, de esta forma no desgastarían el cabezal de corte de la misma con las barras de acero convencional. El fabricante Hughes Brothers, Inc, ha suministrado barras GFRP para este tipo de aplicación en diversos países, a continuación se presentan imágenes donde puede apreciarse el método constructivo de los muros colados con esta tecnología.





Imagen 1.7.: Estacion CSO Tri Met, Portland, Oregon.

Fuente: <http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan%20GFRP%20Tunnel-TBM.html>



Imagen 1.8.: Estacion Yi Shan, Shanghai

Fuente: <http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan%20GFRP%20Tunnel-TBM.html>



Imagen 1.9.: Estacion Yi Shan, Shanghai

Fuente: <http://www.hughesbros.com/Aslan100/Aslan%20GFRP%20Tunnel-TBM.html>

El primer estudio hecho en el país sobre las barras GFRP, fue realizado en 2006 en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela, se tituló “Caracterización de las Barras Reforzadas con Fibra de Vidrio como Refuerzo del Concreto Armado”, realizada por Alexander Domínguez y Danni Guillan de la Universidad Católica Andrés Bello, tutorada por el profesor Ronald Torres ; a través del estudio se investigó el comportamiento de estas barras como refuerzo estructural del concreto en miembros a compresión, especialmente en losas y vigas, se determinó su resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y máxima deformación, obteniendo resultados acordes a los reportados por el fabricante y avalando los mismos en el país.

En marzo de 2007 se comenzó en el Instituto de materiales y modelos estructurales “IMME”, en la Universidad Central de Venezuela, un estudio de caracterización del material con respecto a su durabilidad y adherencia con el concreto en conjunto con la investigación presentada a continuación; fue realizado por una tesista de la Universidad Católica Andrés Bello, se concentró en evaluar la durabilidad del material a corto plazo y a evaluar la adherencia del mismo con el concreto, éste fue concluido en Julio de 2007.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar el comportamiento de barras de fibra de vidrio para refuerzo del concreto armado mediante pruebas de durabilidad y adherencia que simulen ambientes agresivos y evalúen su interacción con el concreto.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- 1) Estimar la durabilidad de barras reforzadas de fibra de vidrio utilizadas como refuerzo para el concreto armado.
- 2) Aplicar procedimientos de envejecimiento acelerado mediante ciclos de humedad-calor y evaluar el desgaste ocasionado en las barras.
- 3) Definir el comportamiento al deslizamiento de las barras de fibra de vidrio mediante ensayos de adherencia al concreto.
- 4) Comparar los valores de adherencia al concreto obtenidos con los valores del refuerzo convencional.
- 5) Contrastar el comportamiento en ambientes agresivos de las barras reforzadas de fibra de vidrio con respecto al refuerzo metálico convencional (barras de acero).
- 6) Señalar las ventajas y desventajas de la utilización de barras reforzadas de fibra de vidrio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Entre los nuevos materiales usados como refuerzo para el concreto armado se encuentran las barras de FRP (Fiber Reinforced Polymer Composite) es decir, barras de fibras de polímeros reforzados. Estas barras pueden ser de fibra de carbono, fibra de vidrio u otra fibra sintética.

Las barras de fibra de vidrio, conocidas como GFRP por sus siglas en inglés “Glass Fiber Reinforced Polymer”, son un material fabricado a partir de vidrio fundido, éste es pasado a través de una pieza con múltiples agujeros diminutos denominada espinerette, una vez realizado este proceso, se solidifica y resultan los hilos o fibras de vidrio que garantizan la resistencia mecánica de las barras que luego son tejidos, tensados y recubiertos con mezclas de resinas como epóxicos, poliéster o vinyl éster, que las protegen del medio ambiente, garantizando la durabilidad y resistencia a agentes agresivos, además de definir su forma final.

##### 2.1.1. Propiedades Físicas:

###### 2.1.1.1. DENSIDAD:

$$\delta = 1,25 \text{ gr/cm}^3 - 2,10 \text{ gr/cm}^3.$$

Esto representa aproximadamente entre 1/6 y 1/4 de la densidad del acero (7,90 cm/gr<sup>3</sup>). Esta propiedad se puede traducir en mejor manejabilidad de las mismas en comparación con el acero.

###### 2.1.1.2. COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA:

$$\alpha_L = 6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} - 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \text{ (Coeficiente longitudinal).}$$

$$\alpha_T = 21 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} - 23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \text{ (Coeficiente transversal).}$$

El coeficiente de expansión térmica varía de forma longitudinal y transversal debido a que el material es anisótropo y este depende del tipo de fibra, del tipo de resina y del volumen de la fibra. El longitudinal depende de las propiedades de la fibra y el transversal de las propiedades de la resina.

Por referencia, el concreto tiene un coeficiente de expansión térmica que varía desde  $7,2 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$  a  $10,8 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$  asumiendo que es isotrópico (Mindess y Young 1981).

#### 2.1.1.3. EFFECTOS DE ALTAS TEMPERATURAS:

No es recomendable el uso de barras de GFRP en estructuras en que la resistencia al fuego sea esencial para mantener la integridad de la estructura. Debido a que las barras GFRP recubiertas de concreto no se pueden quemar por la falta de oxígeno, pero si se modificarán sus propiedades (se ablandarán) debido al calor excesivo. La temperatura en la que un polímero se ablandará se llama vidrio - temperatura transición ( $T_g$ ). Cuando se alcanza  $T_g$  se reduce significativamente el módulo elástico debido a cambios en la estructura molecular del polímero. El valor de  $T_g$  depende del tipo de resina pero normalmente está entre 65 y 120  $^\circ\text{C}$ .

Los resultados de pruebas han indicado que a temperaturas de 250  $^\circ\text{C}$ , más alta que la  $T_g$  se reducirá la resistencia a la tracción de las barras GRRP en más del 20% (Kumahara, Masuda y Tanano 1993). Otras propiedades que son directamente afectadas por la transferencia de corte a través de la resina son la resistencia al corte y la resistencia a la flexión que son reducidas significativamente a temperaturas cercanas a  $T_g$  (Wang y Evans 1995).

Un estudio sobre ensayos de extracción (pullout) con barras que tenían una  $T_g$  desde 60 a 124  $^\circ\text{C}$  demostró que a temperaturas cercanas a 100  $^\circ\text{C}$  se observa una reducción en la resistencia de adherencia entre 20% y 40% y una reducción entre el 80% y el 90 % con temperaturas de 200  $^\circ\text{C}$  (Katz, Berman y Bank 1998 y 1999). La estructura puede colapsar si se pierde todo el anclaje debido al

debilitamiento del polímero por a las altas temperaturas para las fibras de vidrio, temperaturas cercanas a 980 °C. El concreto reforzado con FRP sometido a altas temperaturas no esta comprendido totalmente y se requiere más investigación en esta área. La ACI 216R usa estimaciones de temperaturas y éstas varían dependiendo de la sección de concreto y se necesita mas investigación en esta área.

#### 2.1.1.4. ROTURA POR FLUENCIA

Las barras de refuerzo de GFRP que están sujetas a cargas constantes por un cierto plazo pueden fallar repentinamente después de un período llamado el tiempo de durabilidad. Este fenómeno es conocido como rotura por fluencia (o fatiga estática).

El tiempo de resistencia a la rotura por fluencia puede disminuir irreversiblemente en un ambiente suficientemente adverso como puede ser ambientes con altas temperaturas, con exposición a radiaciones ultravioletas, alta alcalinidad.

Ensayos del comportamiento a la fluencia realizados en Alemania por Bundelmann y Rostasy en 1993, indicaron que si las tensiones sostenidas son menos del 60% de la resistencia a corto plazo la rotura por fluencia no se produce, debido a esto las barras de GFRP no pueden ser utilizadas como barras pre comprimidas. Una investigación sobre rotura por fluencia en barras de GFRP realizada por Seki, Sekijima y Knnno en 1997 indicó que la resistencia a la tracción era el 55% de la resistencia inicial simulando los efectos a 50 años de uso. En base a las provisiones de la ACI 440.1R-03 que recomienda que el esfuerzo a la tracción en una barra no supere el 20% de la resistencia a la tracción que considera reducciones por las condiciones de exposición.

## 2.1.2. Propiedades mecánicas:

Dependen en su mayoría de las propiedades aportadas por las fibras de vidrio.

### 2.1.2.1. COMPORTAMIENTO A LA TRACCIÓN:

Las barras de GFRP no presentan ningún comportamiento plástico antes de la rotura es decir, la barra de GFRP alcanza su límite de resistencia a la tracción sin que sea visible ninguna deformación plástica. Por lo tanto, la relación que existe entre el esfuerzo que se aplica a la barra y la deformación de la misma se puede representar como una línea recta hasta el momento de la falla de la barra GFRP como muestra la siguiente figura:

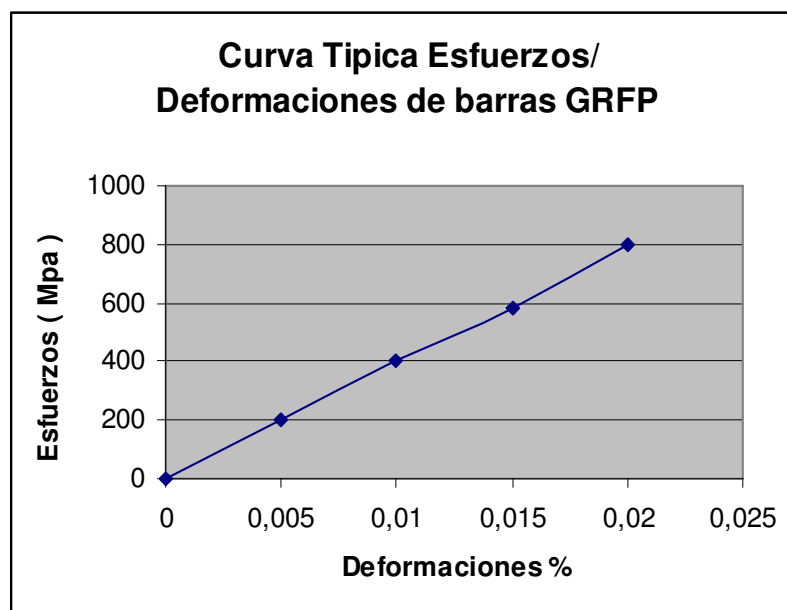


Gráfico 2.1. Curva típica Esfuerzos vs. Deformaciones de barras GFRP.

Fuente: Tesis "Caracterización de las Barras Reforzadas con Fibra de Vidrio como Refuerzo del Concreto Armado"

La resistencia a la tracción depende de varios factores como la proporción del volumen de fibra con respecto al volumen total de FRP y esto afecta las

propiedades de las barras a la tracción. La resistencia y la rigidez varían con variaciones de la fracción de la fibra incluso en barras con el mismo diámetro, apariencia y componentes. Debe haber durante el proceso de fabricación un buen control para mantener las propiedades de las barras. Una diferencia con respecto a las barras de acero es que no se observa un cambio visible en el área de la sección de la barra cuando se somete a tracción hasta su rotura.

Una diferencia notable de las barras GFRP con respecto a las barras de acero, representa el hecho de que al aumentar el diámetro de la barra GFRP disminuye la resistencia a la tracción. Esto se debe al retardo con el cual se transmiten los esfuerzos a las fibras que se encuentran más en el centro de la sección transversal de la barra, debido a que no son sometidas a esfuerzos tan elevados como las que soportan las fibras que están más cerca de la superficie exterior (Faza, 1991).

La determinación de la resistencia a la tracción por ensayo es complicada debido a la concentración de tensión alrededor de los puntos de anclaje sobre la muestra de prueba puede resultar en el fracaso prematuro. La forma de agarre de la barra durante el ensayo debe permitir que la falla ocurra en el medio de la muestra. El fabricante debe garantizar la resistencia a la tracción ( $f_{tu}^*$ ) y es definida como la peor resistencia de un espécimen en los ensayos a tracción menos tres veces por la desviación estándar. Nos queda definida  $f_{tu}^* = (f_{u,ave} - 3\sigma)$  en psi (ACI 440).

Alargamiento límite garantizado ( $\epsilon_{fu}$ ) y es definido como el peor porcentaje de alargamiento menos tres veces por la desviación estándar  $\epsilon_{fu}^* = (\epsilon_{u,ave} - 3\sigma)$  en psi (ACI 440).

“E” es el módulo de elasticidad definido como el menor resultado de los ensayos en psi. Las barras curvas de FRP la resistencia a la tracción se reduce en un 40% o 50% con respecto a una barra recta debido a las concentraciones de tensiones. (Nanni et al. 1998).



En ensayos realizados por el fabricante “Hughes Brothers” se obtuvieron propiedades para todas las numeraciones de barras GFRP conocidas comercialmente como barras “Aslan 100 Vinyl Ester Matrix GFRP”, las cuales se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Dimensión de la Barra	Área de la Sección Transversal (cm <sup>2</sup> )	Diámetro (pulg)	$f_{fu}^*$ (MPa)	$f_{fu}^*$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_{fu}^*$ (GPa)	$\epsilon_{fu}^*$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
# 2	0,3323	1/4	825	8415	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 3	0,8432	3/8	760	7752	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 4	1,4485	1/2	690	7038	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 5	2,1756	5/8	655	6681	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 6	2,955	3/4	620	6324	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 7	3,8273	7/8	586	5977,2	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 8	5,379	1	550	5610	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 9	6,45	1,123	517	5273,4	40,8	$0,4 \times 10^6$
# 10	8,0734	1,250	480	4896	40,8	$0,4 \times 10^6$

Tabla 2.1. Propiedades Mecánicas de las barras GFRP, conocidas también como barras “Aslan 100 Vinyl Ester Matrix GFRP”.  
Fuente: Tesis “Caracterización de las Barras Reforzadas con Fibra de Vidrio como Refuerzo del Concreto Armado”

En donde:

$f_{fu}^*$ = Resistencia a la tracción garantizada por el fabricante.

$\epsilon_{fu}^*$ = Módulo de elasticidad a la tracción garantizada por el fabricante.

Propiedad	Procedimiento de prueba	Valor
Resistencia al corte	Ver nota	1550,4 Kg/cm <sup>2</sup>
Densidad	ASTM D792	2 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido mínimo en peso de fibra de vidrio	ASTM D2584	70%
Máxima Resistencia de adherencia	Método “Penn State”	60 Kg/cm <sup>2</sup>
Dureza Barcol	ASTM D2583	118,32 Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 2.2. Propiedades físicas de las barras GFRP

Fuente: Tesis “Caracterización de las Barras Reforzadas con Fibra de Vidrio como Refuerzo del Concreto Armado”

Nota: La resistencia al corte medida en barras de 5/8" de diámetro usando un montaje de doble corte.

#### 2.1.2.2. COMPORTAMIENTO A LA COMPRESIÓN:

No es recomendable depender de las barras de GFRP para resistir las tensiones de compresiones. Pruebas con barras de GFRP con proporción longitud diámetro 1:1 y 2:1 muestran que la resistencia a la compresión es más baja que la resistencia a la tracción (Wu 1990). La resistencia a la compresión es el 55,78 % de la resistencia a la tracción (Mallick 1998; Wu 1990).

El modo de falla de una barra GFRP depende del tipo de fibra, del tipo de resina y la fracción del volumen de fibra. El módulo de elasticidad a la compresión al parecer es más pequeño que el módulo de elasticidad a la tracción. Reportes de pruebas en muestras que contienen entre 55% y 60 % del volumen fracción con fibra de vidrio en la matriz indica un módulo de elasticidad a la compresión entre 35 a 48 GPa (Wu 1990).

Según reportes el módulo de elasticidad a la compresión para barras de GFRP es aproximadamente 80% del módulo de elasticidad a la tracción (Mallick 1988; Ehsani 1993). Hasta ahora no se conoce un método estándar de ensayo para la caracterización del comportamiento a la compresión de las barras de GFRP.

Si las características a la compresión de una barra GFRP son necesarias, éstas se deben obtener del fabricante de la barra. El fabricante debe proporcionar una descripción del método de ensayo usado para obtener las características a la compresión reportadas (ACI 440).

#### 2.1.2.3. CAPACIDAD DE ADHERENCIA:

Las características de adherencia de una barra GFRP dependen del proceso de fabricación, propiedades mecánicas y las condiciones del medio ambiente al cual serán sometidas (Bank, Puterman y Katz 1998). A diferencia del

refuerzo de acero, la resistencia de adherencia de las barras GFRP no parece ser influenciada de manera significativa cuando varía la resistencia a la compresión del concreto (Nanni et al 1995).

Cuando se encuentra en el concreto una armadura de barras de GFRP, la adherencia puede ser “transferida” por medios de los siguientes mecanismos: la resistencia a la adherencia del acoplamiento, se conoce como adherencia química y la resistencia a la fricción del acoplamiento como consecuencia del desplazamiento.

#### 2.1.2.4. COMPORTAMIENTO AL CORTE:

Debido a su localización como refuerzo externo, los estribos son más susceptibles a las condiciones ambientales severas y pueden estar sujetos a la deterioración relacionada, reduciendo la vida de servicio de la estructura. Debido a la limitada experiencia en el uso de barras de GFRP como refuerzo para corte su diseño es bastante conservador.

Ciertas características de las barras de GPRF deben ser tomadas especialmente en cuenta al momento de diseñar estructuras donde vallan a ser utilizadas como refuerzo en el concreto armado:

- Las barras GFRP tienen un bajo módulo de elasticidad.
- Las barras GFRP tienen una alta resistencia a la tracción y no tiene un punto de cadencia.
- La resistencia a la tracción de la porción doblada de una barra de GFRP es significativamente menor que la de porción recta.

Debido a la baja resistencia de las barras GFRP en la dirección transversal su contribución como refuerzo al corte será menor que usar barras de acero convencional, se necesita más investigación en esta área. Los modos de fallas por corte en miembros con barras GFRP como refuerzo al corte se clasifican en dos tipos: modo de falla corte-tensión (controlado por la ruptura del refuerzo de GFRP al corte) y modo de falla corte-compresión (controlado por el agrietamiento del

concreto). El primer modo es más frágil y resulta en grandes deflexiones. (Nagasaka, Fukuyama y Tanigaki 1993).

## **2.2. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

La aplicación de las barras GFRP en la industria de la construcción depende directamente del uso de la estructura, el cual define a qué tipo de agentes ambientales estará expuesta, bien sea por acción del hombre o por acción de la naturaleza, quedando en un segundo plano la resistencia que aportan a la estructura; en función a estos factores se dividieron en dos grupos las siguientes aplicaciones:

### **2.2.1. Problemas de corrosión:**

- Obras industriales con productos muy corrosivos
- Reservorios para productos químicos y aguas servidas.
- Plantas de tratamiento de agua y de efluentes.
- Torres de enfriamiento, chimeneas, etc.
- Tableros de puentes en zonas muy frías.
- Estructuras marítimas: muelles, puentes, acuarios, piscinas, plataformas petroleras (offshore), etc.
- Muros de contención en zonas con suelos agresivos.

### **2.2.2. Problemas de las ondas electromagnéticas y conducción eléctrica:**

- Subestaciones eléctricas.
- Instalaciones de radar.
- Laboratorios de calibración e instrumentación.
- Instalaciones nucleares.
- Edificios para equipos de telefonía.

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

### 3.1. ESTUDIOS DE DURABILIDAD

#### 3.1.1. Exposición prolongada de las barras GFRP en ambientes agresivos.

##### 3.1.1.1. ALCANCE:

El estudio de durabilidad evalúa la resistencia al desgaste de la barra de fibra de vidrio ante agentes externos que puedan alterar su estado físico y de esta forma variar sus propiedades. Estos agentes externos se encuentran normalmente en el ambiente y varía su concentración en función de la ubicación geográfica, la actividad desarrollada en la zona o en la estructura particular. Las barras serán sometidas a agentes ácidos de dos concentraciones diferentes por cada solución y agentes alcalinos de dos concentraciones diferentes por cada solución.

##### 3.1.1.2. EQUIPOS UTILIZADOS

- Doce (12) recipientes de plástico para sumergir las barras, en este caso se utilizaron comederos de ganado (ver imagen 3.1).



Imagen 3.1. Recipientes plásticos utilizados para la inmersión de las barras en las soluciones.  
Fuente: Elaboración propia.

- Balanza (Apreciación 0,1 gr).



Imagen 3.2. Balanza de apreciación 0,1 gr.  
Fuente: Elaboración propia.

- Un (1) Vernier de apreciación 0.002 cm
- Una (1) Cinta Métrica de apreciación 0,01 mts
- Dos (2) Pares de Guantes de PVC
- Veinticuatro (24) barras de GFRP, doce (12) de 5/8" y doce (12) de 1/2"

### 3.1.1.3. METODOLOGÍA

El estudio consistió en sumergir las barras de GPFR en soluciones ácidas y alcalinas de dos concentraciones diferentes y durante un período de tiempo establecido que sea capaz de simular el desgaste de las barras a largo plazo bajo distintos ambientes agresivos.

#### 3.1.1.3.1. Montaje del ensayo

Se ubicaron las barras de GFRP de dos diámetros distintos, 5/8" y 1/2", se cortaron en trozos de un metro aproximadamente para obtener un total de 12 barras para cada diámetro.

Se realizaron tres mezclas ácidas de dos concentraciones diferentes cada una y 3 mezclas alcalinas de dos concentraciones diferentes cada una, de esta forma se simulan para los distintos tipos de agentes agresivos la mayor y la menor concentración que puede encontrarse en el ambiente. Para cada solución se preparó un total de 10 litros respectivamente.

Las soluciones utilizadas y sus concentraciones son las siguientes:

- Ambientes Ácidos:
  - Ácido Clorhídrico (HCl), al 5% y al 10%.
  - Ácido Acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) al 3% y al 20%.
  - Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 5% y al 10%.
- Ambientes Alcalinos:
  - Hidróxido de Sodio (NaOH) al 3% y al 10%.
  - Cloruro de Sodio (NaCl), al 3% y al 10%.
  - Hidróxido de Amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) al 3% al 10%.

Luego se procedió a llenar cada una de las piscinas y a etiquetarlas con el tipo de solución y su concentración; seguidamente se pesaron y se tomaron las dimensiones de longitud y diámetro de cada una de las barras y por último se sumergieron dos barras en cada una de las piscinas, una de cada diámetro; como muestra la siguiente imagen.



Imagen 3.3. Barra sumergida en recipiente plástico etiquetado.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1.3.2. Compilación de datos

La etapa de toma de datos se efectuó en un período de 40 semanas (10 meses), a partir del momento en que fueron sumergidas las barras de GFRP en las distintas soluciones; el proceso consistió en retirar una vez por semana las barras de las piscinas, secarlas y proceder a tomar las medidas de peso, longitud y diámetro, éstas fueron anotadas en minutas de trabajo (ver apéndice I, tabla 1.1) por semana en las que se clasificaban cada medida, el medio agresivo y el tipo de barra según su diámetro (ver imágenes 3.4, 3.5 y 3.6). De esta forma se llevó un record cronológico de la variación de las características físicas estudiadas a lo largo de las 40 semanas, de cada una de las barras afectadas por los diversos agentes agresivos.



Imagen 3.4. Las 24 barras expuestas a los distintos ambientes.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.5. Medición de las barras con un vernier de 0,002 cm de apreciación

Fuente: Elaboración propia.





Imagen 3.6. Medición del peso de las barras, balanza de apreciación 0,1 gr.  
Fuente: Elaboración propia.

Por ultimo se realizaron ensayos de tracción para verificar las variaciones de la resistencia a la tracción ( $f_y$ ), modulo de elasticidad y % de alargamiento; para esto fue necesario dejar secar las barras en su totalidad por 24 horas, fueron etiquetadas por solución y concentración y luego se le colocaron unos tubos de acero galvanizado de 20 cm, que fueron adheridos a las barras con una resina epóxica como se muestra en las figuras 6.4 y 6.5, dejando una luz de 40 cm entre los tubos de acero. Estos tubos de acero se colocan debido a que por el tipo de material no se podían ensayar directamente las barras GFRP a la máquina de tracción, porque suelen triturarse en el sitio de anclaje al tener una carga considerable.



Imagen 3.7. Elaboración del mango de resina para el anclaje del ensayo  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.8 Barra GFRP con mango de resina cubierto de tubo galvanizados  
Fuente: Elaboración propia.

Una vez concluido el ensayo, se procedió a realizar gráficos de cada medida contra el tiempo, para observar y analizar alguna variación que presentasen las barras en sus características físicas durante el tiempo en que estuvieron sometidas a la acción agresiva de las distintas soluciones y grafico de esfuerzo vs deformación.

### 3.1.2. **Exposición a corto plazo de las barras de acero en ambientes agresivos.**

#### 3.1.2.1. ALCANCE

El estudio de durabilidad cuantifica el desgaste de la barra de acero ante agentes externos que puedan alterar su estado físico y de esta forma variar sus propiedades. En este caso fueron sumergidas sin ninguna tensión aplicada.

#### 3.1.2.2. EQUIPOS NECESARIOS

- Recipientes para almacenar las barras en cada solución (se utilizaron unos tubos de PVC para agua caliente )



Imagen 3.9. Recipientes de almacenamiento de las barras de acero.  
Fuente: Elaboración propia

- Balanza de apreciación 0.1 Kg.
- Desmineralizador de agua.
- Balanza de apreciación 0.1 gr.
- Vernier de apreciación 0.002 cm.
- Metro de apreciación 0.1 cm

### 3.1.2.3. METODOLOGÍA

Para este ensayo fue necesario preparar 500ml de cada solución, para que de esta manera las cabillas de acero quedaran totalmente sumergidas dentro de los tubos. El diámetro que se utilizó fue de  $\frac{1}{2}$ " y cada solución se preparó a dos concentraciones distintas.

Las soluciones utilizadas y sus concentraciones son las siguientes:

- Ambientes Acidos:
  - Ácido Clorhídrico (HCl), al 5% y al 10%.
  - Ácido Acético (CH<sub>3</sub>COOH) al 3% y al 20%.
  - Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 5% y al 10%.

- Ambientes Alcalinos:
  - Hidróxido de Sodio (NaOH) al 3% y al 10%.
  - Cloruro de Sodio (NaCl), al 3% y al 10%.
  - Hidróxido de Amonio (NH<sub>4</sub>OH) al 3% al 10%.

El tiempo de inmersión al cual fueron sometidas fue de 3 meses. Durante el ensayo se fueron midiendo regularmente el diámetro, la longitud, y el peso de cada cabilla para así realizar un estudio de la variación de las propiedades físicas de las mismas y establecer un análisis comparativo con las barras GFRP. Por la presencia de corrosión y desprendimiento en la superficie de las cabillas así como también agotamiento de los reactivos se cambio la solución mensualmente. Por ultimo se procedió a ensayar las barras a tracción.

### 3.1.3. Estudio de ciclos calor-humedad

#### 3.1.3.1. ALCANCE

El ensayo de ciclos de calor humedad evalúa el deterioro de la barra de GFRP debido a la acción de los cambios de temperatura en el medio ambiente, esto se realiza mediante cambios abruptos de temperatura y humedad en períodos determinados de tiempo que simulan una exposición prolongada ante estos efectos en el medio ambiente. El ensayo consiste en introducir el material en un horno a 60 °C durante un periodo de 24 horas para luego sumergirlo en un recipiente con agua a temperatura ambiente durante 24 horas, de esta forma se cumpliría un ciclo de calor-humedad.

#### 3.1.3.2. EQUIPOS UTILIZADOS

- Horno industrial de apreciación 1 °C



Imagen 3.10. Horno industrial, apreciación 1 °C

- Balanza de apreciación 0.1 gr.
- Vernier de apreciación 0.002 cm.
- Tobo de 18 Lts

### 3.1.3.3. METODOLOGÍA

Para el ensayo se utilizaron 3 barras de 5/8" de 40 cm. de longitud, aproximadamente. Antes de empezar se tomaron las medidas de peso, diámetro y longitud inicial; para luego introducirlas en el horno ya precalentado, a una temperatura de 60 °C, por 24 horas. Cumplido este lapso, se extrajeron las barras del horno, se volvieron a tomar las mismas medidas antes mencionadas, y se introdujeron en un tobo lleno de agua a temperatura ambiente, de tal manera que las barras quedaran sumergidas en su totalidad, por un tiempo de 24 horas; el cual transcurrido se sacaron las barras del agua para volverlas a medir.

Se realizaron 5 cuatro ciclos como el anterior, alcanzando una duración de 10 días. Se tomaron todos los datos obtenidos con los cuales se realizaron las gráficas tiempo vs. medida, para observar las alteraciones en las barras.

## 3.2. ESTUDIO DE ADHERENCIA

### 3.2.1. ALCANCE

El estudio de adherencia se realiza mediante un ensayo de extracción que cuantifica el esfuerzo máximo de adherencia que se genera entre la superficie de la barra de GFRP y la superficie de concreto, el factor principal que influye en este esfuerzo es el acabado final de la superficie de la barra de GFRP y las propiedades físicas del mismo.

### 3.2.2. EQUIPOS UTILIZADOS

- 3 Barras de 5/8 “ de GFRP
- Moldes para probetas de concreto cilíndricos, de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura. (Ver figura 3.9)



Imagen 3.11. Moldes de probeta de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto.  
Fuente: Elaboración propia.

- Barra compactadora, de acero, recta, lisa de 16 mm de diámetro, aproximadamente 60 cm. de longitud y punta semiesférica.

- Flexímetro de reloj, con una apreciación de 0,01 mm y un recorrido de 20 mm, para medir los deslizamientos relativos entre la barra de GFRP y el concreto, ubicado en el extremo libre más corto de la barra.



Imagen 3.12. Flexímetro de reloj, de apreciación 0,01 mm.  
Fuente: Elaboración propia.

- Máquina universal de ensayo, que permita aplicar cargas hasta de 2.250 Kg./minutos.

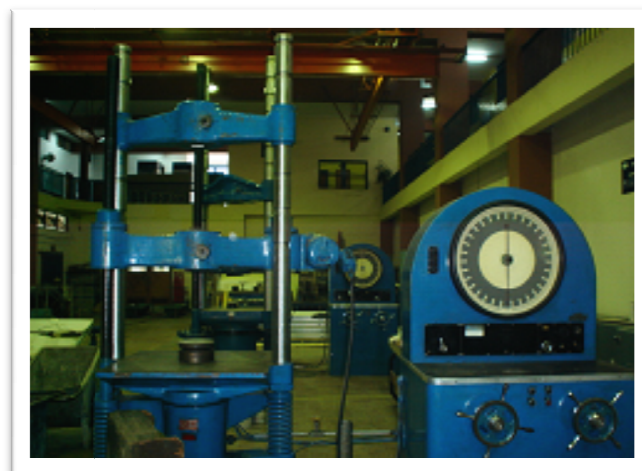


Imagen 3.13. Máquina de ensayo universal.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. METODOLOGÍA

#### 3.2.3.1. Preparación de la muestra

La probeta está compuesta por un cilindro de concreto de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, con un refuerzo de acero de confinamiento de 7 mm de diámetro en forma de suncho y una barra de GFRP de 1 m de longitud aproximadamente colocada verticalmente a lo largo del eje central de la probeta, la barra debe sobresalir 5 cm. aproximadamente hacia abajo desde la cara inferior del cilindro y el resto en la cara superior del cilindro para permitir el agarre con las mordazas de la máquina de ensayo.

El primer paso para la preparación de la misma fue la ubicación de tres barras de 5/8 "y tres barras 1/2 " con las dimensiones antes descritas, seguidamente se realizó el refuerzo transversal para el confinamiento del concreto a modo de suncho, para ello se tomaron barras de acero de 1,5 mts de longitud y se doblaron en forma de hélice con un paso de 5 cm aproximadamente a través de un procedimiento manual (Ver imagen 3.12); se prepararon los moldes cilíndricos cubriendo la superficie interior con una delgada capa de aceite mineral antes de moldear los cilindros Se realizó la mezcla de concreto previo diseño de mezcla elaborado para una resistencia de 210 Kg./cm<sup>2</sup>, el mismo se realizó de acuerdo a la norma COVENIN 354, se midió la consistencia de la misma mediante una prueba de asentamiento de acuerdo con la norma COVENIN 339. Por último se procedió a vaciar el concreto previa colocación de la barra de GFRP y el refuerzo transversal, el concreto se colocó en tres capas de igual espesor cada una compactada mediante barra compactadora con 25 golpes respectivamente. Se realizó el curado de las probetas durante 28 días.





Imagen 3.14. Suncho en forma de hélice para refuerzo transversal de la probeta.  
Fuente: Elaboración propia.

Después de curado el concreto, cuatro días previo al ensayo, se le colocó en el extremo superior de la barra, el cual corresponde a la parte que más sobresale de la probeta, un mango a base de resina epóxica; por donde la máquina de ensayo sujeta la cabilla para intentar sacarla de la probeta de concreto; esto para que las mordazas de la máquina no deformen la barra GFRP, ya que no es tan resistente a la compresión (ver imagen 3.13, 3.14 y 3,15)

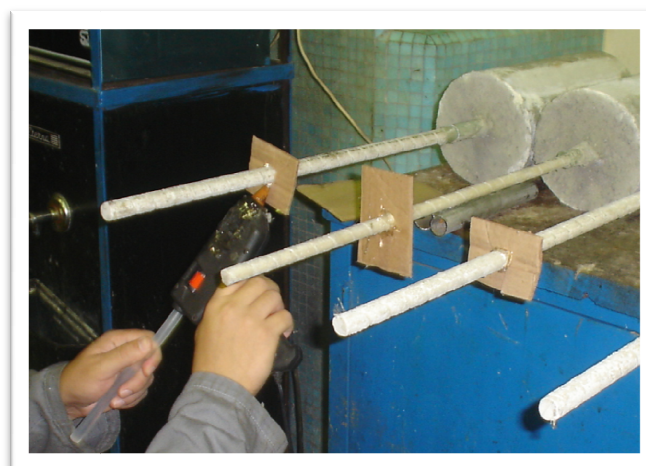


Imagen 3.15. En proceso de colocación de resina epóxica, para el agarre de la máquina de ensayo.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.16. En proceso de colocación de resina epóxica, para el agarre de la máquina de ensayo.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.17. En proceso de colocación de resina epóxica, para el agarre de la máquina de ensayo.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3.2. Ensayo de extracción

Se colocó la probeta en la máquina de ensayo, de manera tal que la superficie del cilindro, de la cual sobresale el extremo largo de la barra, estuviese en contacto con la plataforma de apoyo del cabezal superior de la máquina. Entre la plataforma y la superficie del cilindro en contacto con ella, se colocó una goma de neopreno para amortiguar el impacto del concreto de la probeta con la máquina, y también para alinear la barra con el cabezal inferior, donde están las mordazas que la sujetan. En el extremo corto de la barra se dispuso el flexímetro, para medir el desplazamiento de ésta con respecto a la probeta de concreto en el transcurso del ensayo, (ver imagen 3.16).



Imagen 3.18. Montaje del ensayo de extracción. Probeta en la máquina universal de ensayo sobre goma de neopreno, con flexímetro reloj en su extremo superior para medir el desplazamiento de la barra en la probeta.

Fuente: Elaboración propia.

Se le fue aplicando la carga a la barra a una velocidad de 1600 Kg/min; según la norma COVENIN 1667-80 la velocidad de aplicación de la carga no debe

ser mayor a 2250 kg/min, lo cual indica que se realizó el ensayo cumpliendo con la norma. Se utilizó una velocidad relativamente baja para conseguir las lecturas necesarias para obtener las gráficas que se requieren para observar cuál fue el resultado del ensayo, que son diez mediciones antes de alcanzar un deslizamiento de 0,1 mm, y luego en intervalos apropiados hasta que ocurra un deslizamiento de 2,5 mm.



Imagen 3.19. Ensayo de extracción "pull-out"  
Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

#### **4.1. ESTUDIO DE DURABILIDAD.**

Los gráficos presentados a continuación demuestran la variación de diámetro, longitud y peso, tanto de las barras GFRP como las de acero, en función del tiempo a lo largo de todo el período de estudio; las medidas de longitud y diámetro están en centímetros (cm), las medidas de peso están en gramos (gr), y el tiempo está reflejado en semanas. A través de la información reflejada es posible observar si las barras tuvieron pérdida considerable de su masa, lo cual se refleja en pérdidas de sus propiedades mecánicas. Cabe destacar, que para considerar un cambio significativo en el diámetro, es necesario registrar una variación de 0,1 cm, así como también para el peso es necesario una variación de 5 gr.

##### **4.1.1. Exposición prolongada en ambientes ácidos de las barras GFRP**

A continuación se podrán observar a través de los gráficos la variación de las barras GFRP a lo largo de 40 semanas (10 meses) de exposición en ambientes ácidos. Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el anexo 1.1.1., página 90.

##### **4.1.1.1. GRÁFICOS TIEMPO VS. DIÁMETRO**

Las barras GFRP están cubiertas con un material epóxico que protege las fibras de los agentes externos y le ofrece rigidez a la barra; el acabado final de este material varía en función del fabricante y su utilidad es la de ofrecer resistencia al deslizamiento, como en el caso del acero funcionan las estrías en la superficie del mismo; debido a este acabado irregular, las mediciones de diámetro a lo largo de la barra presentan diferencias de hasta 0,01cm. Con la finalidad de obtener un rango a través del cual se pueda verificar la variación del diámetro

debido a pérdida en la sección de las barras como consecuencia del ataque electro-químico, se realizó un análisis estadístico de la variación del diámetro por acabado final de la barra y a través de la desviación estándar de las medidas tomadas se definió un rango de variación del diámetro el cual se determino sumando y restando la desviación estándar a la media del diámetro de cada barra, este se encuentra reflejado en cada grafica mediante dos líneas rojas.

- Ácido Clorhídrico al 5%

- Muestra de 5/8" de diámetro

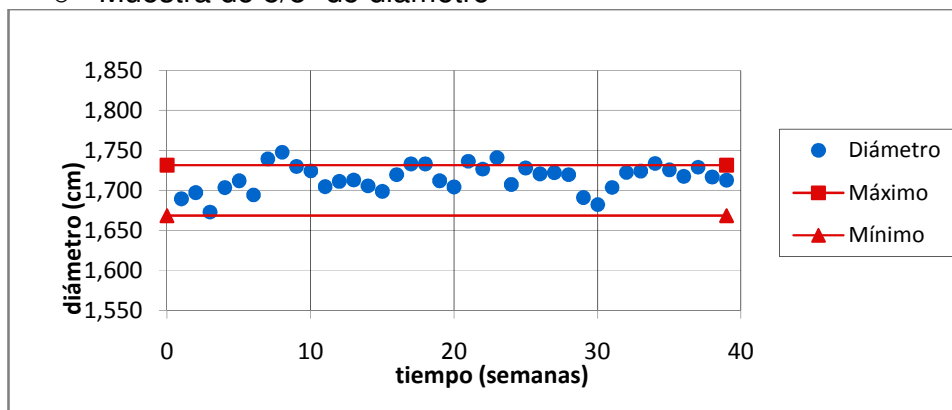


Gráfico 4.1. Tiempo vs. Diámetro. HCl 5% - Barra GFRP Ø 5/8".

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro.

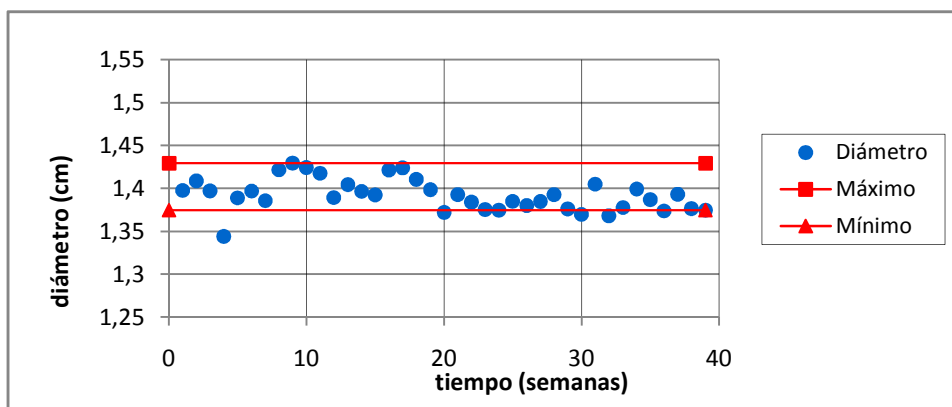


Gráfico 4.2. Tiempo vs. Diámetro. HCl 5% - Barra GFRP Ø 1/2".

Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Clorhídrico al 10%

- Muestra de 5/8" de diámetro

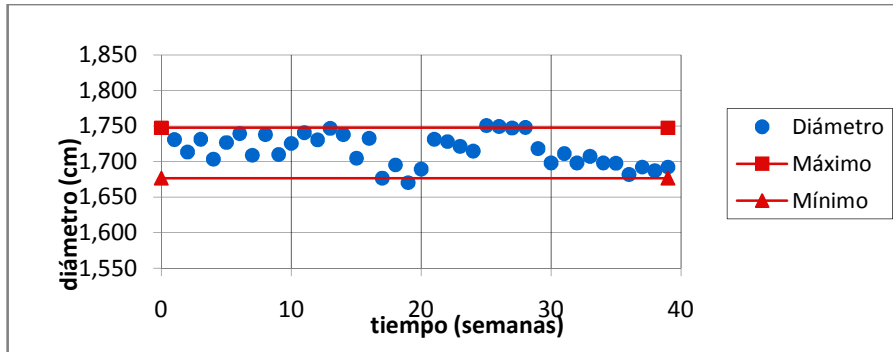


Gráfico 4.3. Tiempo vs. Diámetro. HCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8'.

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

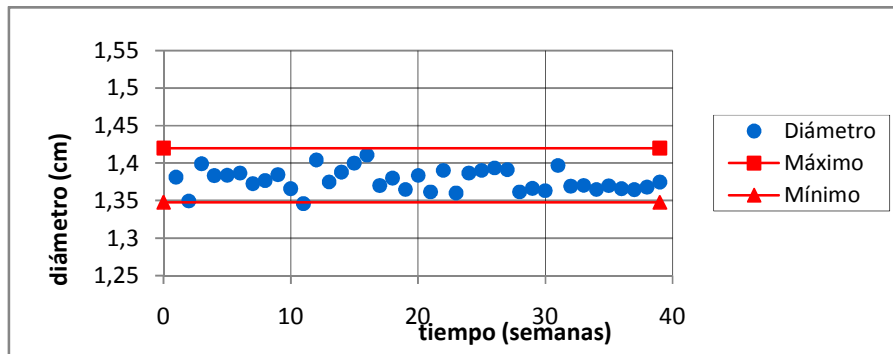


Gráfico 4.4. Tiempo vs. Diámetro. HCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2'.

Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

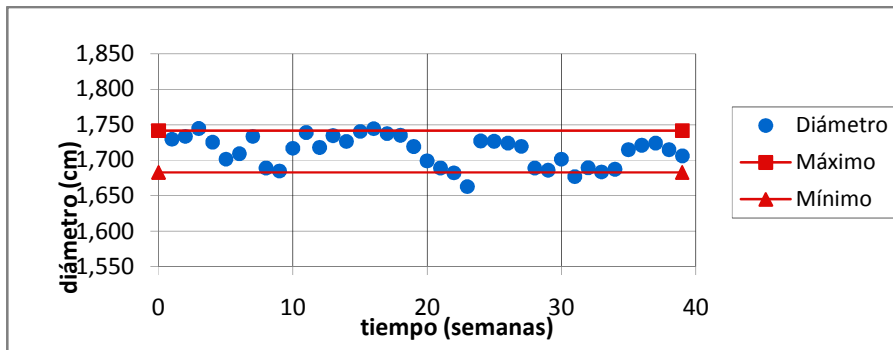
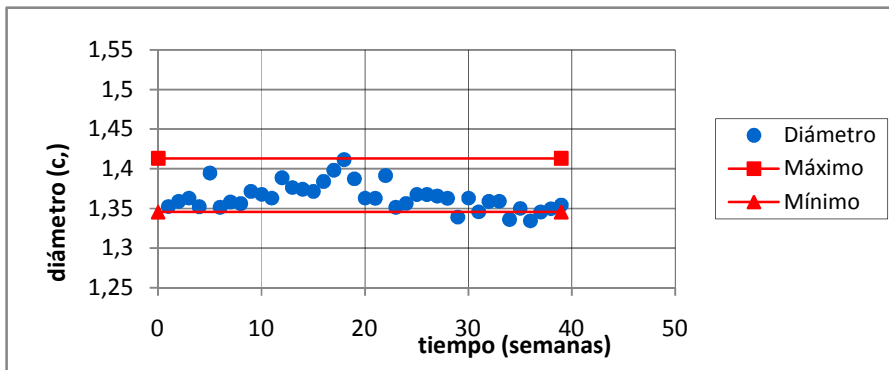


Gráfico 4.5. Tiempo vs. Diámetro. CH<sub>3</sub>COOH 5% - Barra GFRP Ø 5/8'.

Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra de 1/2" de diámetro





- Ácido Sulfúrico al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

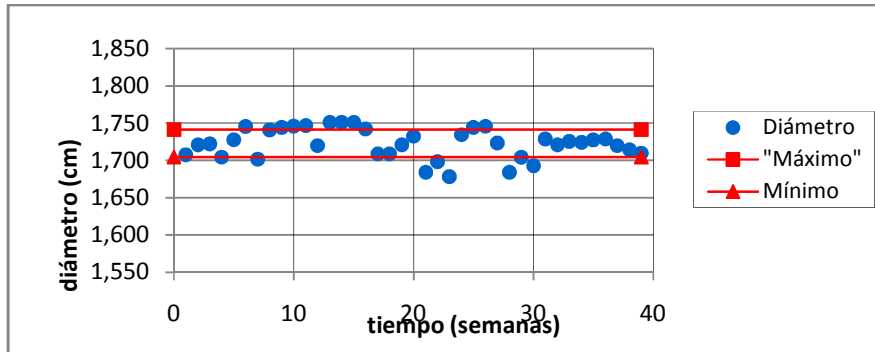


Gráfico 4.9 Tiempo vs. Diámetro. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 5/8".

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

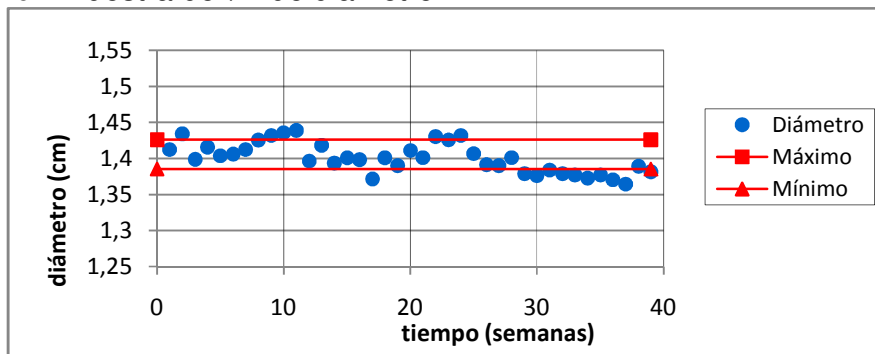


Gráfico 4.10. Tiempo vs. Diámetro. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 1/2".

Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

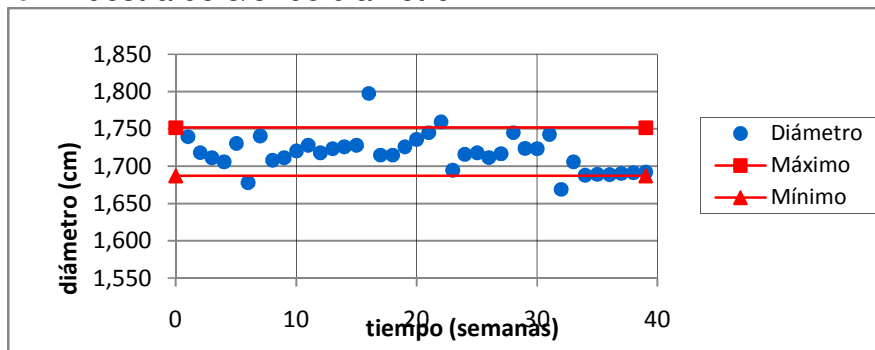


Gráfico 4.11. Tiempo vs. Diámetro. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 5/8".

Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra de 1/2" de diámetro

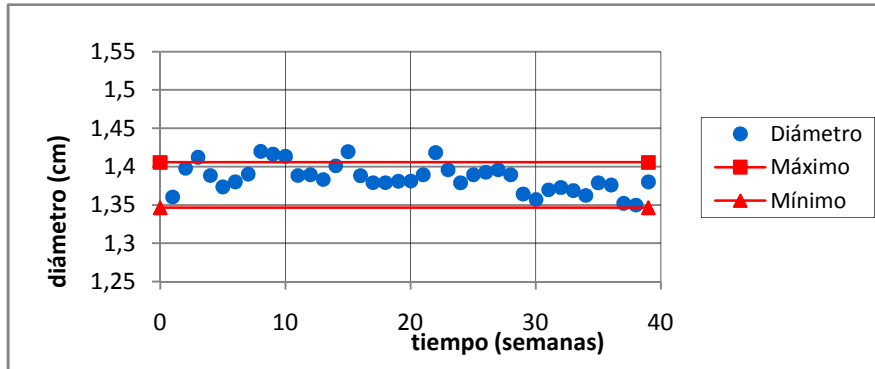


Gráfico 4.12. Tiempo vs. Diámetro. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2".

Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas puede observarse variabilidad de los diámetros sin una tendencia definida, ésto es producto de la irregularidad de la superficie de las barras, ya que en la mayoría de los casos excede pocas veces la franja de desviación estándar definida para cada barra, en los casos en que si es excedida esta franja no llega a superar una variación de 0,1 cm, lo que indica que no es representativa y puede ser producto de incrustaciones en las barras debido a precipitaciones de la solución en la que se encontraba sumergida, o a imprecisiones de medición.

4.1.1.2. GRÁFICOS TIEMPO VS. LONGITUD

• Ácido Clorhídrico al 5%

○ Muestra de 5/8" de diámetro

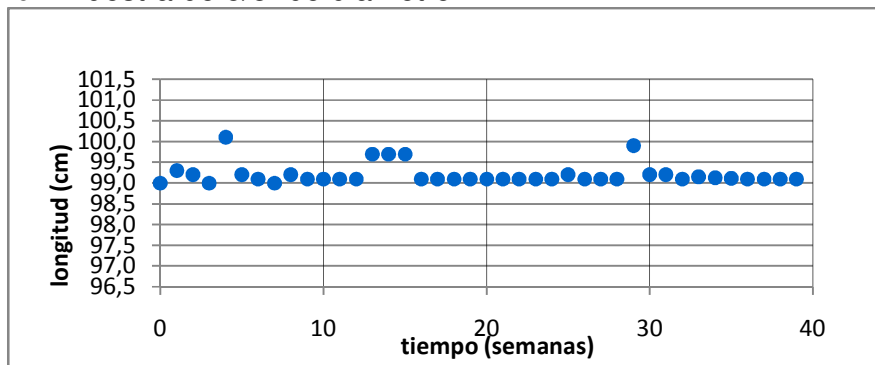


Gráfico 4.13. Tiempo vs. Longitud. HCl 5% - Barra GFRP Ø 5/8".

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

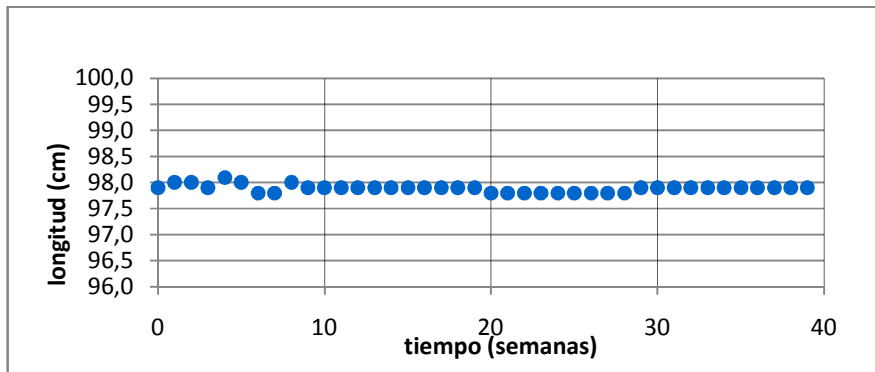


Gráfico 4.14. Tiempo vs. Longitud. HCl 5% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Clorhídrico al 10%

- Muestra de 5/8" de diámetro

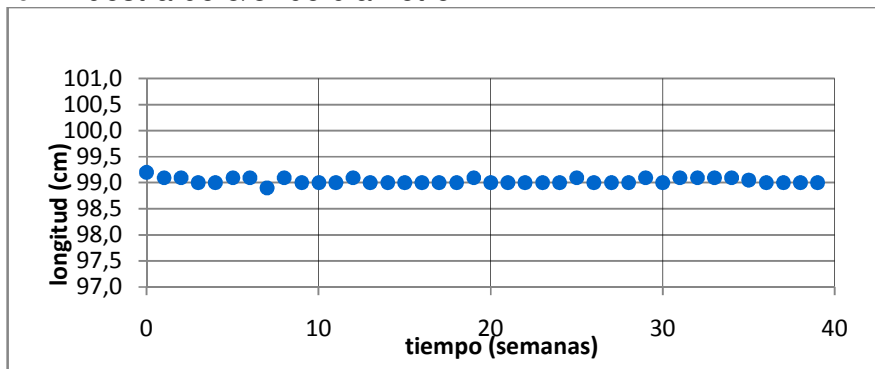


Gráfico 4.15. Tiempo vs. Longitud. HCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro



Gráfico 4.16. Tiempo vs. Longitud. HCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

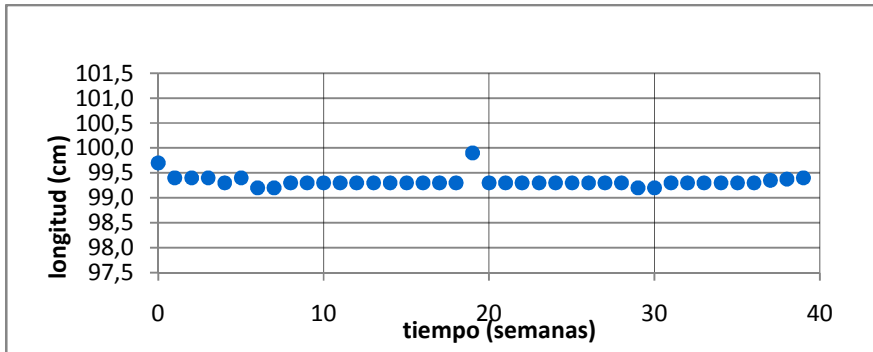


Gráfico 4.17. Tiempo vs. Longitud. CH<sub>3</sub>COOH 5% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

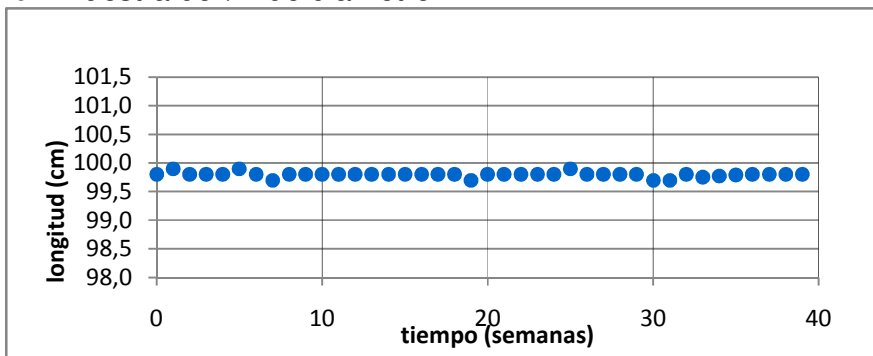


Gráfico 4.18. Tiempo vs. Longitud. CH<sub>3</sub>COOH 5% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético al 20%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

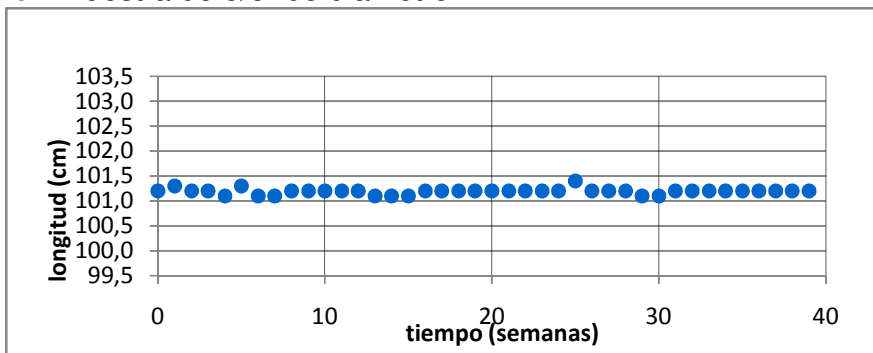


Gráfico 4.19. Tiempo vs. Longitud. CH<sub>3</sub>COOH 20% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

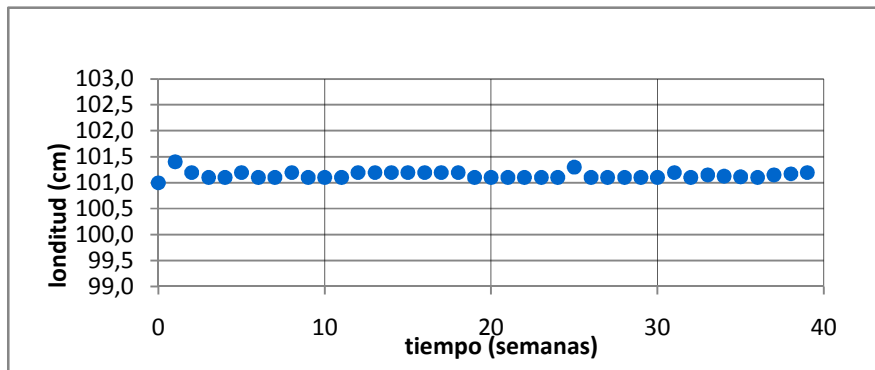


Gráfico 4.20. Tiempo vs. Longitud.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  20% - Barra GFRP  $\varnothing$  1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

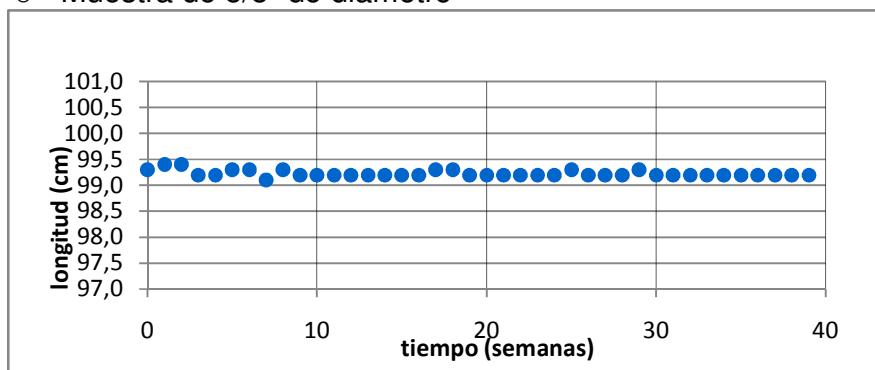


Gráfico 4.21. Tiempo vs. Longitud.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5% - Barra GFRP  $\varnothing$  5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

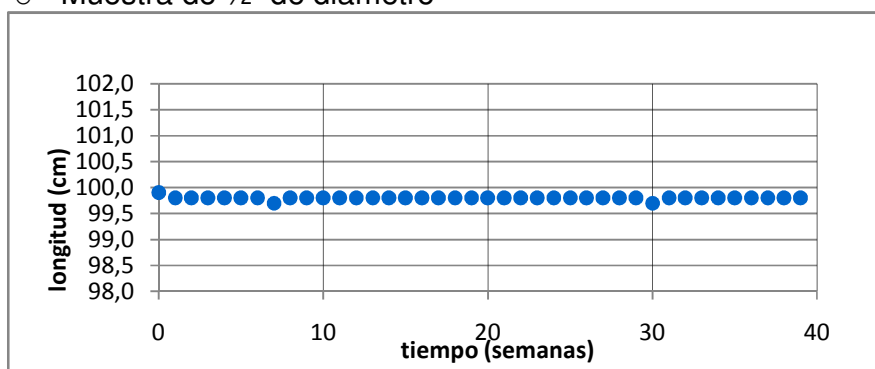


Gráfico 4.22. Tiempo vs. Longitud.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5% - Barra GFRP  $\varnothing$  1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

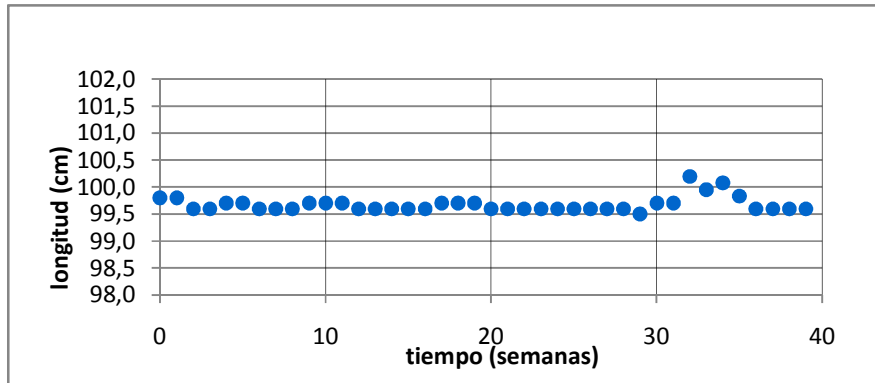


Gráfico 4.23. Tiempo vs. Longitud. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

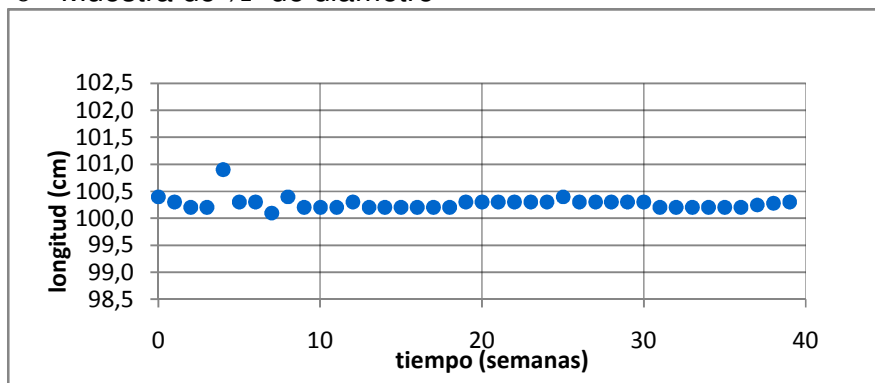


Gráfico 4.24. Tiempo vs. Longitud. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas presentadas puede observarse una tendencia lineal con pendiente cero, lo cual indica que no hubo variación en la longitud de la barra. Los saltos localizados que pueden apreciarse obedecen a imprecisión del instrumento y errores de medición.

### 4.1.1.3. GRÁFICOS TIEMPO VS. PESO

- Ácido Clorhídrico al 5%

- Muestra de 5/8" de diámetro

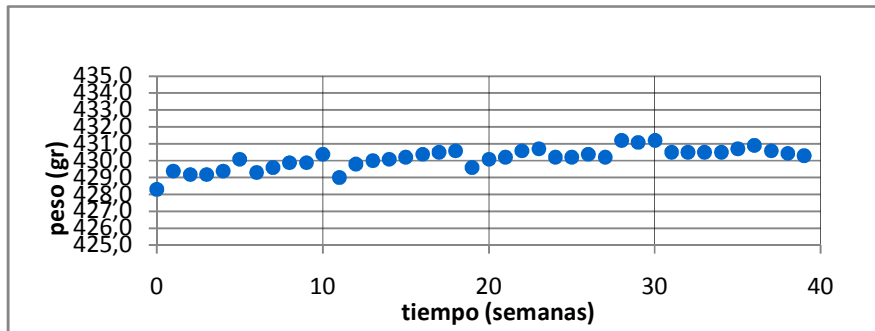


Gráfico 4.25. Tiempo vs. Peso HCl 5% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

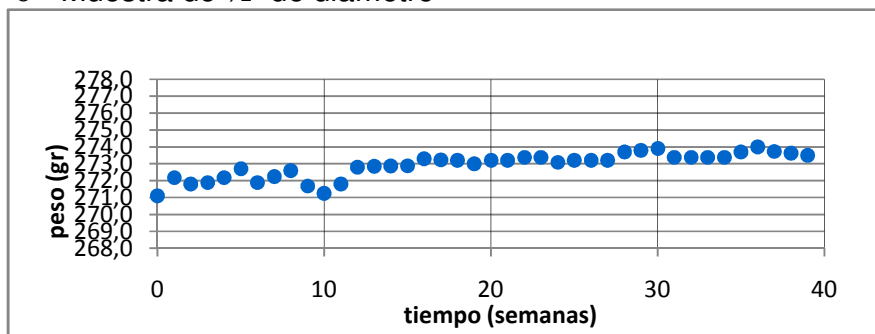


Gráfico 4.26. Tiempo vs. Peso HCl 5% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Clorhídrico al 10%

- Muestra de 5/8" de diámetro

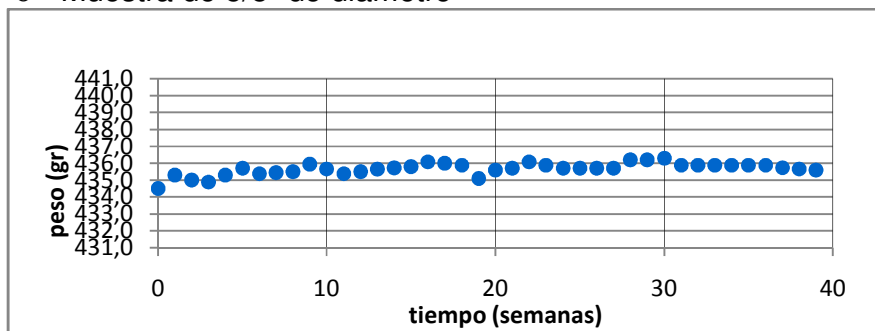


Gráfico 4.27. Tiempo vs. Peso HCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

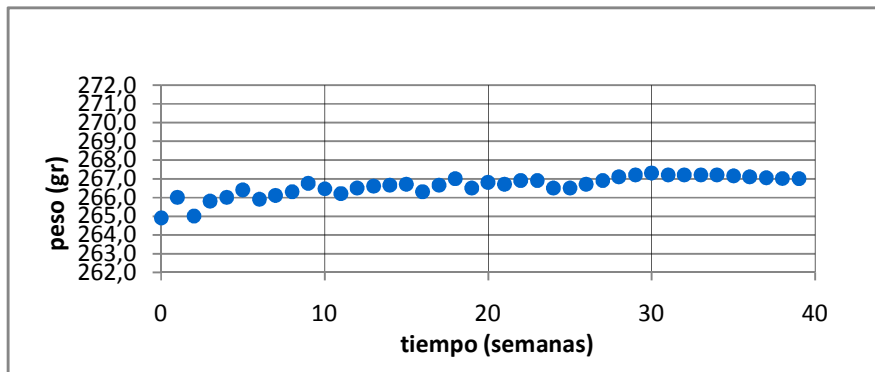


Gráfico 4.28. Tiempo vs. Peso HCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

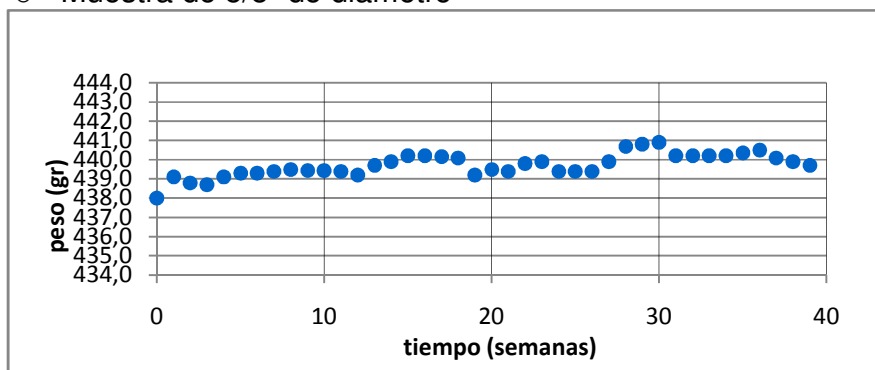


Gráfico 4.29. Tiempo vs. Peso CH<sub>3</sub>COOH 5% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

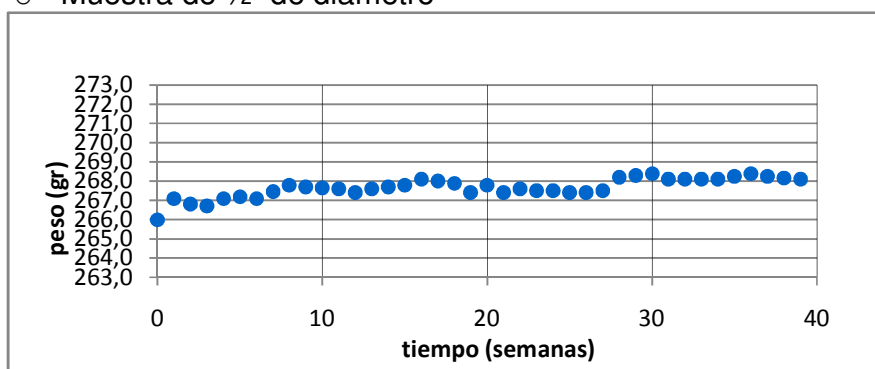


Gráfico 4.30. Tiempo vs. Peso CH<sub>3</sub>COOH 5% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.



- Ácido Acético al 20%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

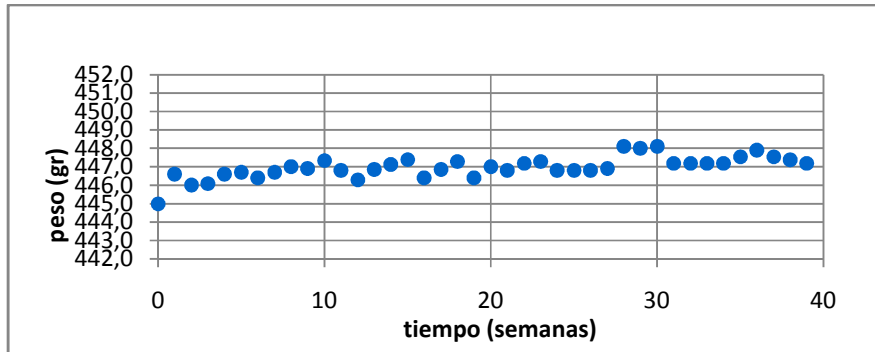


Gráfico 4.31. Tiempo vs. Peso  $\text{CH}_3\text{COOH}$  20% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

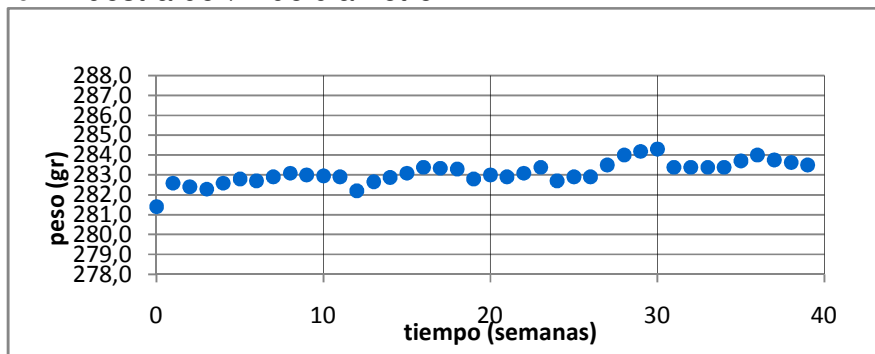


Gráfico 4.32. Tiempo vs. Peso  $\text{CH}_3\text{COOH}$  20% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

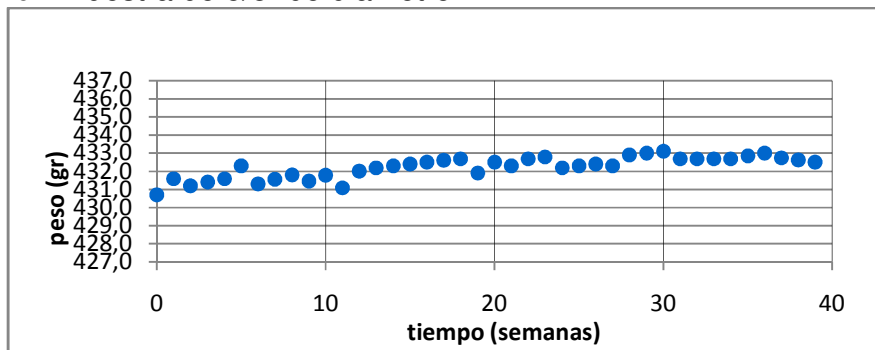


Gráfico 4.33. Tiempo vs. Peso  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

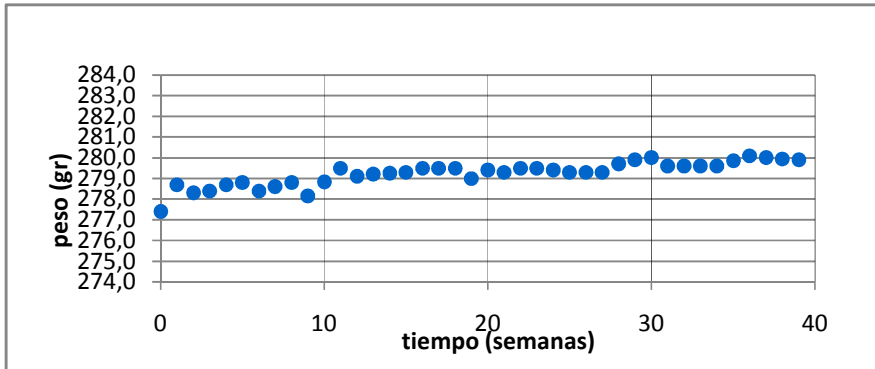


Gráfico 4.34. Tiempo vs. Peso H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

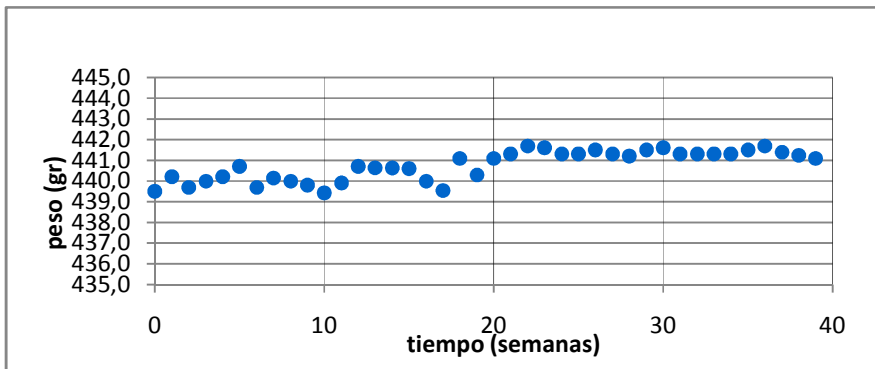


Gráfico 4.35. Tiempo vs. Peso H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

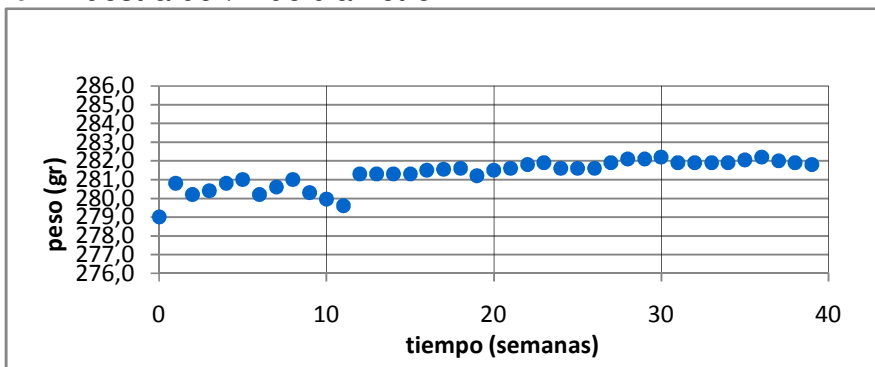


Gráfico 4.36. Tiempo vs. Peso H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

Puede apreciarse claramente la tendencia al aumento del peso en de las barras sometidas en las diversas soluciones ácidas, sin embargo en ninguno de los casos este aumento excede a los 5 gr.

#### 4.1.1.4. GRÁFICOS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN

A continuación se presentan las gráficas de esfuerzo vs deformación unitaria obtenidas del ensayo a tracción de las barras GFRP sometidas a ambientes ácidos. Los datos de laboratorio se encuentran en el apéndice 1.1.4. y 1.1.5, página 118.

- Ácido Clorhídrico al 5%
  - Muestra de 5/8" de diámetro

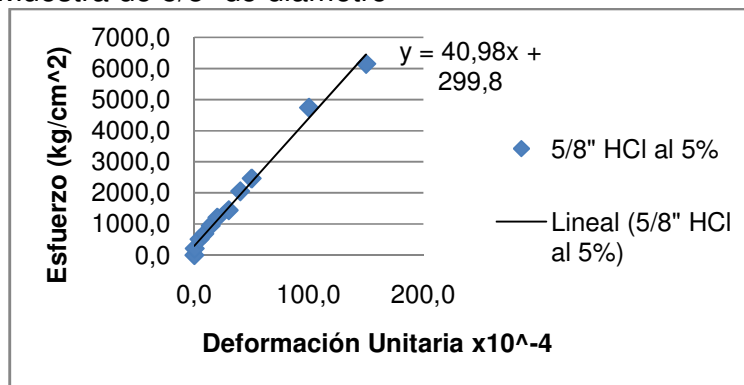


Gráfico 4.37. Esfuerzo vs Deformación. HCl 5% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

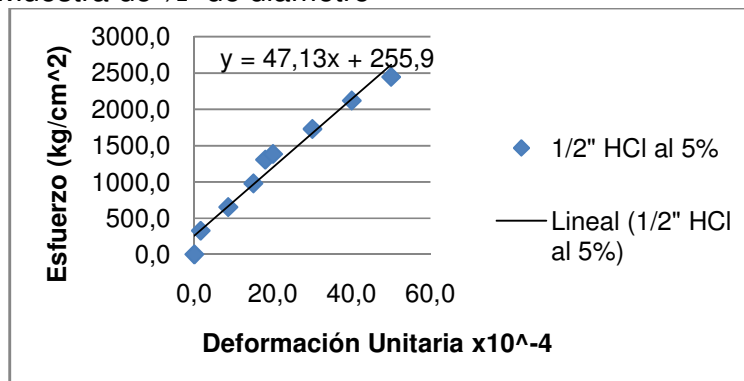


Gráfico 4.38. Esfuerzo vs Deformación. HCl 5% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Clorhídrico al 10%

- Muestra de 5/8" de diámetro

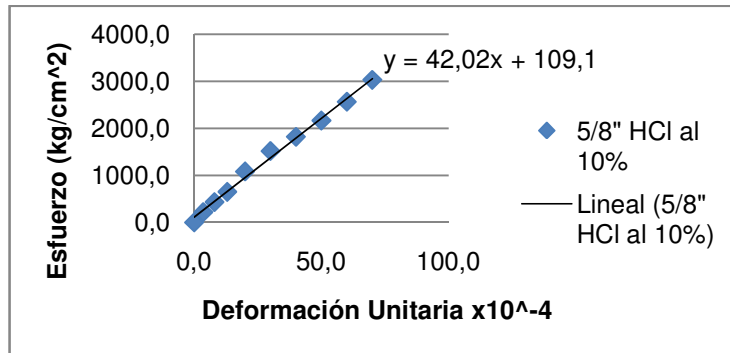


Gráfico 4.39. Esfuerzo vs Deformación. HCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

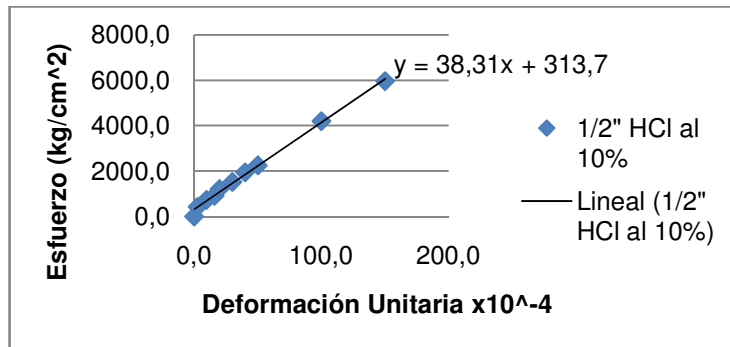


Gráfico 4.40. Esfuerzo vs Deformación. HCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

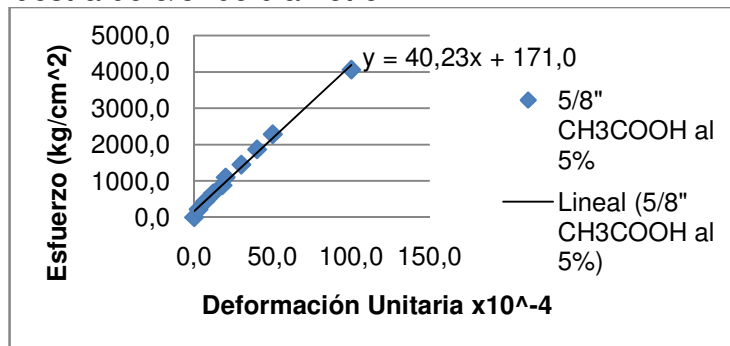


Gráfico 4.41. Esfuerzo vs Deformación. CH<sub>3</sub>COOH 5% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

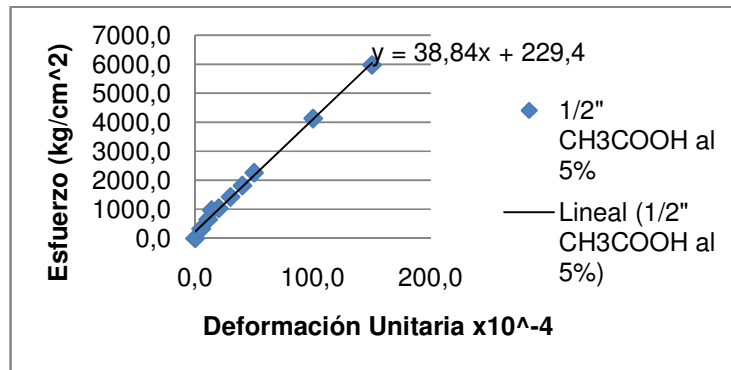


Gráfico 4.42. Esfuerzo vs Deformación. CH<sub>3</sub>COOH 5% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético al 20%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

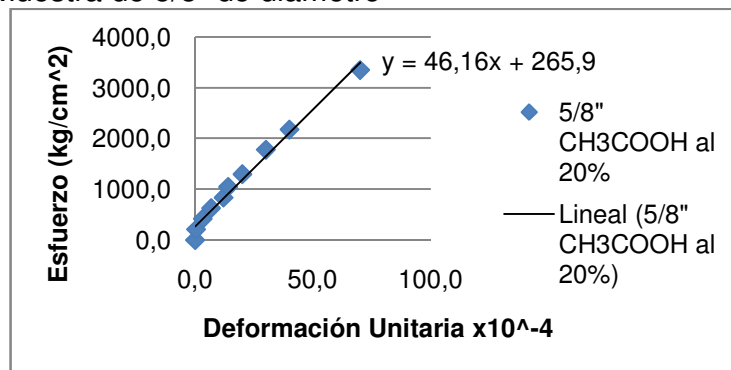


Gráfico 4.43. Esfuerzo vs Deformación. CH<sub>3</sub>COOH 20% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

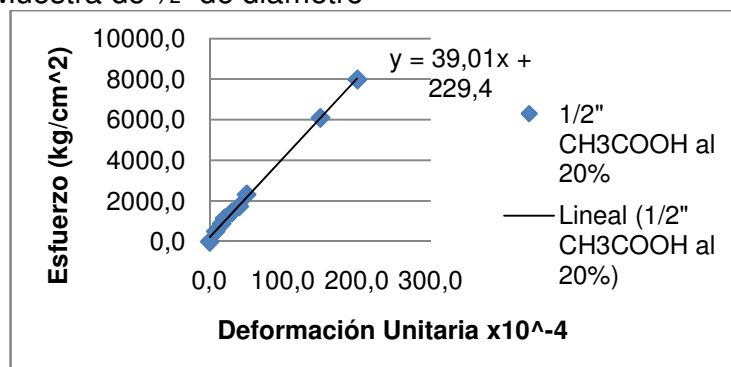


Gráfico 4.44. Esfuerzo vs Deformación. CH<sub>3</sub>COOH 20% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico al 5%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

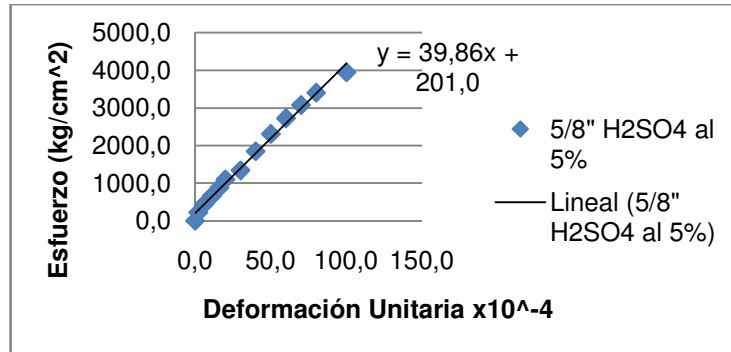


Gráfico 4.45. Esfuerzo vs Deformación. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

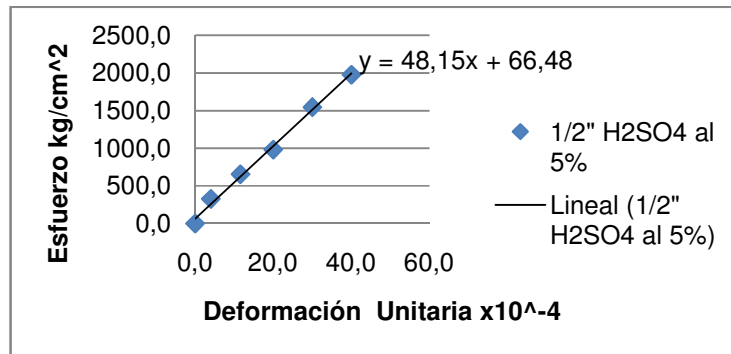


Gráfico 4.46. Esfuerzo vs Deformación. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

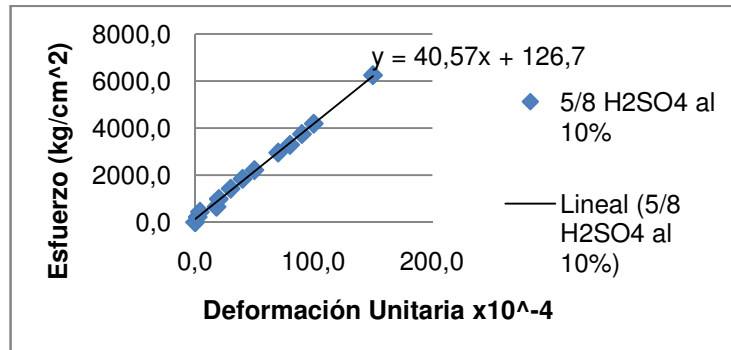


Gráfico 4.47. Esfuerzo vs Deformación. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

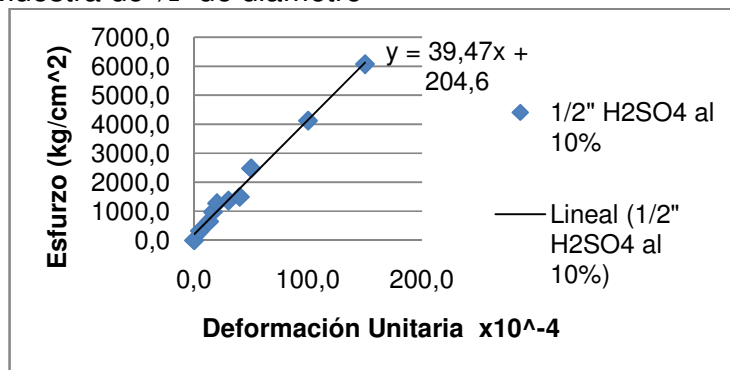


Gráfico 4.48. Esfuerzo vs Deformación. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

Las curvas de esfuerzo vs deformación se represento con una aproximación lineal en la tendencia de los puntos ya que la las barras GFRP tienen una relación esfuerzo-deformación lineal y carece de rango plástico. En cada una de las gráficas se anexaron las ecuaciones de las rectas para visualizar a simple vista el módulo elástico de cada barra, de esta forma puede apreciarse que no variaron drásticamente entre ellas y se encuentran cercanas al valor patrón del fabricante, el módulo de elasticidad de cada barra es mostrado con detalle en la tabla 4.1 que se presenta mas adelante. En el caso de la resistencia máxima a tracción ( $f^*_{fu}$ ) no fue posible obtenerla en la mayoría de los casos debido a que los mangos de resina cubiertos con tubos galvanizados que se hicieron a cada barra para que la máquina de ensayos universal pudiera sujetarla sin causar daño a la barra tuvieron deslizamiento y no fue posible realizar el ensayo hasta ocurrida la falla de la barra GFRP, sin embargo la mayoría de las barras de 1/2" de diámetro si llegaron a la falla y puede apreciarse que las rectas de deformación alcanzan valores máximos sobre los 6000 Kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo, lo que indica que las barras no disminuyeron la resistencia a la tracción.

A continuación se presenta en la tabla siguiente los valores obtenidos de módulo de elasticidad, resistencia última y máxima deformación de las barras sometidas a ambientes ácidos.

Solución	∅	% de concentración	Estado final	f <sub>fu</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad x10E6 (Kg/cm <sup>2</sup> )	Máxima deformación (cm/cm)*10-4
H2SO4	5/8	5	Deslizó	-	0,3986	111,372
		10	Falló	6613,590	0,4057	163,017
	1/2	5	Falló	6601,640	0,4815	137,106
		10	Falló	7284,725	0,3947	184,564
CH3COOH	5/8	5	Falló	7142,387	0,4023	177,539
		20	Deslizó	-	0,4616	90,584
	1/2	5	Falló	6820,910	0,3884	175,616
		20	Falló	8992,885	0,3901	230,528
HCl	5/8	5	Falló	7008,239	0,4098	171,016
		10	Deslizó	-	0,4202	75,720
	1/2	5	Deslizó	-	0,4713	90,946
		10	Falló	6324,197	0,3831	165,080

Tabla 4.1. Propiedades mecánicas de las barras GFRP sometidas a ambientes ácidos

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los valores de resistencia última ( $f^*_{fu}$ ) y módulo de elasticidad ( $E$ ) garantizado por el fabricante de las barras GFRP.

Dimensión de la Barra	Diámetro	f <sup>*</sup> <sub>fu</sub>	ε <sup>*</sup> <sub>fu</sub>
# 5	5/8"	6683,7	0,416x10 <sup>6</sup>
# 4	1/2"	7040,8	0,416x10 <sup>6</sup>

Tabla 4.2. Propiedades mecánicas de las barras GFRP garantizadas por el fabricante

Fuente: Hughes Brothers, Inc.

Se puede observar una pequeña variación en los módulos al comparar con los patrones del fabricante; esto puede deberse a la diferencia en las condiciones del ensayo y laboratorio entre el fabricante y los utilizados para este estudio. A fin de comparar con un patrón obtenido bajo las mismas condiciones, se tomaron los valores obtenidos en la tesis "Caracterización de las Barras Reforzadas con Fibra de Vidrio como Refuerzo del Concreto Armado" realizada por Alexander Domínguez y Danni Guillan de la Universidad Católica Andrés Bello, tutorada por el profesor Ronald Torres, el valor promedio que se obtuvo para un grupo de barras del mismo lote de fabricación que las utilizadas en este estudio fue:

$$E_{LP} = 0,409 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$



#### 4.1.2. Exposición prolongada en ambientes alcalinos

A continuación se podrán observar a través de los gráficos la variación de las barras GFRP a lo largo de 40 semanas (10 meses) de exposición en ambientes alcalinos. Los datos obtenidos en el laboratorio se encuentran en el anexo 1.1.3, página 93.

##### 4.1.2.1. GRÁFICOS TIEMPO VS. DIÁMETRO

Al igual que en los gráficos de variación de diámetro en función del tiempo para las barras sometidas a ambientes ácidos, en los cuales se reflejó una franja que delimita las variaciones normales del diámetro debido a la irregularidad en la superficie de las barras, ésta también fue colocada para los ambientes alcalinos, lo cual se puede observar en las gráficas a continuación.

- Hidróxido de Sodio al 3%.
  - Muestra de 5/8" de diámetro

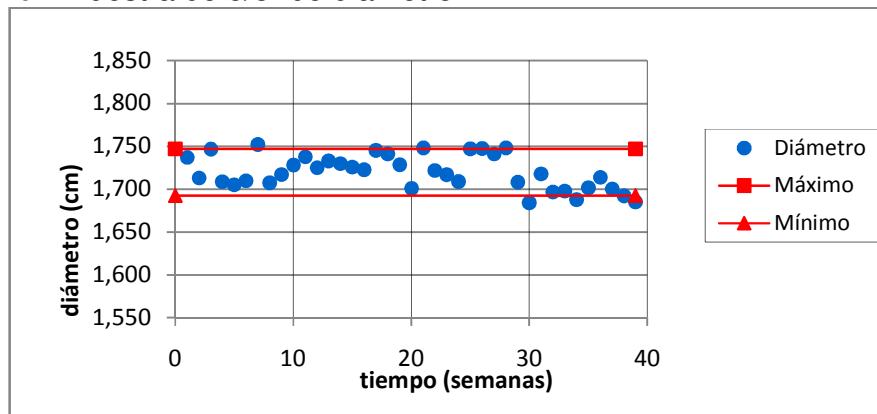


Gráfico 4.49. Tiempo vs. Diámetro NaOH 3% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra de 1/2" de diámetro

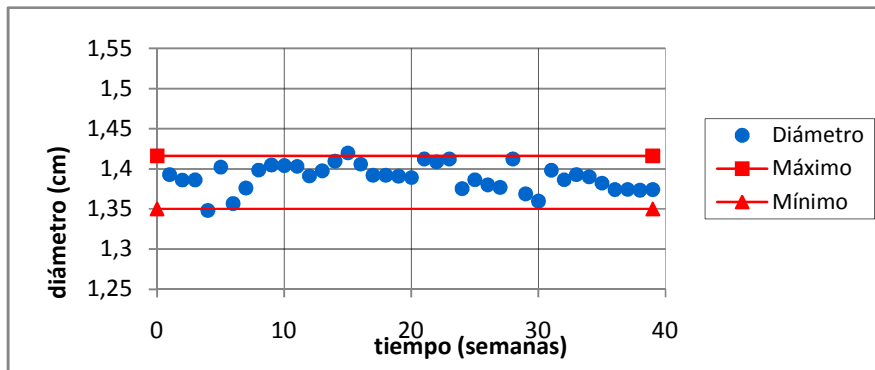


Gráfico 4.50. Tiempo vs. Diámetro NaOH 3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

• Hidróxido de Sodio al 10%.

○ Muestra de 5/8" de diámetro

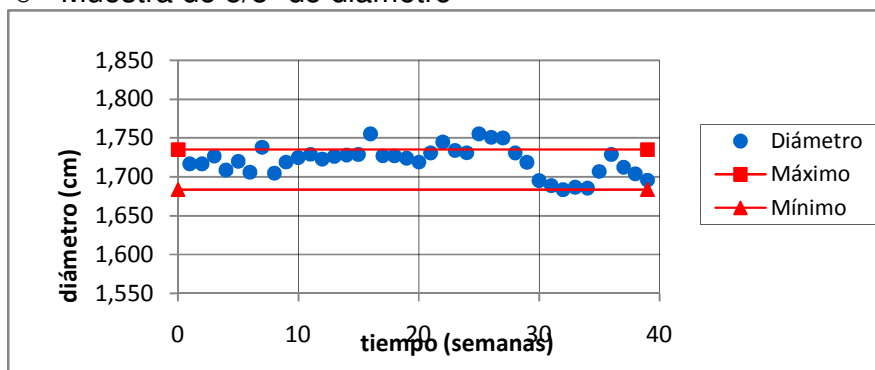


Gráfico 4.51. Tiempo vs. Diámetro NaOH 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra de 1/2" de diámetro

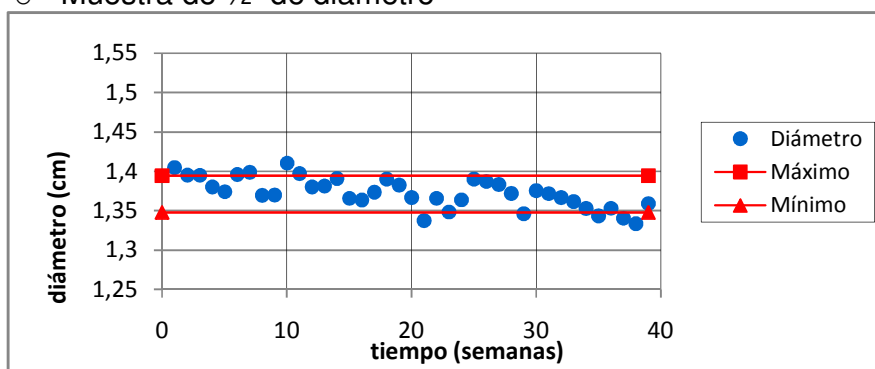


Gráfico 4.52. Tiempo vs. Diámetro NaOH 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

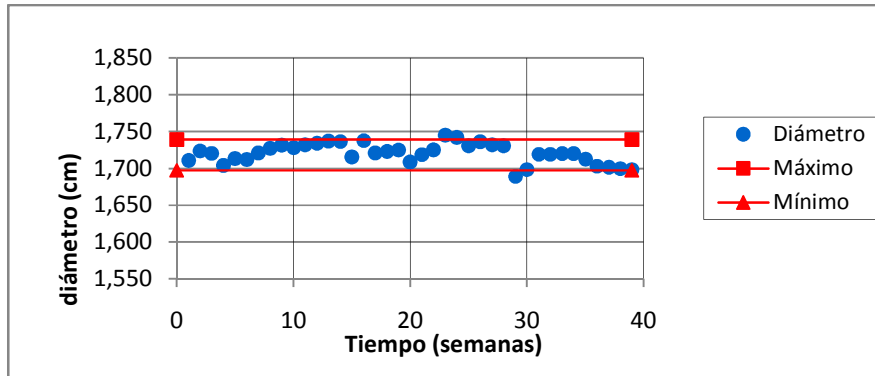


Gráfico 4.53. Tiempo vs. Diámetro NaCl 3% - Barra GFRP Ø5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

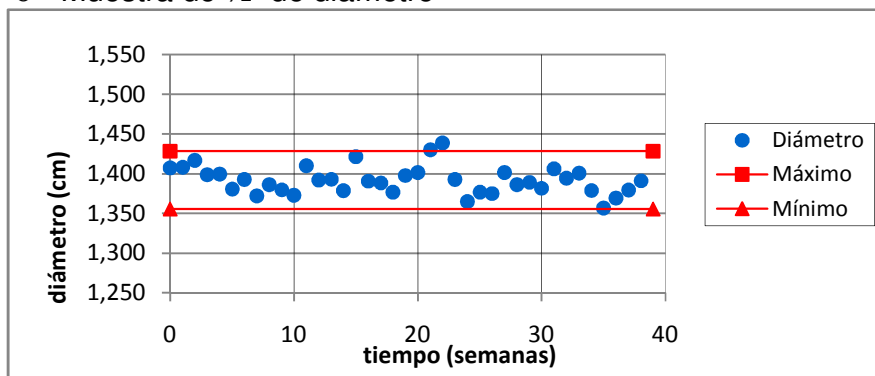


Gráfico 4.54. Tiempo vs. Diámetro NaCl 3% - Barra GFRP Ø1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 5/8" de diámetro

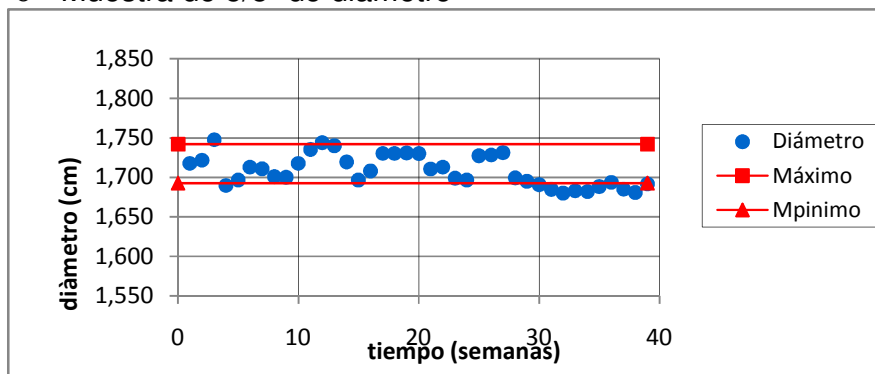


Gráfico 4.55. Tiempo vs. Diámetro NaCl 10% - Barra GFRP Ø5/8"

Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra de 1/2" de diámetro

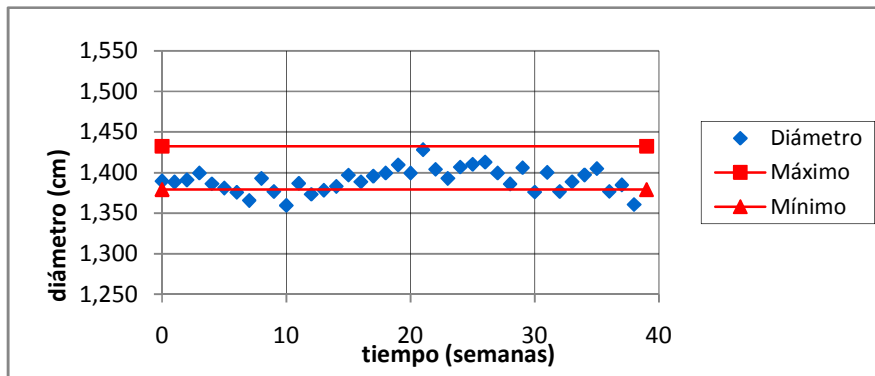


Gráfico 4.56. Tiempo vs. Diámetro NaCl 10% - Barra GFRP Ø1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

• Hidróxido de Amonio al 3%

○ Muestra de 5/8" de diámetro

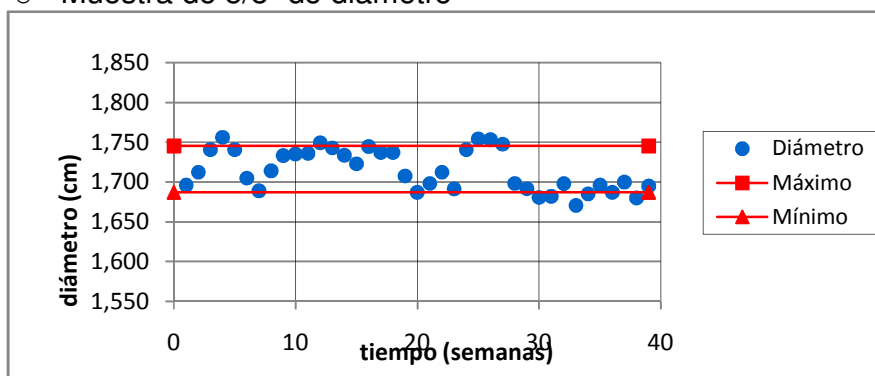


Gráfico 4.57. Tiempo vs. Diámetro NH<sub>4</sub>OH 3% - Barra GFRP Ø5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra de 1/2" de diámetro

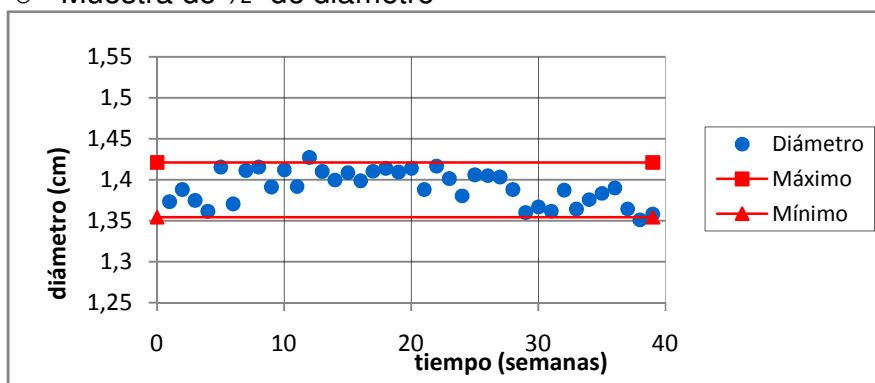


Gráfico 4.58. Tiempo vs. Diámetro NH<sub>4</sub>OH 3% - Barra GFRP Ø1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

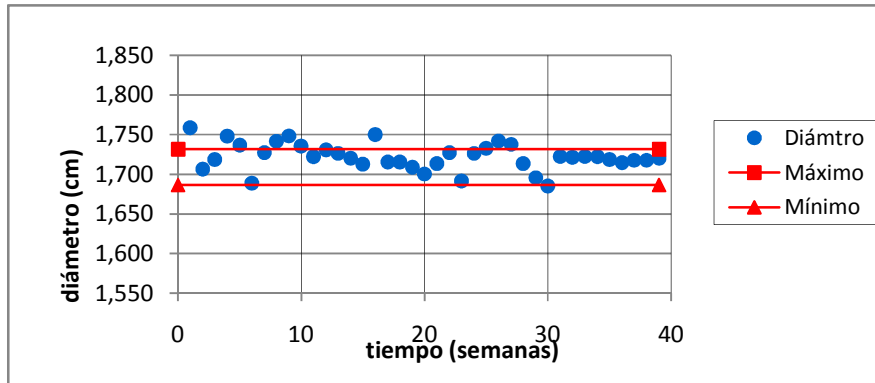


Gráfico 4.59. Tiempo vs. Diámetro  $\text{NH}_4\text{OH}$  10% - Barra GFRP  $\text{Ø}5/8''$

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

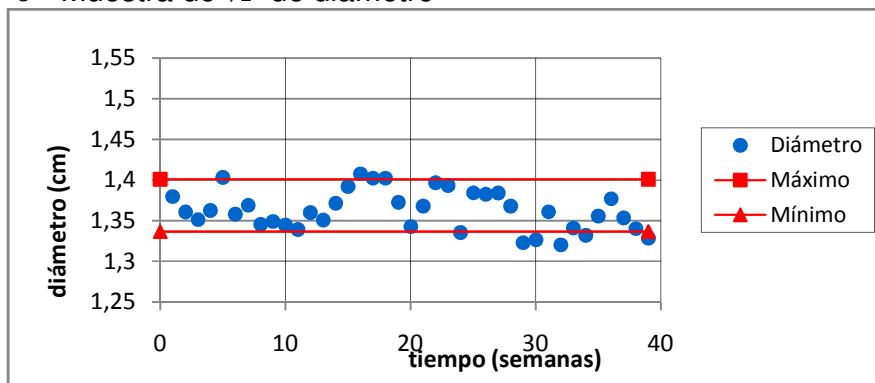


Gráfico 4.60. Tiempo vs. Diámetro  $\text{NH}_4\text{OH}$  10% - Barra GFRP  $\text{Ø}1/2''$

Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos presentados puede notarse que a pesar de la dispersión en los datos obtenidos, ningún valor registró una variación de 0,1 cm, sin embargo la dispersión es un poco mayor que en el caso de los ambientes ácidos, lo cual puede indicar que las barras sufrieron un poco más de desgaste en los ambientes alcalinos que en los ambientes ácidos.

#### 4.1.2.2. GRÁFICOS TIEMPO VS. LONGITUD

- Hidróxido de Sodio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

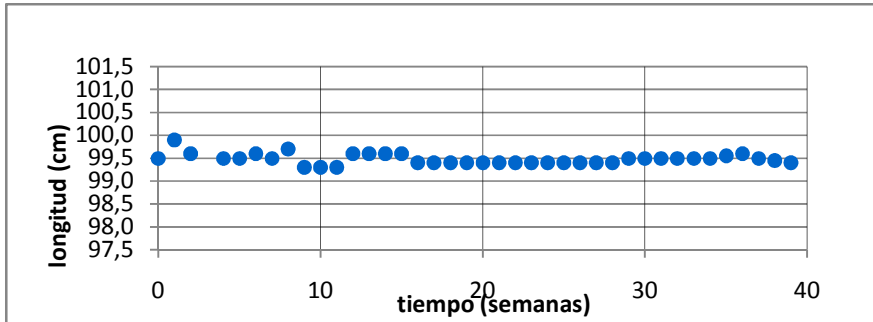


Gráfico 4.61. Tiempo vs. Longitud  $H_2SO_4$  3% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

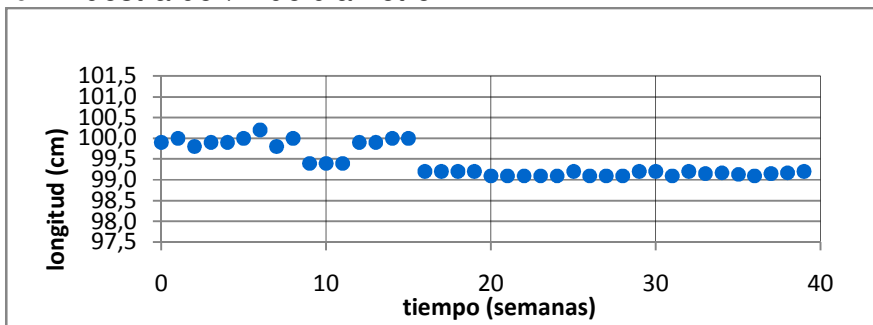


Gráfico 4.62. Tiempo vs. Longitud  $H_2SO_4$  3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Sodio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

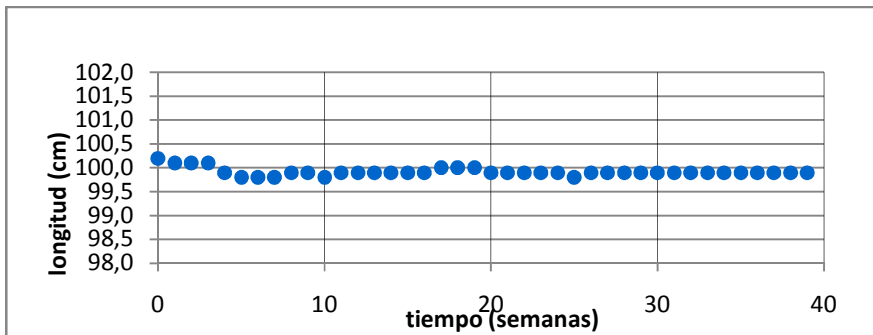


Gráfico 4.63. Tiempo vs. Longitud  $H_2SO_4$  10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

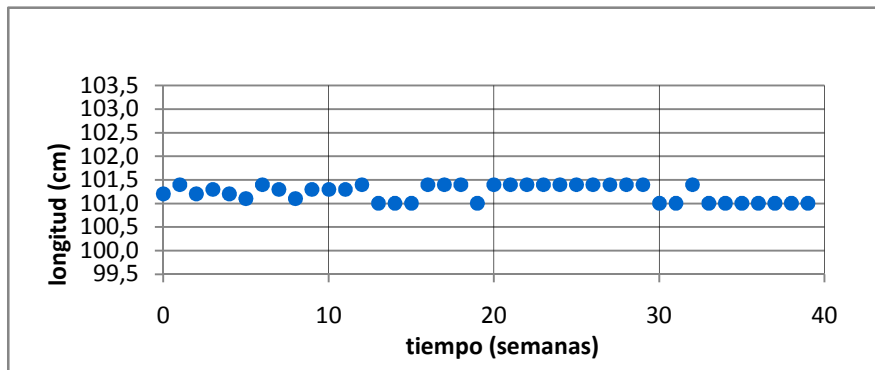


Gráfico 4.64. Tiempo vs. Longitud H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

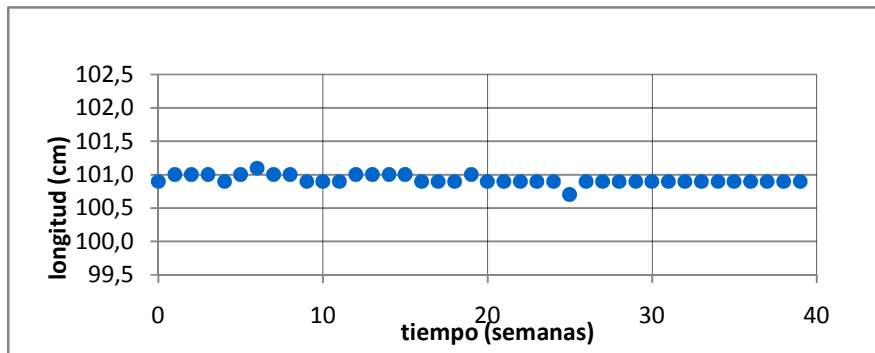


Gráfico 4.65. Tiempo vs. Longitud NaCl 3% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

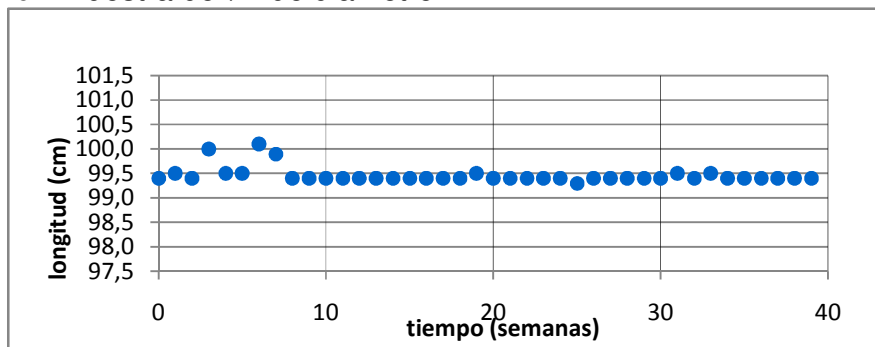


Gráfico 4.66. Tiempo vs. Longitud NaCl 3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

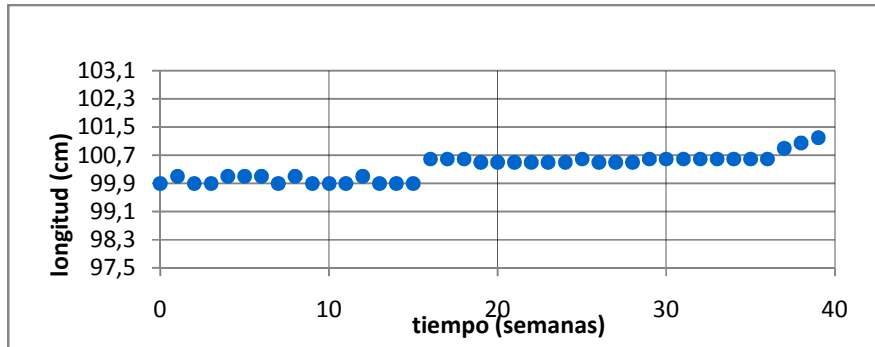


Gráfico 4.67. Tiempo vs. Longitud NaCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

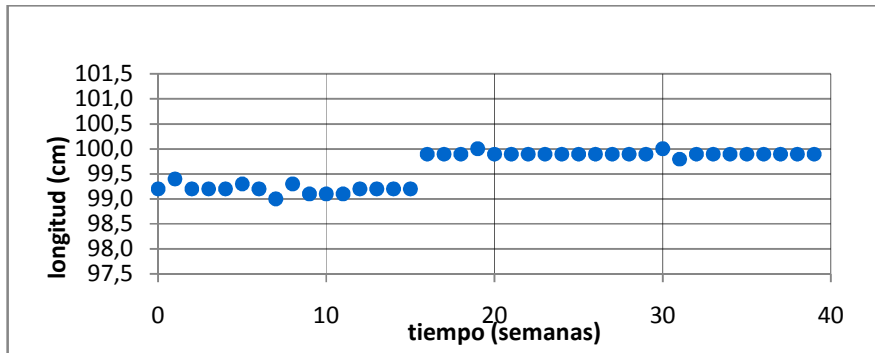


Gráfico 4.68. Tiempo vs. Longitud NaCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

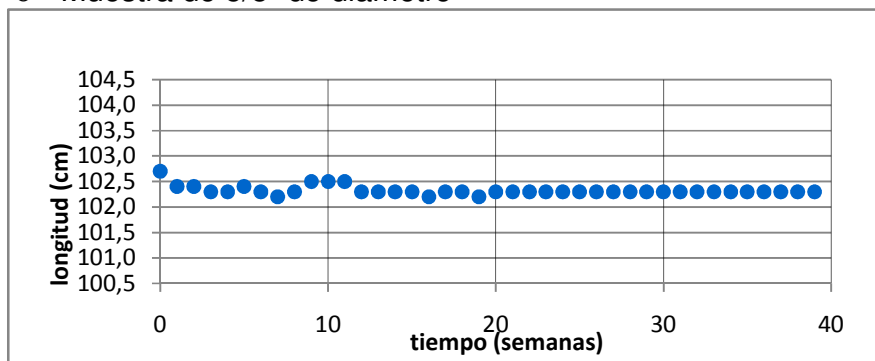


Gráfico 4.69. Tiempo vs. Longitud NH<sub>4</sub>OH 3% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.



- Muestra de 1/2" de diámetro

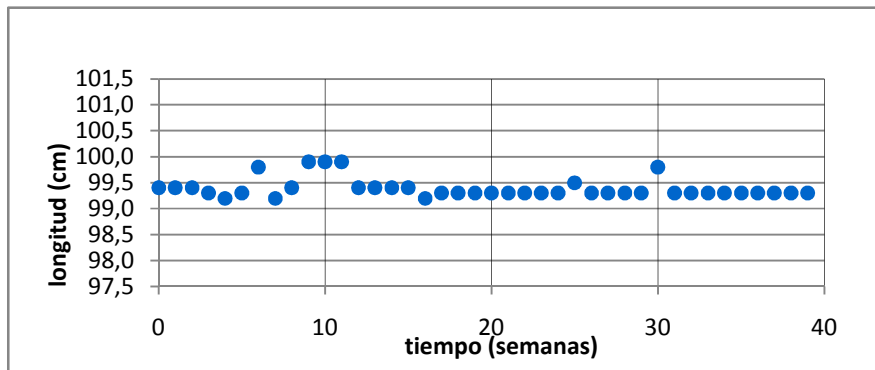


Gráfico 4.70. Tiempo vs. Longitud NH<sub>4</sub>OH 3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

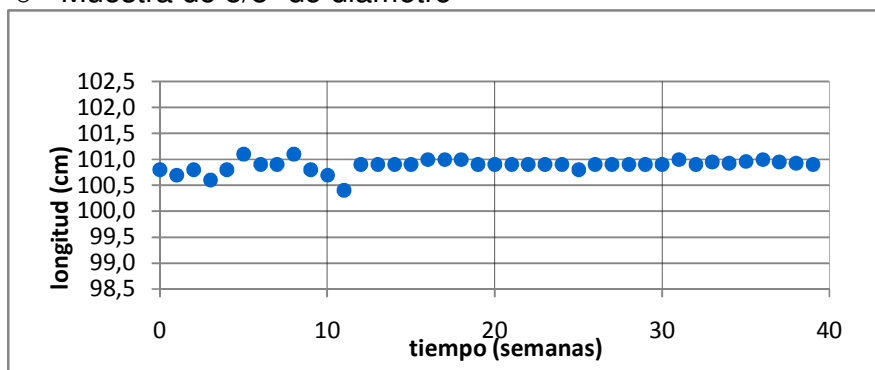


Gráfico 4.71. Tiempo vs. Longitud NH<sub>4</sub>OH 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

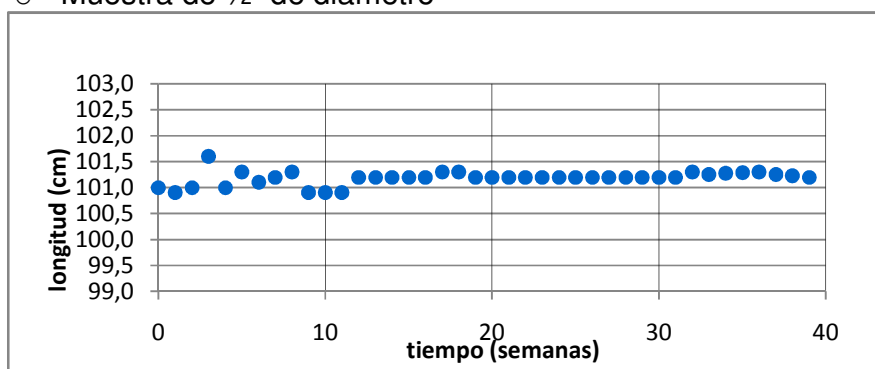


Gráfico 4.72. Tiempo vs. Longitud NH<sub>4</sub>OH 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas demuestran generalmente que las longitudes de las barras se mantuvieron sin cambios significativos, sin embargo en el caso de la gráfica 4.55, correspondiente a la barra de 5/8" sumergida en cloruro de sodio al 10%, se aprecia un aumento al final del estudio que por su crecimiento constante pudiera representar un cambio real en la longitud de la barra, sin embargo la variación es menor a 0,5 cm por lo cual no representa un cambio significativo. También puede apreciarse cambios o saltos en la tendencia lineal de la barra lo cual puede significar errores de medición y apreciación del instrumento.

#### 4.1.2.3. GRÁFICOS TIEMPO VS. PESO

- Hidróxido de Sodio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

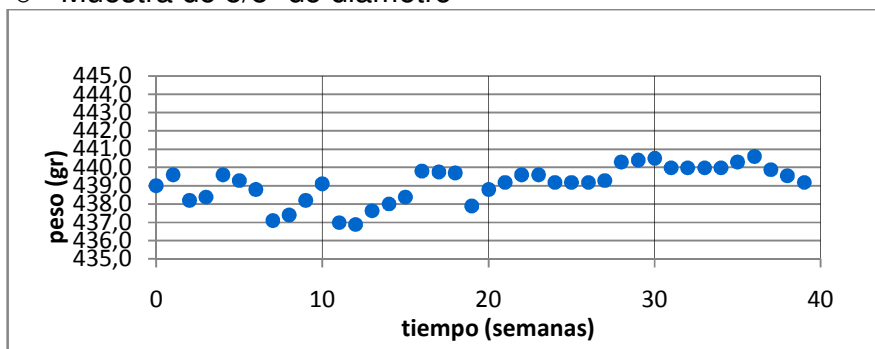


Gráfico 4.73. Tiempo vs. Peso NaOH 3% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

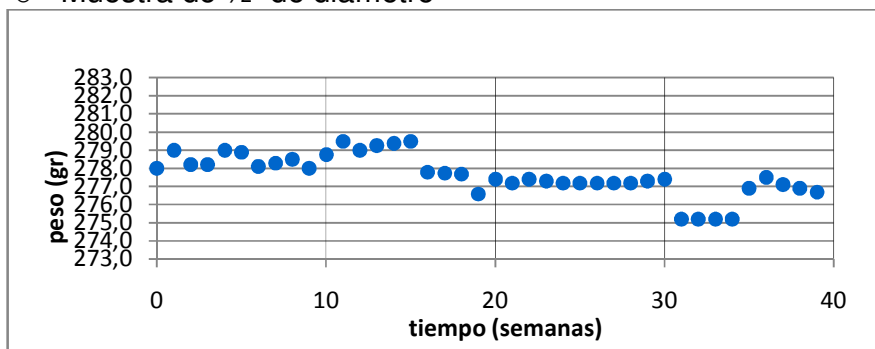


Gráfico 4.74. Tiempo vs. Peso NaOH 3% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Sodio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

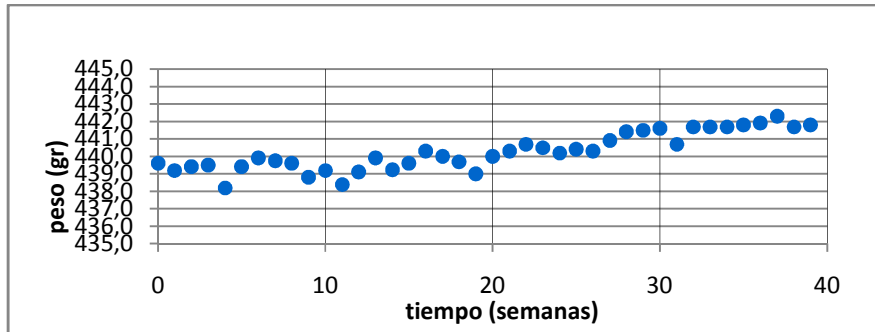


Gráfico 4.75. Tiempo vs. Peso NaOH 10% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

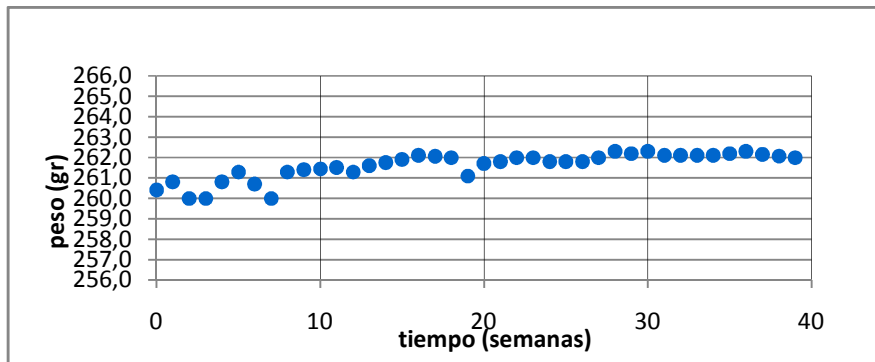


Gráfico 4.76. Tiempo vs. Peso NaOH 10% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

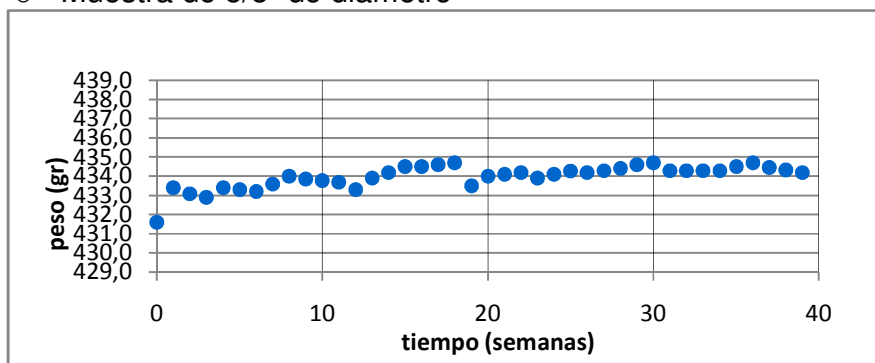


Gráfico 4.77. Tiempo vs. Peso NaCl 3% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

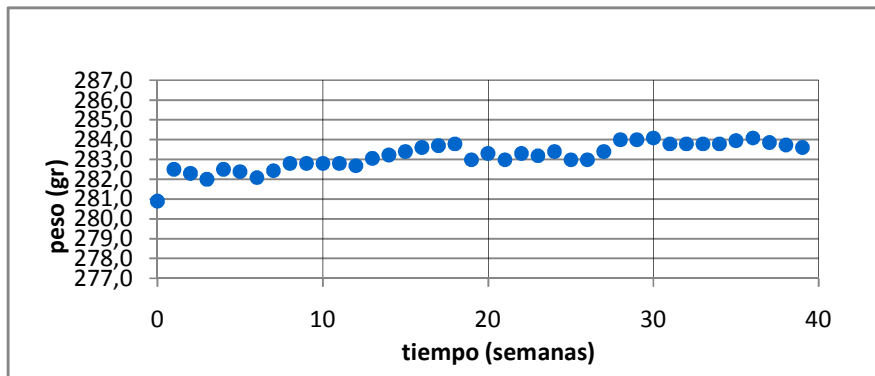


Gráfico 4.78. Tiempo vs. Peso NaCl 3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

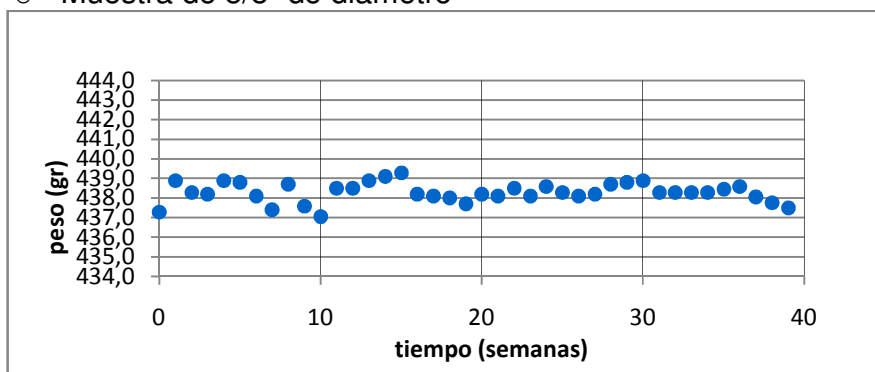


Gráfico 4.79. Tiempo vs. Peso NaCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

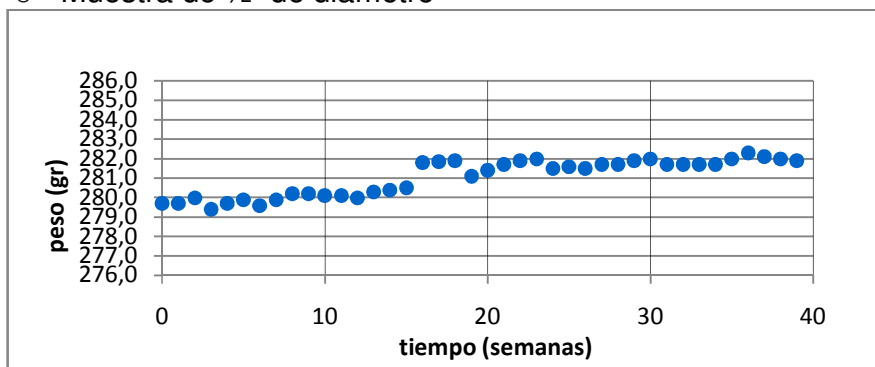


Gráfico 4.80. Tiempo vs. Peso NaCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

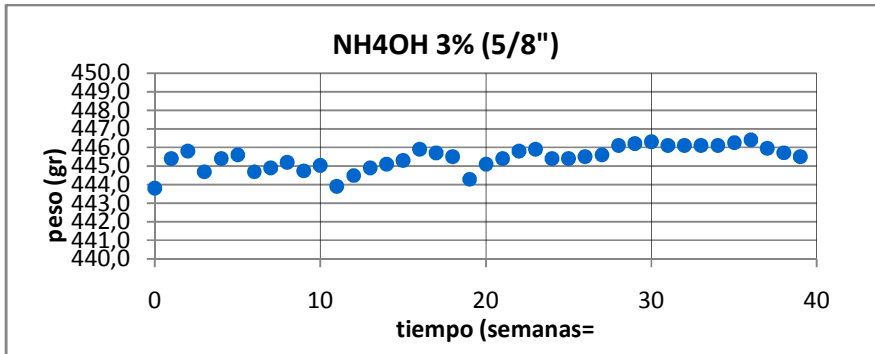


Gráfico 4.81. Tiempo vs. Peso  $\text{NH}_4\text{OH}$  3% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

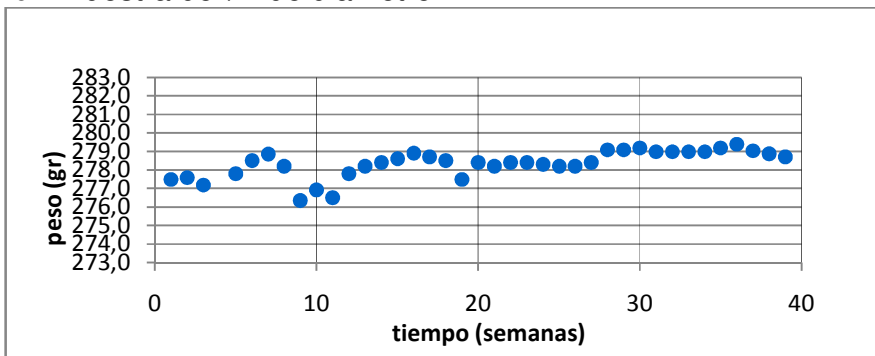


Gráfico 4.82. Tiempo vs. Peso  $\text{NH}_4\text{OH}$  3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

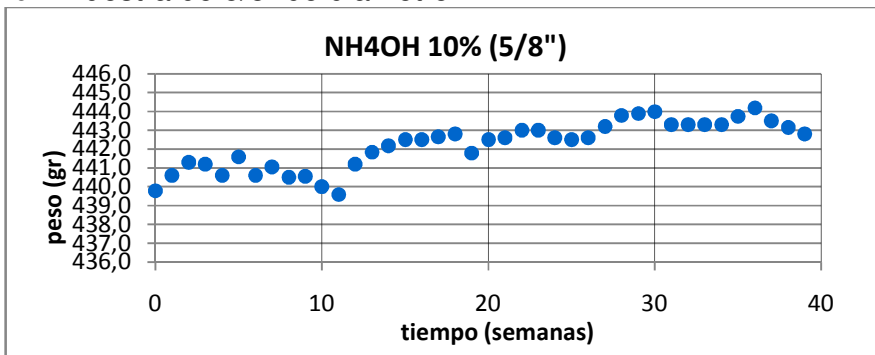


Gráfico 4.83. Tiempo vs. Peso  $\text{NH}_4\text{OH}$  10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra de 1/2" de diámetro

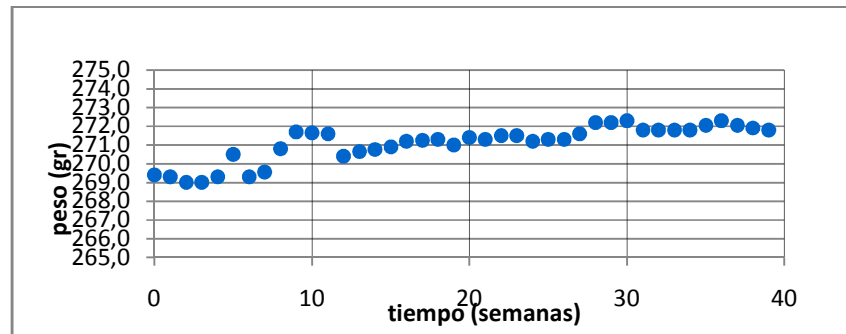


Gráfico 4.84. Tiempo vs. Peso  $\text{NH}_4\text{OH}$  10% - Barra GFRP Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas muestran una clara tendencia en aumento del peso a excepción del gráfico 4.67, correspondiente a la barra de 5/8" de diámetro sumergida en cloruro de sodio al 10 %, la cual no presentó aumento o disminución del peso, sin embargo las variaciones de aumento registradas no exceden los 5 gr. La dispersión observada responde a la sensibilidad de la balanza.

#### 4.1.2.2. GRÁFICOS ESFUERZO VS DEFORMACION

A continuación se presentan las gráficas de esfuerzo vs deformación unitaria obtenidas del ensayo a tracción de las barras GFRP sometidas a ambientes ácidos. Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el apéndice 1.1.4 y 1.1.5, página 118

- Hidróxido de Sodio al 3%.

○ Muestra de 5/8" de diámetro

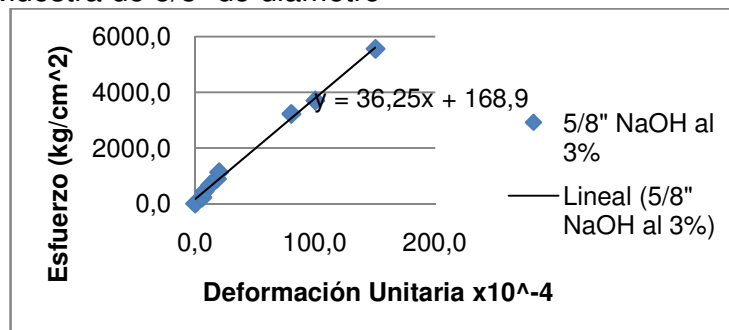


Gráfico 4.85. Esfuerzo vs Deformación.  $\text{NaOH}$  3% - Barra GFRP Ø 5/8"

Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

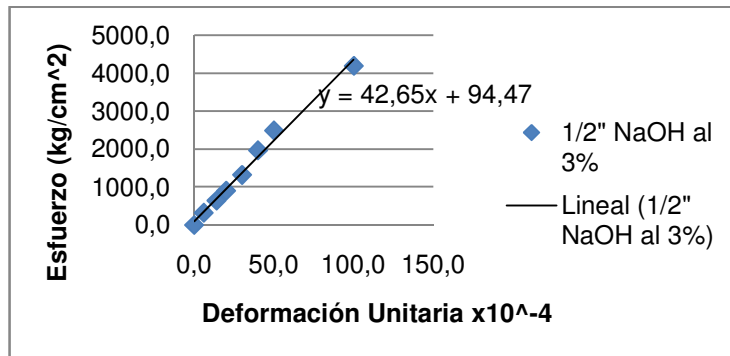


Gráfico 4.86. Esfuerzo vs Deformación. NaOH 3%- Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Sodio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

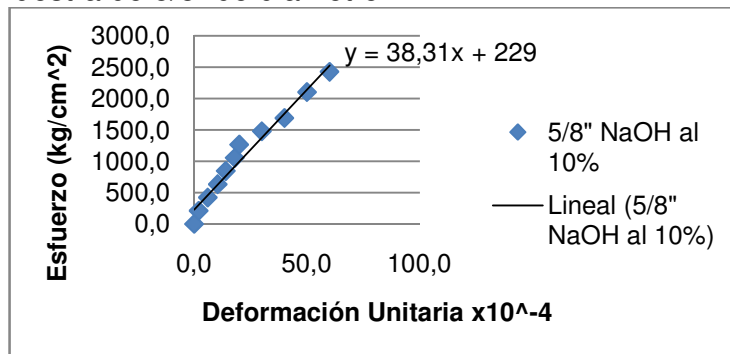


Gráfico 4.87. Esfuerzo vs Deformación. NaOH 10%- Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

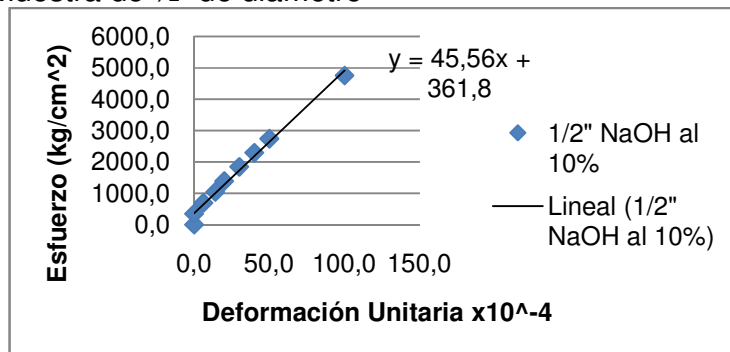


Gráfico 4.88. Esfuerzo vs Deformación. NaOH 10%- Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

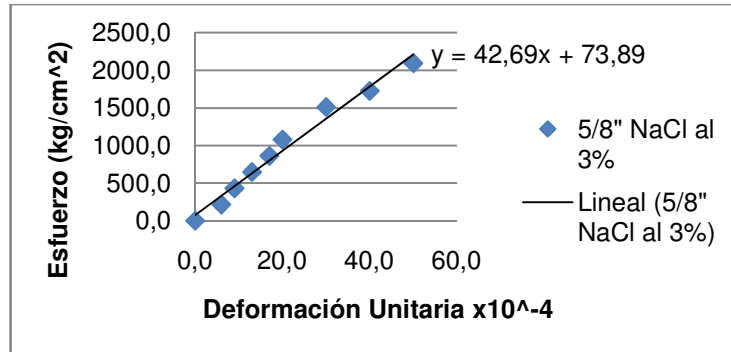


Gráfico 4.89. Esfuerzo vs Deformación. NaCl 3% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

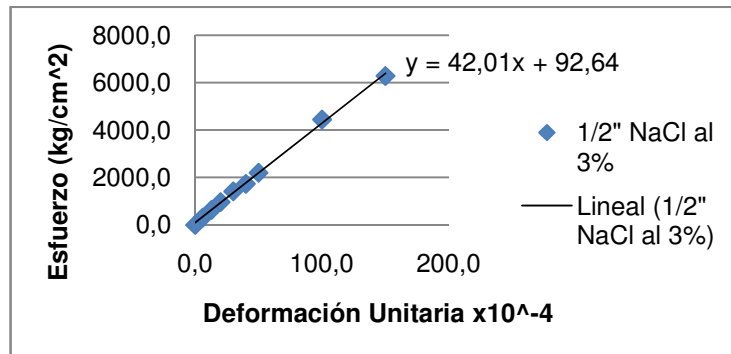


Gráfico 4.90 Esfuerzo vs Deformación. NaCl 3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio al 10%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

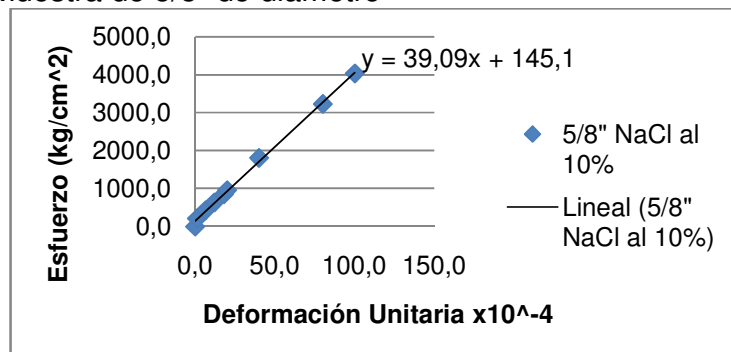


Gráfico 4.91. Esfuerzo vs Deformación. NaCl 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.



- Muestra de 1/2" de diámetro

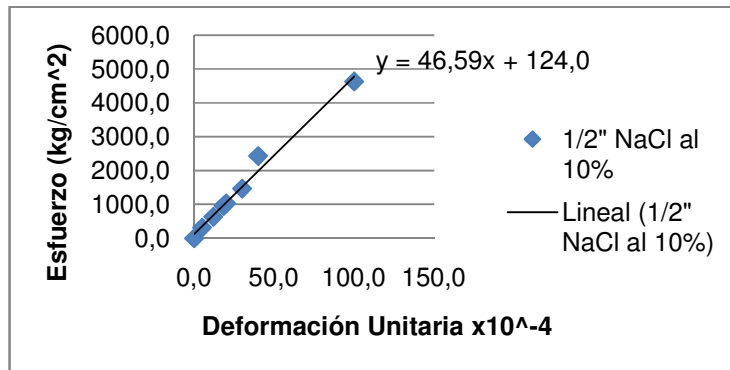


Gráfico 4.92. Esfuerzo vs Deformación. NaCl 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio al 3%.

- Muestra de 5/8" de diámetro

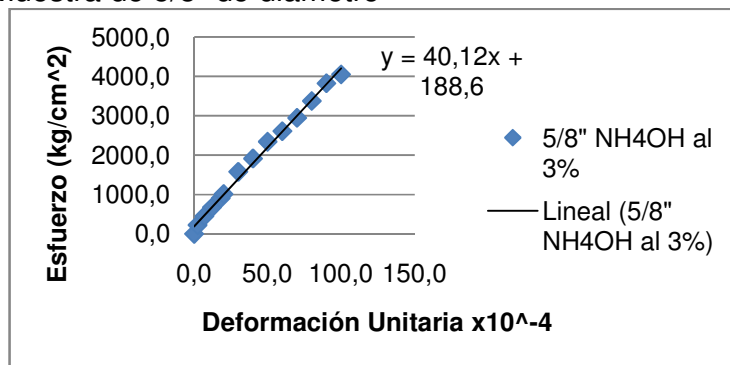


Gráfico 4.93. Esfuerzo vs Deformación. NH<sub>4</sub>OH 3% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

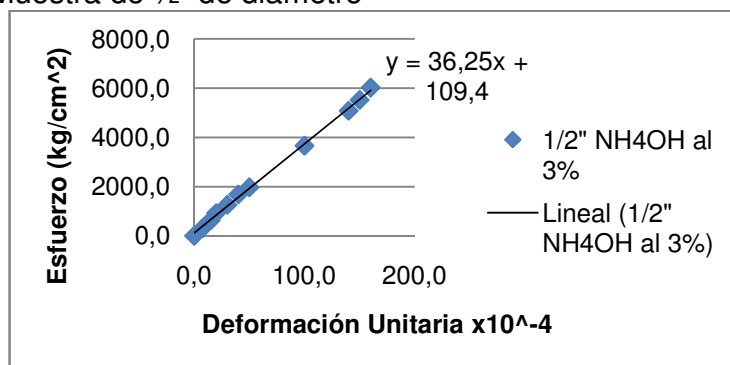


Gráfico 4.94. Esfuerzo vs Deformación. NH<sub>4</sub>OH 3% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio al 10%.
  - Muestra de 5/8" de diámetro

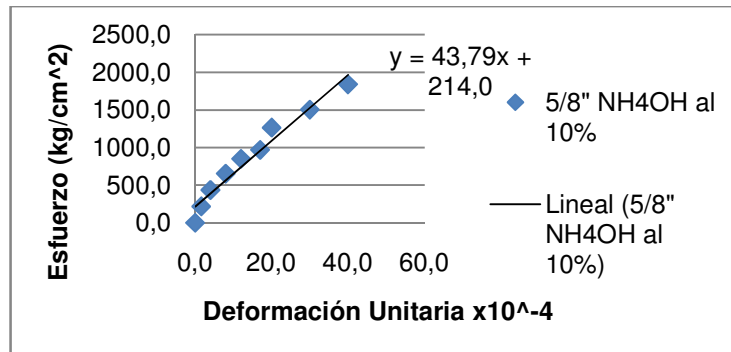


Gráfico 4.95. Esfuerzo vs Deformación. NH<sub>4</sub>OH 10% - Barra GFRP Ø 5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de 1/2" de diámetro

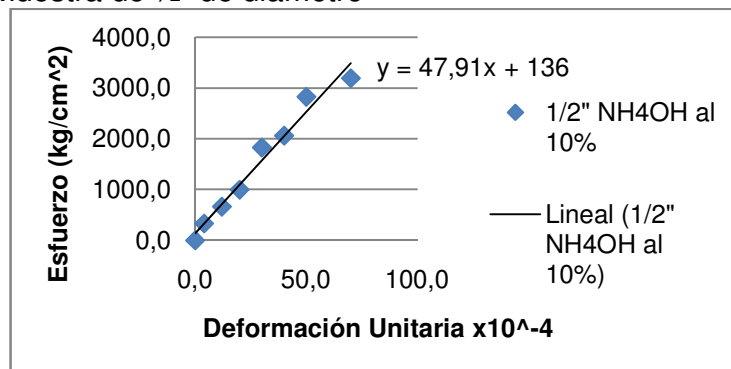


Gráfico 4.96. Esfuerzo vs Deformación. NH<sub>4</sub>OH 10% - Barra GFRP Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

Las curvas de esfuerzo vs deformación se representaron con una aproximación lineal en la tendencia de los puntos ya que las barras GFRP tienen una relación esfuerzo-deformación lineal y carece de rango plástico. La ecuación de la recta obtenida se colocó en cada una de las gráficas para facilitar la visualización de la variación de las propiedades mecánicas ya que la pendiente de la misma representa el módulo de elasticidad del material. Puede observarse que el módulo de elasticidad no disminuyó considerablemente en relación a los valores patrones aportados por el fabricante los cuales se muestran en la tabla 4.2 ni con el valor promedio que se obtuvo en la tesis "Caracterización de las Barras Reforzadas con Fibra de Vidrio como Refuerzo del Concreto Armado" realizada

por Alexander Domínguez y Danni Guillan de la Universidad Católica Andrés Bello, tutorada por el profesor Ronald Torres, el cual fue:

$$E_{LP} = 0,409 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

Adicionalmente puede notarse que no todas las curvas alcanzan valores máximos de esfuerzo sobre los  $6000 \text{ kg/cm}^2$  el cual es el valor esperado, esto se debe a que antes de observarse la falla de la barra GFRP, el mango de resina cubierto de tubo galvanizado para el agarre con la máquina universal de ensayos deslizó, y no se pudo continuar con el ensayo, sin embargo se tomaron los valores obtenidos para representar las curvas de esfuerzo vs deformación.

En la siguiente tabla se muestra con detalle los valores obtenidos de resistencia máxima a la tracción ( $f_{fu}$ ), módulo de elasticidad ( $E$ ) y máxima deformación.

Solución	$\emptyset$	% de concentración	Estado final	$f_{fu}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad $\times 10^6$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Máxima deformación (cm/cm) $\times 10^{-4}$
NaCl	5/8	3	Deslizó	-	0,4269	68,714
		10	Deslizó	-	0,3909	120,662
	1/2	3	Falló	6569,596	0,4201	156,382
		10	Falló	6881,250	0,4659	147,698
NaOH	5/8	3	Falló	5812,374	0,3625	160,341
		10	Deslizó	-	0,3831	109,476
	1/2	3	Falló	5908,156	0,4265	138,527
		10	Falló	6384,931	0,4556	140,143
NH4OH	5/8	3	Deslizó	-	0,4012	131,245
		10	Deslizó	-	0,4379	55,550
	1/2	3	Falló	6270,171	0,3513	178,485
		10	Deslizó	-	0,4248	97,157

Tabla 4.3. Propiedades mecánicas de las barras sometidas a ambientes alcalinos.

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3. Exposición a corto plazo de las barras de acero en ambientes agresivos.

En esta sección se muestran los valores de la variación de diámetro y peso que presentaron las barras de acero sometidas durante 3 meses a ambientes agresivos, sumergidas en soluciones ácidas y alcalinas, exactamente las mismas a las que se sometieron las barras GFRP durante 40 semanas. Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el anexo 1.2., página 102.

#### 4.1.3.1. AMBIENTES ÁCIDOS

A continuación se presentan los gráficos “tiempo vs. peso” y “tiempo vs. diámetro” de barras de acero de diámetro  $\frac{1}{2}$ ”, que fueron sumergidas en ambientes ácidos, en los cuales se pueden observar las variaciones de las mismas durante los 3 meses de inmersión.

- Ácido Clorhídrico (HCl) al 5%

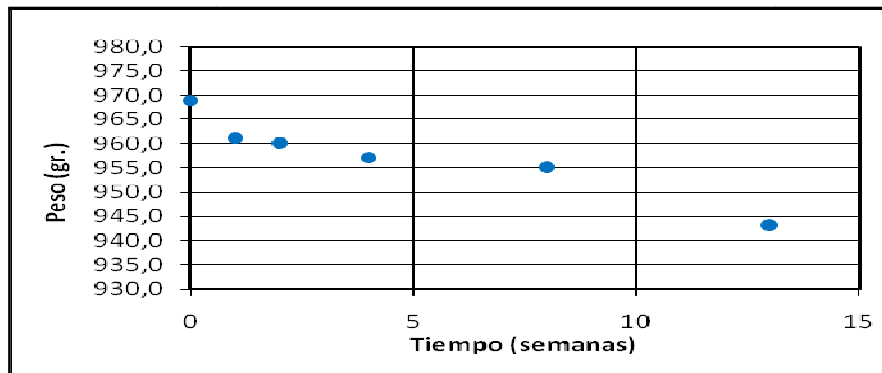


Gráfico 4.84. Tiempo vs. Peso. HCl 5%. Barra de acero Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

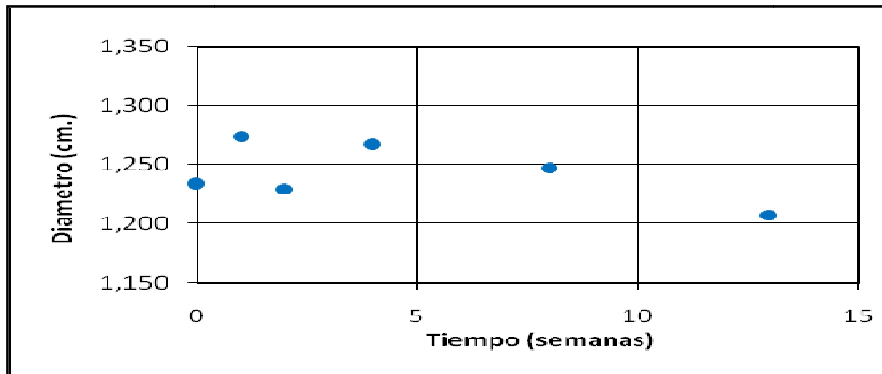


Gráfico 4.85. Tiempo vs. Diámetro. HCl 5%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Clorhídrico (HCl) al 10%

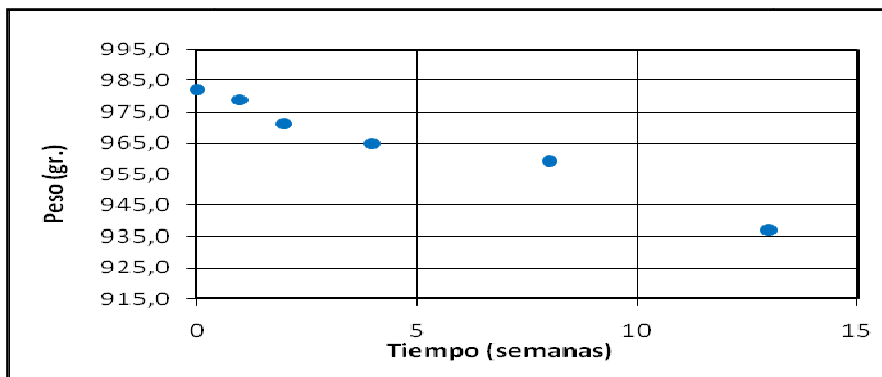


Gráfico 4.86. Tiempo vs. Peso. HCl 10%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

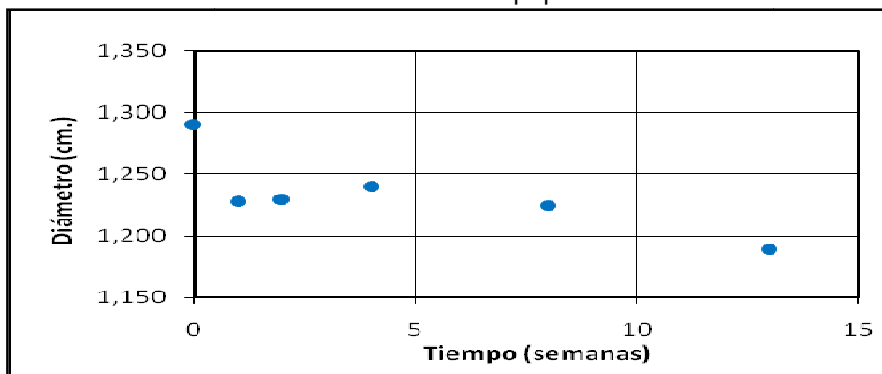


Gráfico 4.87. Tiempo vs. Diámetro. HCl 10%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 5%

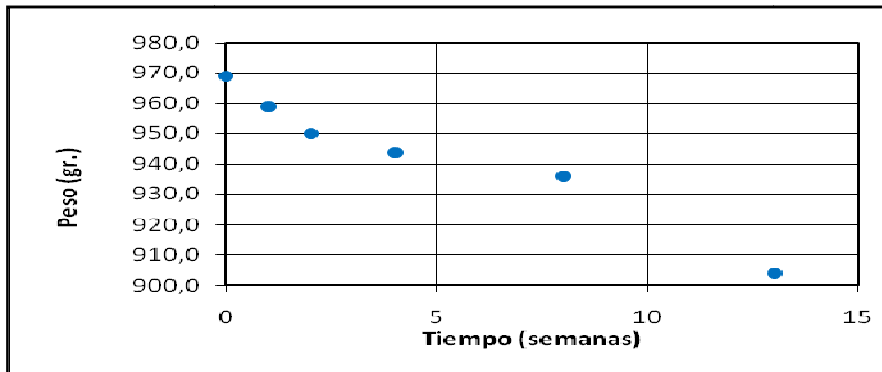


Gráfico 4.88. Tiempo vs. Peso.  $H_2SO_4$  5%. Barra de acero  $\varnothing 1/2''$

Fuente: Elaboración propia.

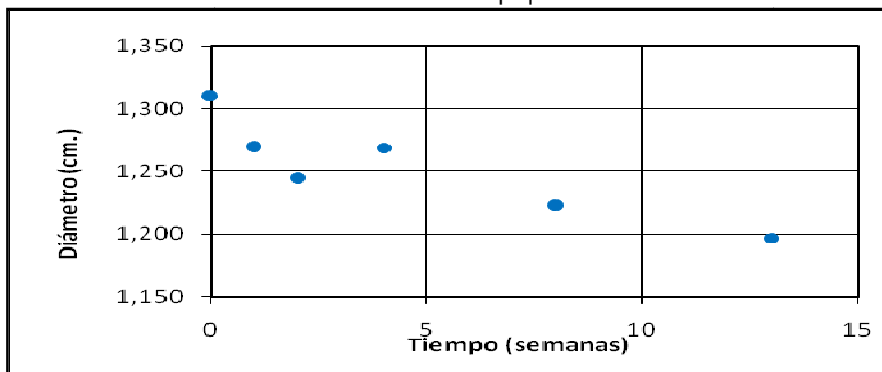


Gráfico 4.89. Tiempo vs. Diámetro.  $H_2SO_4$  5%. Barra de acero  $\varnothing 1/2''$

Fuente: Elaboración propia.

- Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 10%

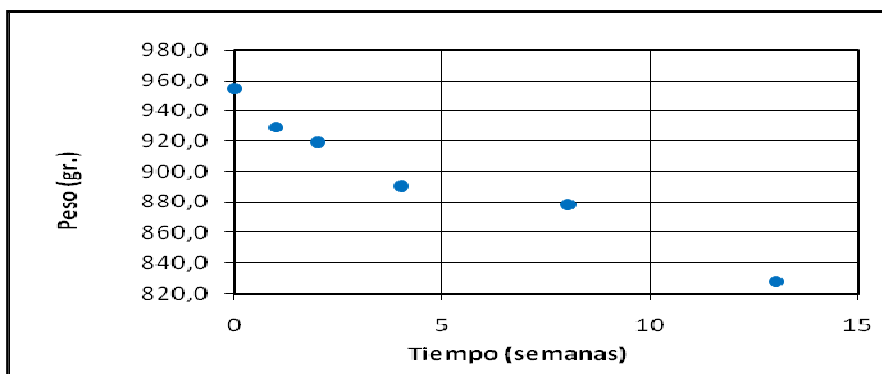


Gráfico 4.90. Tiempo vs. Peso.  $H_2SO_4$  10%. Barra de acero  $\varnothing 1/2''$

Fuente: Elaboración propia.

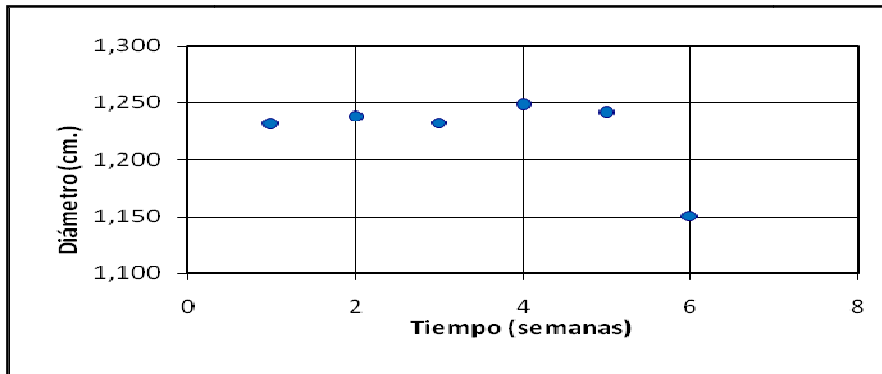


Gráfico 4.91. Tiempo vs. Diámetro. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético (CH<sub>3</sub>COOH) al 5%

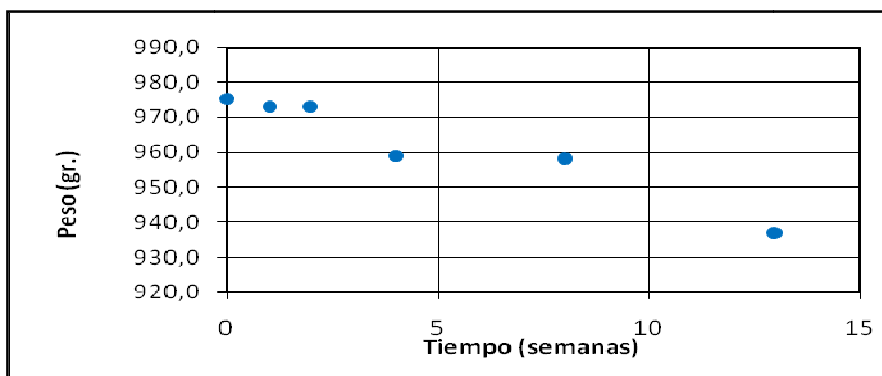


Gráfico 4.92. Tiempo vs. Peso. CH<sub>3</sub>COOH 5%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

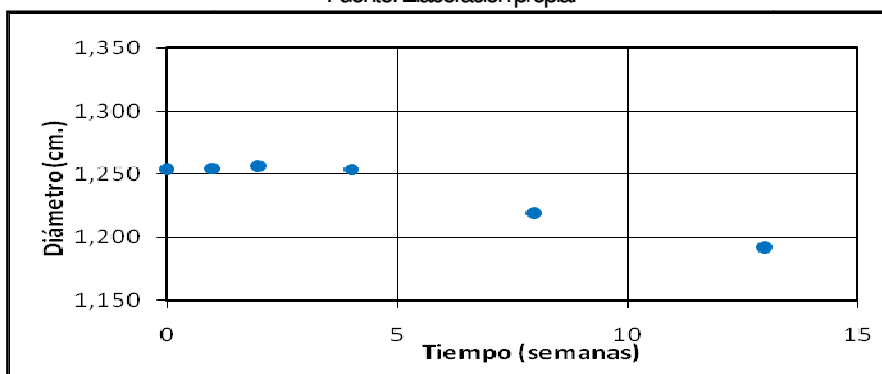


Gráfico 4.93. Tiempo vs. Diámetro. CH<sub>3</sub>COOH 5%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Ácido Acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) al 20%

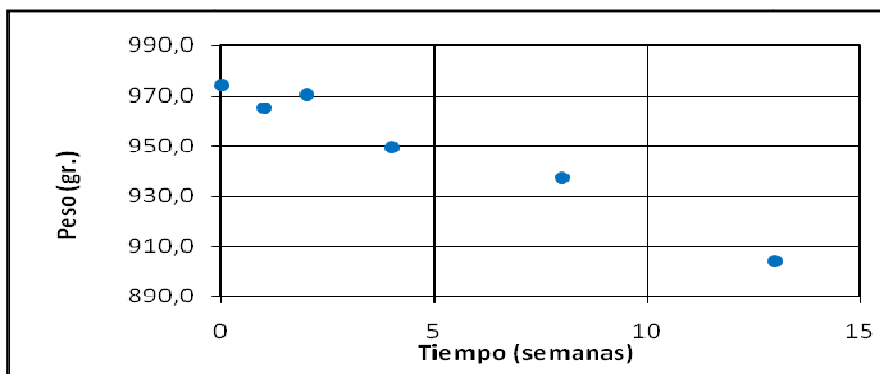


Gráfico 4.94. Tiempo vs. Peso.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  20%. Barra de acero  $\text{Ø}$  1/2"

Fuente: Elaboración propia.

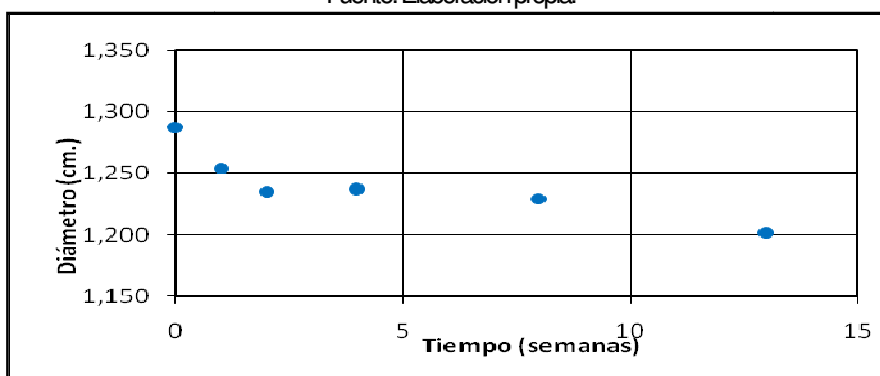


Gráfico 4.95. Tiempo vs. Diámetro.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  20%. Barra de acero  $\text{Ø}$  1/2"

Fuente: Elaboración propia.

Al observar las gráficas se puede ver cuanto ha influido el ambiente ácido en las barras de acero, sobretodo en las gráficas "tiempo vs. peso", en las que se nota que a lo largo de los tres meses de inmersión la pérdida de peso considerable, la menor disminución de peso fue de aproximadamente 30 gr. Y fue presentada por la barra sumergida en HCl al 5% (ver grafico 4.84); la mayor fue de casi 130 gr. y lo presentó la barra de acero sumergida en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 10% (ver gráfico 4.90). Con respecto a los diámetros, no presentaron tanta variación como el peso pero en algunos casos, como en el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 5% (gráfico 4.89) y en el HCl al 10% (gráfico 4.87), se pudo observar una disminución de 1mm (0,1 cm), aproximadamente.



- Resultados del ensayo a tracción.

En el próximo gráfico se presentan las curvas obtenidas de esfuerzo vs deformación de cada una de las barras sometidas a los ataques de las soluciones ácidas y la gráfica de una muestra patrón para observar mediante una comparación general, el cambio en las propiedades mecánicas. Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el apéndice 1.2.3, página 127.

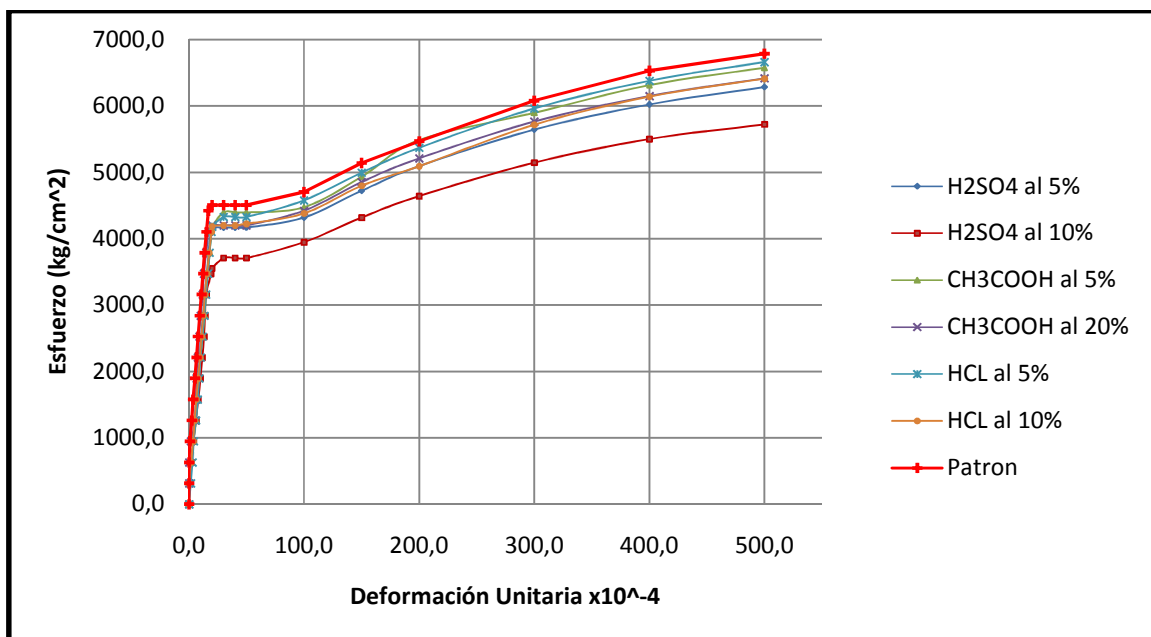


Gráfico 4.96. Curva de esfuerzo vs deformación de las barras en ambientes ácidos  
Fuente: Elaboración propia.

A través del gráfico puede apreciarse que todas las barras que fueron sometidas al ataque de los ácidos disminuyeron sus capacidad de soportar esfuerzo a medida que se deforman, esto indica que en todos los casos se vió afectado el módulo de elasticidad del material y disminuida la resistencia a la tracción "Fsu" y el límite elástico convencional "Fy", quedando en evidencia el efecto que tiene la corrosión sobre las propiedades mecánicas del acero; especialmente puede notarse una diferencia marcada entre la barra sometida al ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de concentración 10% y el resto de las muestras.

El siguiente cuadro muestra el resultado del % de alargamiento de las barras sometidas al ambiente ácido.

<b>Solución</b>	<b>Alargamiento (cm)</b>	<b>% Alargamiento</b>
HCL 5%	22,8	14,0
HCL 10%	22,7	13,5
H2SO4 5%	22,0	10,0
H2SO4 10%	No se registró	-
CH3COOH 5%	23,3	16,5
CH3COOH 20%	22,4	12,0
Patron	22,9	14,5

Tabla 4.4. % de alargamiento de las barras de acero sometidas a ambientes ácidos.  
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.5. puede observarse la diferencia en los % de alargamiento obtenidas son mayores al 1% en contraste con el valor promedio del patrón el cual fue tomado del promedio de los % de alargamiento de tres barras de acero intactas por la acción de los ácidos. Es de notar que la barra H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5% presenta la mayor diferencia y coincide con la variación notoria en la gráfica de esfuerzo vs deformación lo cual confirma la degradación de las propiedades mecánicas sufrida por la barra de acero en el ácido correspondiente. En el caso de la barra sumergida en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 10% no fue posible obtener el % de alargamiento.

#### 4.1.3.2. AMBIENTES ALCALINOS

A continuación se presentan los gráficos “tiempo vs. peso” y “tiempo vs. diámetro” de barras de acero de 5/8” y de 1/2” que fueron sumergidas en ambientes alcalinos, en los cuales se pueden observar las variaciones de las mismas durante los de 3 meses de inmersión. Para simular estos ambientes alcalinos se utilizaron las mismas soluciones que con las barras GFRP; Cloruro de Sodio (al 3% y 10%), Hidróxido de Sodio (al 3% y 10%) y Amoníaco (al 3% y 20%).

- Cloruro de Sodio (NaCl) al 3%

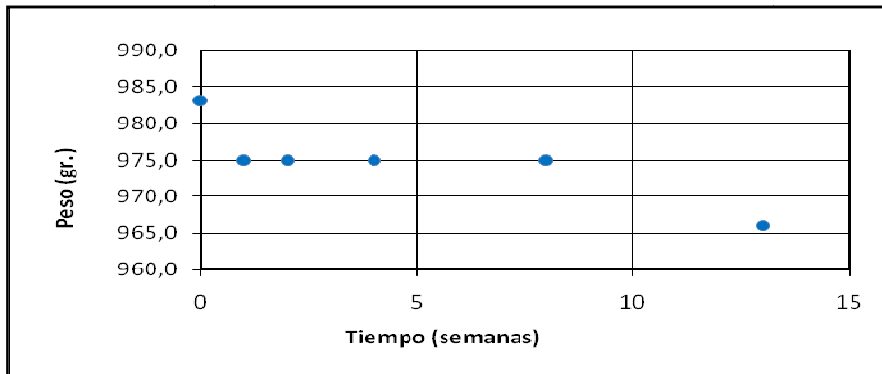


Gráfico 4.96. Tiempo vs. Peso. NaCl 3%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

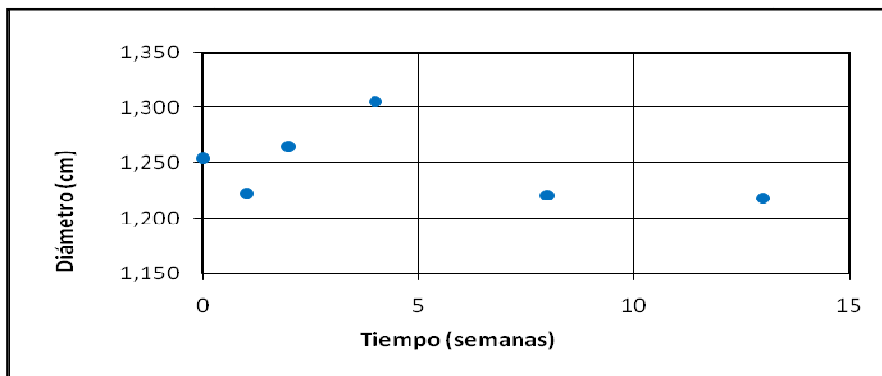


Gráfico 4.97. Tiempo vs. Diámetro. NaCl 3%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Cloruro de Sodio (NaCl) al 10%

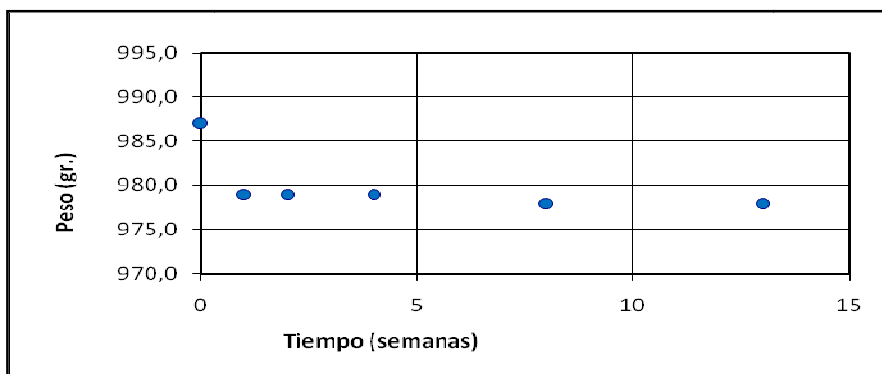


Gráfico 4.98. Tiempo vs. Peso. NaCl 10%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

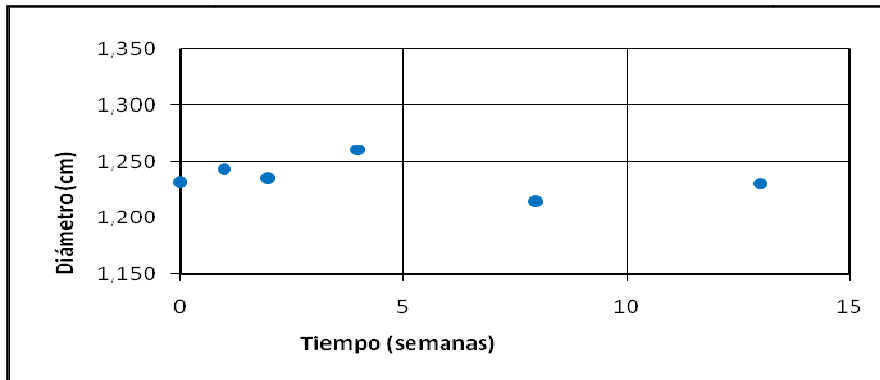


Gráfico 4.99. Tiempo vs. Diámetro. NaCl 10%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Sodio (NaOH) al 3%

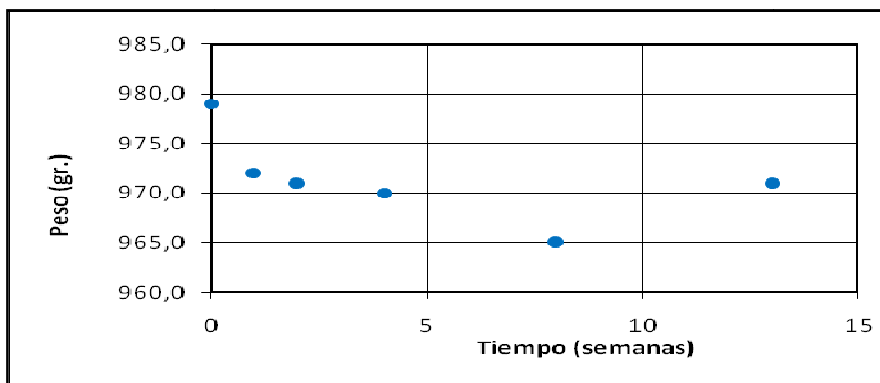


Gráfico 4.100. Tiempo vs. Peso. NaOH 3%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

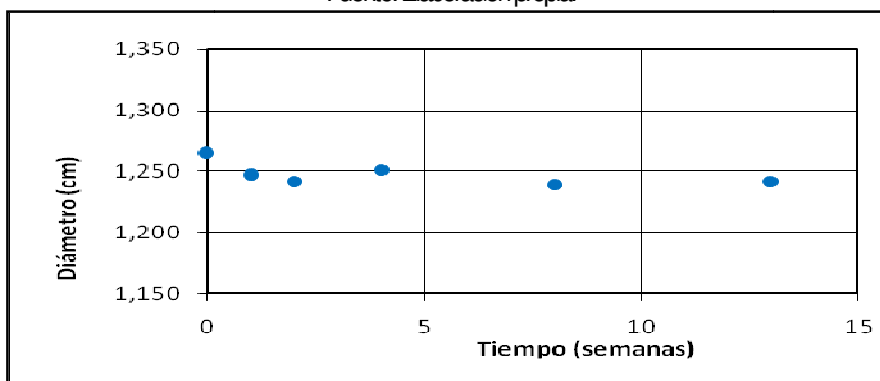


Gráfico 4.101. Tiempo vs. Diámetro. NaOH 3%. Barra de acero Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Sodio al 10%

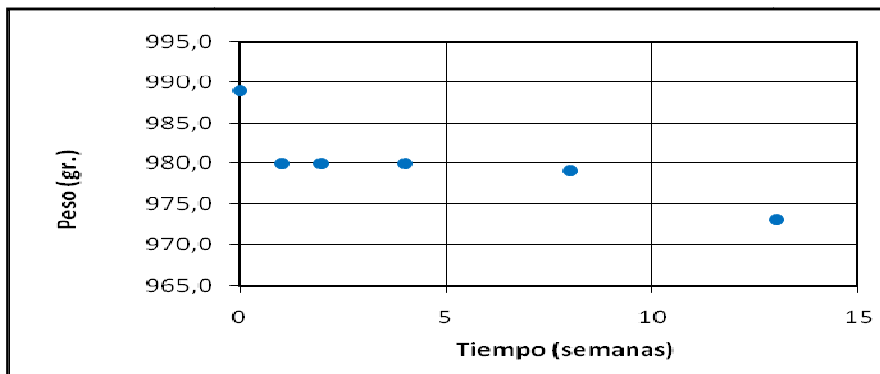


Gráfico 4.102. Tiempo vs. Peso. NaOH 10%. Barra de acero Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

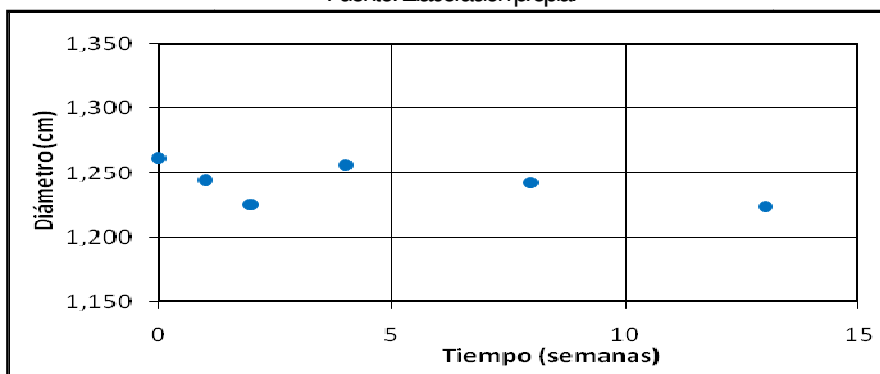


Gráfico 4.103. Tiempo vs. Diámetro. NaOH 10%. Barra de acero Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio (NH<sub>4</sub>OH) al 3%

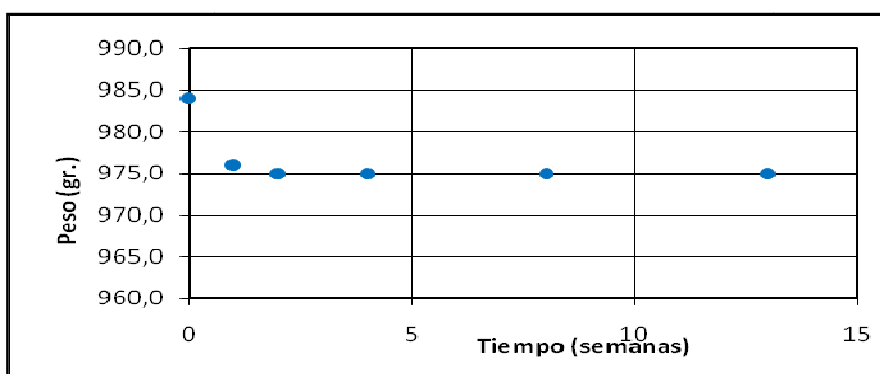


Gráfico 4.104. Tiempo vs. Peso. NH<sub>4</sub>OH 3%. Barra de acero Ø 1/2"

Fuente: Elaboración propia.

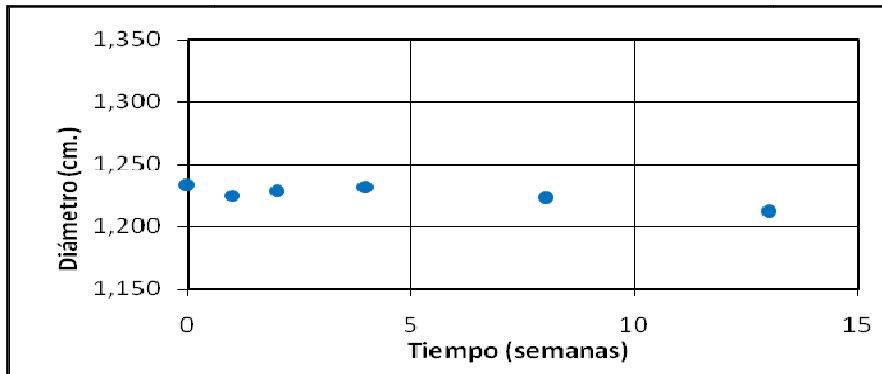


Gráfico 4.105. Tiempo vs. Diámetro.  $\text{NH}_4\text{OH}$  3%. Barra de acero  $\text{Ø } 1/2''$   
Fuente: Elaboración propia.

- Hidróxido de Amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) al 10%

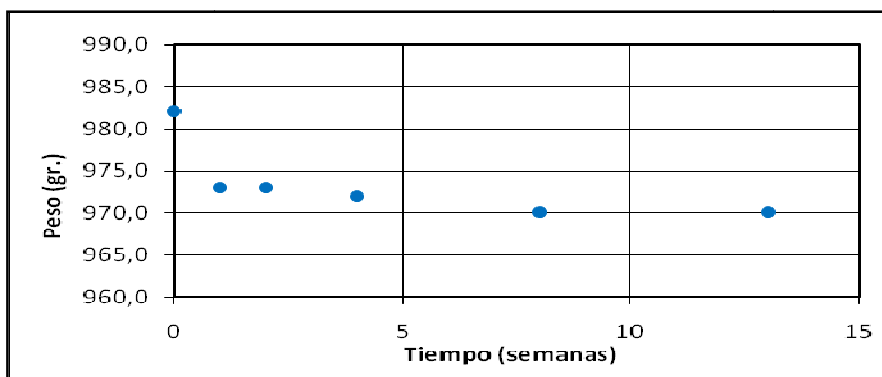


Gráfico 4.106. Tiempo vs. Peso.  $\text{NH}_4\text{OH}$  10%. Barra de acero  $\text{Ø } 1/2''$   
Fuente: Elaboración propia.

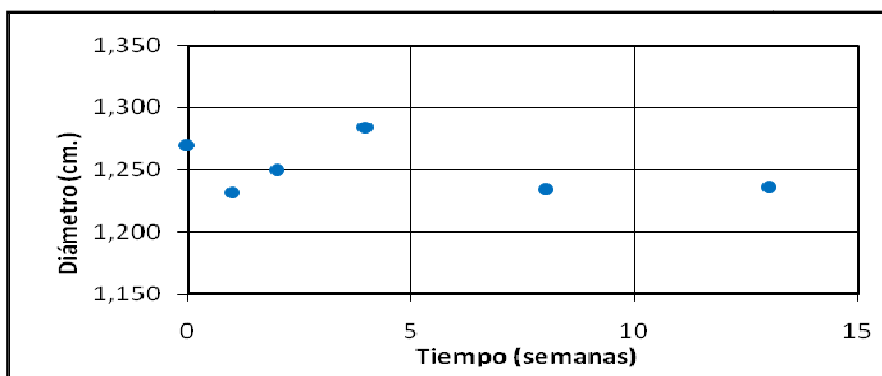


Gráfico 4.107. Tiempo vs. Diámetro.  $\text{NH}_4\text{OH}$  10%. Barra de acero  $\text{Ø } 1/2''$   
Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso de los ambientes ácidos, puede apreciarse que el peso fue el valor mas variante durante la exposición en los ambientes alcalinos. Sin embargo puede notarse mayor resistencia del acero al ácido que al ambiente alcalino. El valor más crítico fue el obtenido de la inmersión en NaCL el cual alcanzó una variación de 20 gr. En el caso de los diámetros no se observaron variaciones mayores de 0,1 cm lo que confirma la relación entre la pérdida de peso de las barras y la disminución de sus dimensiones de diámetro.

Es importante señalar las observaciones que pudieron apreciarse en el ensayo las cuales permitieron discernir a simple inspección que las barras de acero sufren una importante degradación al estar expuestas en estos ambientes agresivos. Como se muestra a continuación en las imágenes 4.1, 4.2 y 4.3, las barras de acero tuvieron un continuo desprendimiento de material ferroso a lo largo de sus superficie, el cual era notado al momento del cambio de las soluciones, incluso el cambio de color en las soluciones reportaba un fuerte proceso corrosivo.



Imagen 4.1. Desprendimiento en el cambio de las soluciones del material de las barras

Fuente: Elaboración propia.



Imagen 4.2. Desprendimiento en el cambio de las soluciones del material de las barras  
Fuente: Elaboración propia.

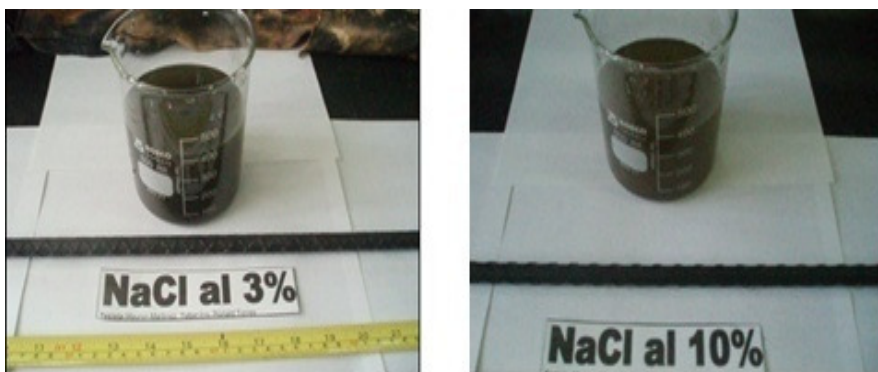


Imagen 4.3. Desprendimiento en el cambio de las soluciones del material de las barras  
Fuente: Elaboración propia.

- Resultados del ensayo a tracción.

En el próximo gráfico se presentan las curvas obtenidas de esfuerzo vs deformación de cada una de las barras sometidas a los ataques de las soluciones ácidas y la gráfica de una muestra patrón para observar mediante una comparación general, el cambio en las propiedades mecánicas. Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el apéndice 1.2.3, página 127.



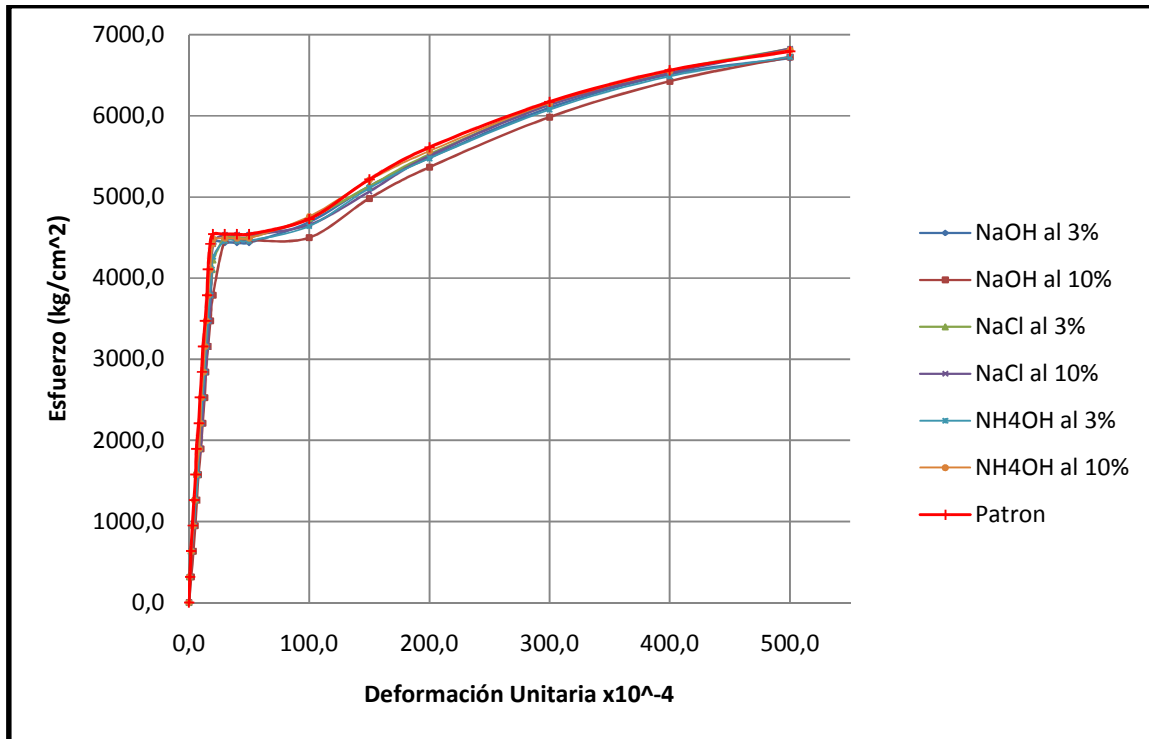


Gráfico 4.108. Curva de esfuerzo vs deformación de las barras sometidas a ambientes alcalinos.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que a pesar de no presentarse una diferencia marcada entre las curvas de los diversos ambientes y la muestra patrón, todas las que fueron sometidas a los ambientes alcalinos están por debajo de la muestra patrón la cual no se sometió al ataque químico, esto que indica que hubo pérdida de las propiedades mecánicas de las barras de acero aunque en menos grado que las barras de acero sometidas a los ambientes ácidos.

A continuación se presenta los valores del % de alargamiento obtenido en el ensayo.

<b>Solución</b>	<b>Alargamiento (cm)</b>	<b>% Alargamiento</b>
NaCL 3%	22,7	13,5
NaCl 10%	23,1	15,5
NaOH 3%	22,8	14,0
NaOH 10%	21,8	9,0
NH <sub>4</sub> OH 3%	23,2	16,0
NH <sub>4</sub> OH 10%	23,2	16,0
Patron	22,9	14,5

Tabla 4.5. % de alargamiento de barras sometidas a ambientes alcalinos

Fuente: Elaboración propia

Puede apreciarse que la mayoría de los valores obtenidos para el % de alargamiento difieren en más de 1% a excepción de la barra sumergida en NaOH al 3%. Esto indica una variación en la ductilidad de el material debido a la acción corrosiva del ambiente especialmente para la barra sumergida en NaOH al 10% la cual también demuestra ser la mas afectada en el gráfico 4.108. de esfuerzos vs deformación.

## 4.2. ESTUDIO DE CICLOS CALOR-HUMEDAD

A continuación se presentan las gráficas que muestran las variaciones de las medidas de peso, diámetro y longitud, durante los cinco ciclos de calor-humedad aplicados a tres muestras de barras GFRP Ø 5/8". Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el anexo 1.3., página 106.

### 4.2.1. Gráficas de tiempo vs. diámetro

#### ○ Muestra N°1

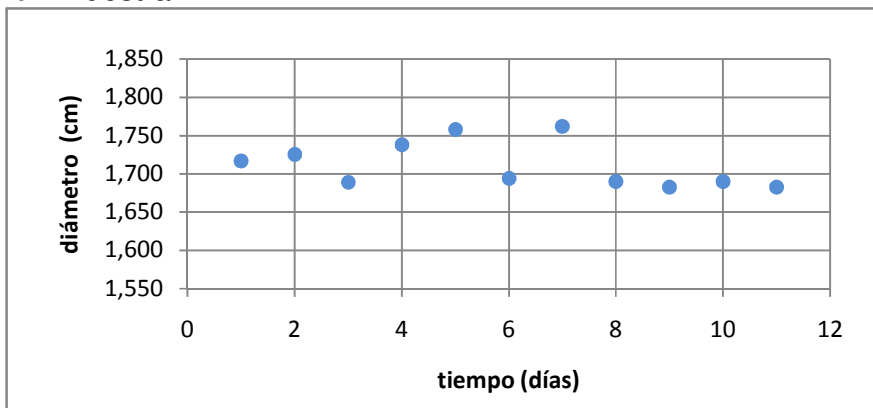


Gráfico 4.109. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Diámetro Muestra N°1  
Fuente: Elaboración propia.

#### ○ Muestra N°2

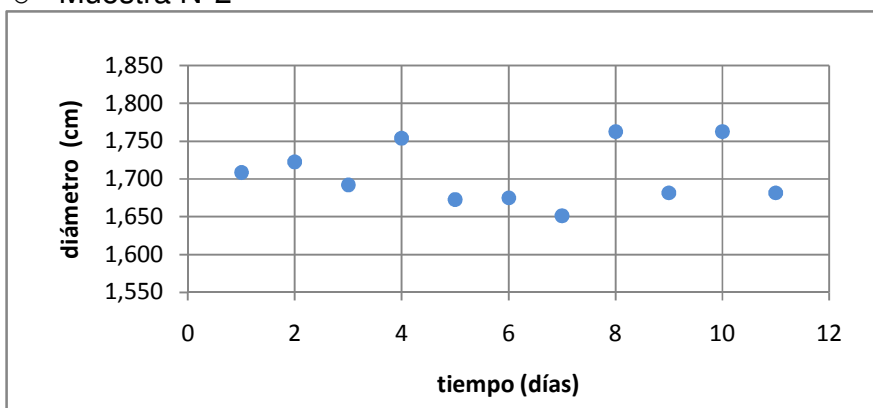


Gráfico 4.110. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Diámetro Muestra N°2  
Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra N°3

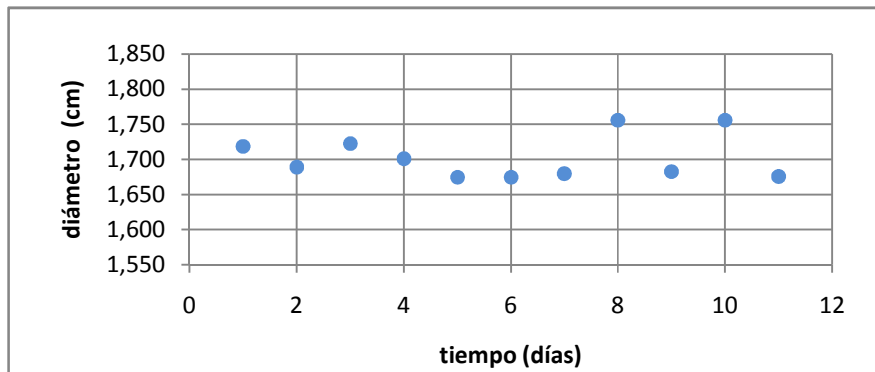


Gráfico 4.111. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Diámetro Muestra N°3

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de la dispersión, se nota la misma tendencia en las tres barras sometidas al ciclo de calor-humedad. Para el caso de las gráficas 4.109 y 4.111 correspondientes a la muestra N°1 y N°3, no se presentaron variaciones mayores a 0,1 cm; en el caso de la gráfica 4.110, correspondiente a la muestra N° 2, puede observarse una variación poco mayor a 0,1 cm, debido a que en el estudio no se apreció desprendimiento del material de las barras en ningún caso, esto pudo haber sido por una expansión-contracción del material al pasar de el ambiente húmedo (agua desmineralizada a 23°C aprox.), al ambiente de elevada temperatura (horno a 60°C).

#### 4.2.2. Gráficas de tiempo vs longitud

○ Muestra N°1

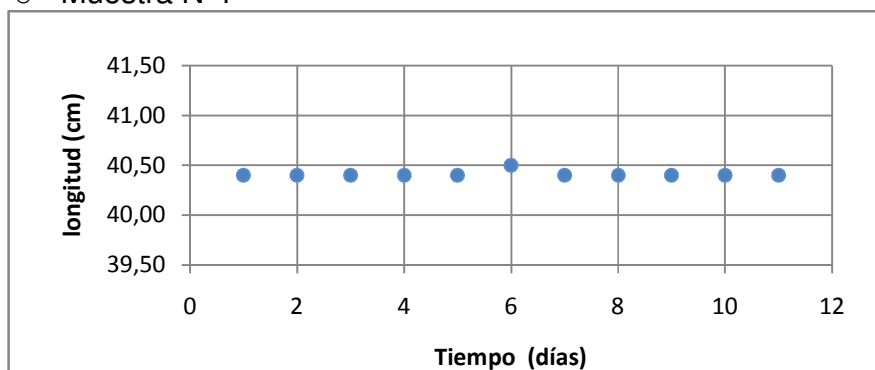


Gráfico 4.112. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°1

Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra N°2

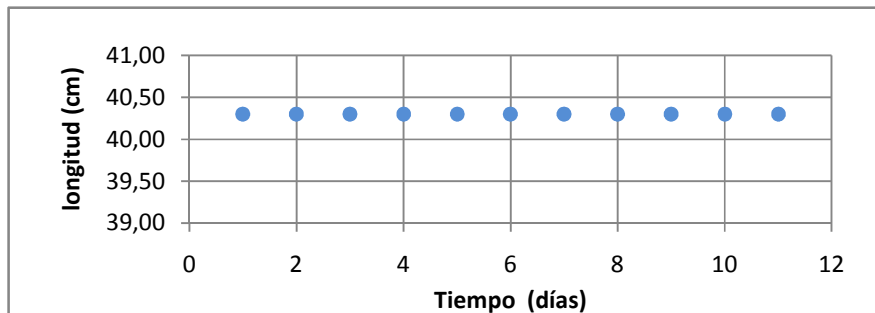


Gráfico 4.113. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°2  
Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra N°3

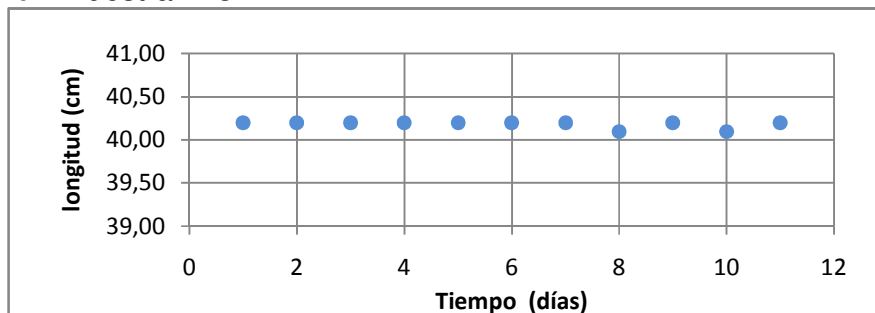


Gráfico 4.114. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°3  
Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas de las tres muestras utilizadas para el ensayo, puede notarse claramente que la tendencia es lineal con pendiente cero, lo que indica que en ningún caso la longitud varió en función del tiempo.

#### 4.2.3. Gráficas de tiempo vs. peso

○ Muestra N°1

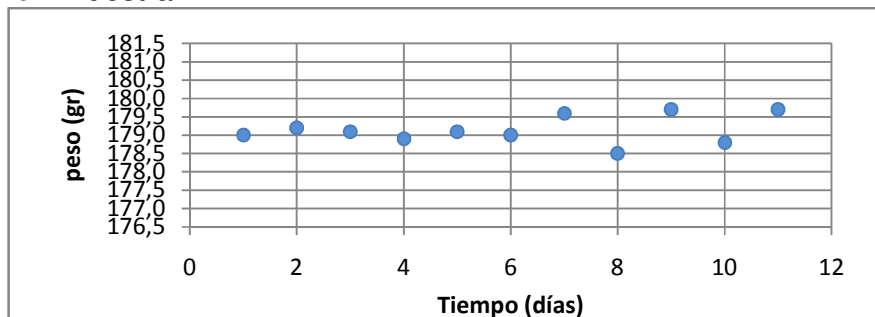


Gráfico 4.115. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°1  
Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra N°2

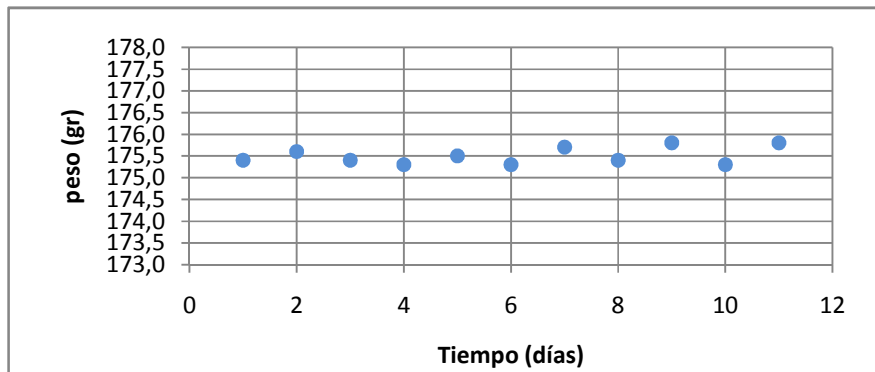


Gráfico 4.116. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°2

Fuente: Elaboración propia.

○ Muestra N°3

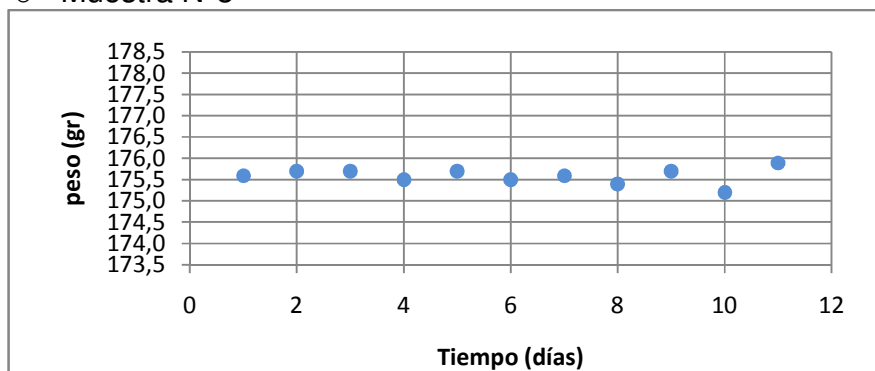


Gráfico 4.117. Ciclo calor-humedad. Tiempo vs. Longitud. Muestra N°3

Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse para las tres muestras una variación creciente de el peso a medida que se desarrolla el ensayo, esto obedece a cada ciclo de calor-humedad en el cual la barra pierde su humedad al estar en el horno de secado y luego adquiere humedad al estar sumergida en agua; sin embargo al final del ciclo no se aprecia un cambio de peso significativo.

### 4.3. ESTUDIO DE ADHERENCIA

A continuación se muestran los resultados en el orden secuencial definido por la norma COVENIN, para los cálculos respectivos al esfuerzo máximo de adherencia; las tablas con los datos del laboratorio y los resultados obtenidos se encuentran en el anexo 2.2., página 118.

#### 4.3.1. Gráficas de esfuerzo vs deslizamiento

##### 4.3.1.1. MUESTRAS DE 5/8" DE DIÁMETRO.

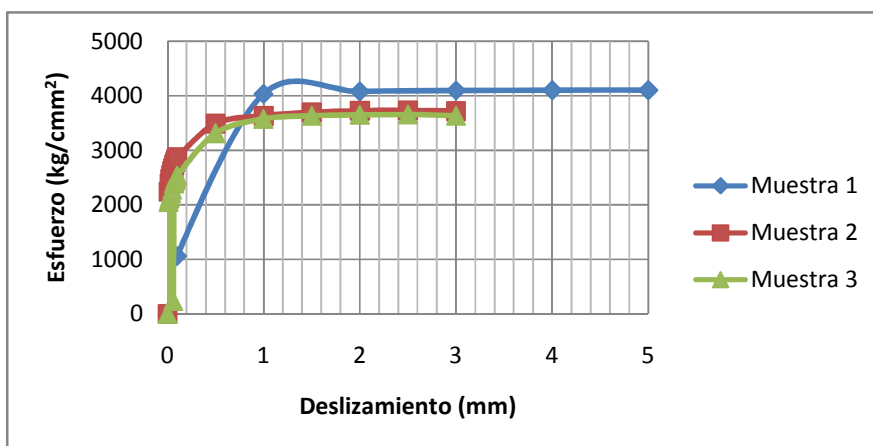


Gráfico 4.82. Ensayo de adherencia. Esfuerzo vs Deslizamiento. Barras Ø5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se pueden distinguir las tres curvas obtenidas para cada muestra ensayada. Puede observarse que la curva correspondiente a la "Muestra 1" tiene un comportamiento distinto a las dos restantes, el esfuerzo aplicado necesario para que deslice en 0,1 mm es menor que para las otras dos muestras pero el esfuerzo de cedencia es mayor, esto es producto de las variaciones realizadas para realizar el ensayo de esta muestra en particular y prueba claramente como estas variaciones de velocidad de aplicación de la carga afectan significativamente el ensayo. En el caso de la "Muestra 2" y "Muestra 3", ambas curvas tienen un comportamiento similar en cuanto al esfuerzo de

deslizamiento para 0,1mm y el esfuerzo de cedencia. En el siguiente cuadro se muestran los esfuerzos máximos aplicados a las barras para que ocurriera un deslizamiento de 0,1 mm.

Muestra	Esfuerzo aplicado (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	1061,51
2	2871,12
3	2537,50

Tabla 4.6. Esfuerzo aplicado para 0,1 mm de desplazamiento. Barras Ø5/8"  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.1.2. MUESTRAS DE 1/2" DE DIÁMETRO.

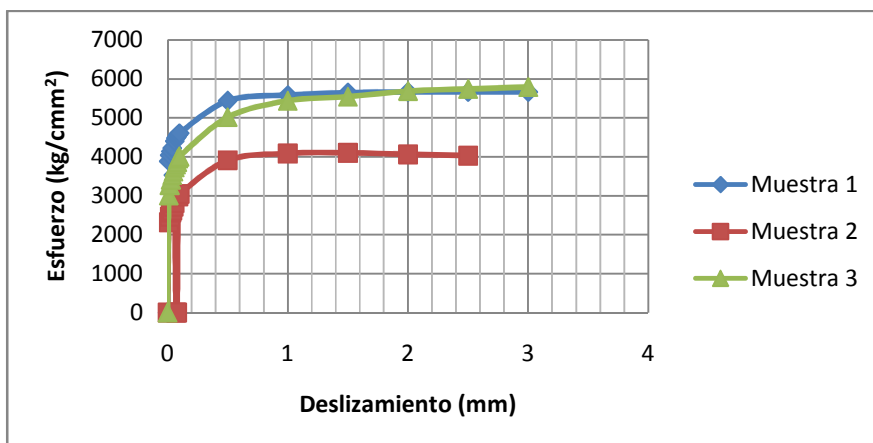


Gráfico 4.83. Ensayo de adherencia. Esfuerzo vs Deslizamiento. Barras Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse que para la "Muestra 1" y la "Muestra 3" se registro un esfuerzo de deslizamiento para 0,1 mm mayor que la "Muestra 2" y la misma cedió al deslizamiento con esfuerzo menor, esto pudo haber sido producto de una mezcla menos homogénea que para las otras dos muestras; sin embargo el comportamiento de las tres curvas es similar. A continuación se presenta un cuadro donde se muestran el esfuerzo necesario para que la barra deslice 0,1 mm con el concreto.



Muestra	Esfuerzo aplicado (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	4604,60
2	3048,67
3	4004,34

Tabla 4.7. Esfuerzo aplicado para 0,1 mm de desplazamiento. Barras Ø 1/2"  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2. Esfuerzo de adherencia

Una vez obtenidos los valores de el esfuerzo aplicado para obtener un deslizamiento de 0,1 mm, conocidos los datos de diámetro y longitud de adherencia de cada barra, se procedió a calcular el esfuerzo de adherencia máximo para un deslizamiento de 0,1 mm para ambos grupos de muestra según lo establecido en la norma COVENIN 1677-80, que reza de la siguiente forma:

$$U_{0,1} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{0,1}}{la}$$

Siendo:

$\Phi$  = Diámetro real de la barra de 5/8". (1,73cm)

$\sigma_{0,1}$  = Esfuerzo en la barra GFRP capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo libre de la barra.

la = Longitud de adherencia.

La tabla presentada a continuación contiene los valores obtenidos del cálculo.

Muestra	Esfuerzo de adherencia (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Ø 5/8"	Ø 1/2"
1	17,70	76,95
2	47,88	50,94
3	42,31	66,91
Promedio	45,10	64,93

Tabla 4.8. Esfuerzo de adherencia de las barras GFRP  
Fuente: Elaboración propia.

El valor obtenido de la “Muestra 1” para la probeta con barra GFRP de 5/8” es netamente demostrativo y no se consideró para el resultado final del ensayo.

Puede apreciarse que las barras de 5/8” de diámetro obtuvieron un valor menor de esfuerzo de adherencia que las barras de 1/2”.

A continuación se presenta la tabla 4.9. correspondiente a los valores de Esfuerzo de adherencia de barras de acero de 5/8” y 1/2” de diámetro obtenidos de un estudio publicado en la revista “Tekhne”, ejemplar N°5 – 2001, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello, titulado “Estudio sobre los refuerzos de adherencia desarrollados entre el acero y el concreto con cabillas de diámetro 3/8”, 1/2”, 5/8”, 3/4” y 1””, realizado por Alexander Cedeño y Johnny González.

Muestra	Esfuerzo de adherencia (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Ø 5/8"	Ø 1/2"
1	77,4	82,8
2	75,8	85,9
3	76,5	81,3
Promedio	76,6	83,3

Tabla 4.9. Esfuerzo de adherencia de las barras de acero de diámetro 5/8” y 1/2”.

Fuente: Revista “Tekhne”, ejemplar N°5-2001

Al comparar los valores obtenidos para las barras GFRP reflejados en la tabla 4.8 y los valores reportados en el estudio antes mencionado que se reflejan en la tabla 4.9, puede observarse que las barras GFRP ofrecen un menor esfuerzo de adherencia que las barras de acero.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Concluidos los ensayos en un período de 40 semanas (10 meses) y realizadas las observaciones, análisis y cálculos respectivos para la caracterización de las barras GFRP en función de su durabilidad, se llegaron a las siguientes conclusiones respecto a los objetivos planteados:

##### **5.1.1. Durabilidad de las barras GFRP**

Las barras GFRP son un material compuesto capaz de soportar ataques electroquímicos durante prolongados periodos de tiempo sin presentar daños considerables a su estructura física que puedan modificar sus propiedades físicas y mecánicas.

##### **5.1.2. Desgaste frente a ciclos de calor-humedad**

Al someter las barras GFRP a ciclos de calor-humedad, estas no presentan signos de degradación o cambios considerables de sus características físicas.

##### **5.1.3. Capacidad de adherencia**

Las Barras GFRP estudiadas tienen un acabado irregular en su superficie capaz de soportar esfuerzos promedios de  $45 \text{ kg/cm}^2$  para diámetros de  $5/8''$  y  $65 \text{ kg/cm}^2$  para diámetros de  $1/2''$  antes de permitir un deslizamiento de 0,1 mm con el concreto. La capacidad de adherencia de las barras GFRP está por debajo de la capacidad de adherencia del acero, aportando un 59% de adherencia en comparación con la aportada por el acero para barras de  $5/8''$  de diámetro y 78% de adherencia en comparación con el acero para barras de  $1/2''$  de diámetro.

#### **5.1.4. Contraste del comportamiento del acero y las barras GFRP en ambientes agresivos**

Al comparar los valores obtenidos en el ensayo de exposición en ambientes agresivos, tanto ácidos como alcalinos, y tanto de las barras de aceros como de las GFRP, se puede observar que las últimas mencionadas resultaron ser mucho más resistentes a dichos ambientes que las barras de acero, aun tomando en cuenta que las de acero estuvieron inmersas durante menos tiempo que las de fibra de vidrio, lo cual nos indica con certeza cuan vulnerables pueden ser ante cualquier ambiente agresivo.

Esto nos lleva a concluir que las barras GFRP son más apropiadas, en comparación con las de acero, para las estructuras que se exponen constantemente a concentraciones considerables de bases o ácidos en el ambiente, como lo pueden ser zonas industriales, mataderos, playas, muelles, o zonas de alta humedad, entre otras.

#### **5.1.5. Ventajas y desventajas de la utilización de las barras GFRP usadas como refuerzo en el concreto armado**

##### **5.1.5.1. VENTAJAS:**

- Valores elevados de resistencia y propiedades mecánicas.
- Excelente comportamiento ante la corrosión y ataques químicos.
- No generan interferencia a las ondas electromagnéticas y actúan como aislantes de electricidad.
- Menor peso propio que los materiales tradicionales.
- Fácil manipulación en obra previendo el uso de equipos menores (Guantes, lentes, etc.), obteniendo menores tiempos de construcción.
- Reducción de costos para mantenimiento de estructuras.
- Capacidad de producción con diversas formas geométricas y tamaños en función del diseño.

- Cuenta con la seguridad y control de calidad de los elementos prefabricados.

#### 5.1.5.2. DESVENTAJAS:

- Mayor deformación que las barras de acero.
- Comportamiento elástico hasta la rotura (Rotura frágil.).
- Falta de reglamentos y especificaciones en el país.
- Falta de promoción y conocimientos sobre sus aplicaciones y características.
- Mayor costo inicial directo de construcción.
- Las barras GFRP no pueden ser dobladas en obra.
- Pérdida de resistencia por acción directa del fuego.

#### 5.2. **RECOMENDACIONES**

- Profundizar el estudio de las propiedades físicas del material en el país, para una completa caracterización del mismo; algunas aéreas son el comportamiento ante la acción directa del fuego, resistencia al corte, coeficiente de dilatación térmica en sentido longitudinal y transversal.
- Realizar estudio para el cálculo de la longitud mínima de adherencia que debe existir con el concreto a fin de garantizar el comportamiento de ambos materiales en conjunto con respecto al deslizamiento.
- Informar sobre las características del material y promover el uso del mismo.
- Desarrollar un área de investigación de materiales FRP en el contexto universitario y gremial donde se puedan sentar las bases necesarias para la normalización y reglamentación del uso de estos nuevos materiales en el país.
- Estudio del comportamiento de elementos sometidos a cargas cíclicas alternantes que pueden ser importantes para caracterizar la conducta sísmica de las barras de GFRP.

- Estudio de la resistencia a la fatiga y la incidencia sobre la adherencia.
- Estudio de los estribos en relación a la resistencia real de cortante.

## **CAPÍTULO VI**

### **REFERENCIAS**

(ACI 440.1R-03), *“Guide for the Design and Construction of concrete Reinforced with FRP bars”* American concrete institute.

(ACI 440.1R-04), *“Guide Test Methods for Fiber-Reinforcing or Strengthening Concrete Structures”* American concrete institute.

Bank, 1993 *“Properties of FRP Reinforcement for Concrete”* Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforced for Concrete Structures: Properties and Applications, Developments in Civil Engineering, V.42, A. Nanni, ed., Elsevier, Amsterdam, pp. 59-86.

Bank, Puterman y Katz 1998 *“The Effect of Material Degradation on Bond Properties of FRP Reinforcing Bars in Concrete,”* ACI Materials Journal, V. 95, No. 3, May-June, pp 232-243.

Cáceres, Malvar y Hoffard, 2003 *“Utilización de materiales compuestos para la reparación de la infraestructura marina”* Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, V. 3, No 2, Universidad de Puerto Rico, Diciembre 2003.

Celso Ugas *“Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos”* Discusión, Evaluación y Procedimiento, Mayo 1985, pp 38.

COVENIN, 255-78 *“Metodo de Ensayo para Determinar la Composición Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos”* Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN, 263-78 *“Metodo de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado Grueso”* Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN, 268-78 *“Metodo de Ensayo para Determinar el Peso Especifico y la Absorción del Agregado Fino”* Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN, 269-78 "*Metodo de Ensayo para Determinar el Peso Especifico y la Absorción del Agregado Grueso*" Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN, 272-78 "*Metodo de Ensayo para Determinar la Humedad del Agregado Fino y el Agregado Grueso*" Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN, 338:1994 "*Metodo para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto*" Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN 1753;2002 "*propuesta de norma estructuras de concreto armado para edificaciones. análisis y diseño*".

Faza, 1991 "*Bending and Bond Behavior and Design of Concrete Beams Reinforced with Fiber Reinforced Plastic Rebars,*" PhD dissertation, West Virginia University, Morgantown, W.Va., pp.213.

Faza y GangaRao, 1993b "*Glass FRP Reinforcing Bars for Concrete,*" Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Properties and Applications, Developments in Civil Engineering, V. 42, A. Nanni, ed., Elsevier, Amsterdam, pp. 167-188.

Katz, Berman y Bank, 1999 "*Effect of High Temperature on the Bond Strength of FRP Rebars*" Journal of Composites for Construction, V. 3, No. 2, pp. 73-81.

Kumahara, Masuda y Tanano, 1993 "*Tensile Strength of Continupus Fiber Bar Ander High Temperature*" International Symposium on Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, SP-138, A. Nanni and C. W. Dolan, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 731-742.

Mallick, 1988 "*Fiber Reinforced Composites, Materials, Manufacturing, and Design,*" Marcell Dekker, Inc., New York, N.Y., 469 pp.

Mandell, 1982 "*Fatigue Behavior of Fiber –Resin Composites*" Developments in Reinforced Plastic, Applied Science Publishers, London, England, V. 2, pp. 67-107.



Porrero Joaquín "Manual del Concreto Fresco" Sidetur, Tercera Edición, Caracas 1987.

Nagasaka, 1993 "*Shear Performance of Concrete Beams Reinforced with FRP Stirrups*," Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, SP-138, A. Nanni and C. W. Dolan, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 789-811.

National Research Council, 1991 "*Life Prediction Methodologies for Composite Materials*," Committee on Life Prediction Methodologies for Composites, NMAB-460, National Materials Advisory Board, Washington, D.C., 66 pp.

Rostasy y Bundelmann, 1993 "*On Durability of FRP in Aggressive Environments*" Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3), V. 2, Japan Concrete Institute, Tokyo, pp. 107-114.

Seki, Sekijima y Konno, 1997 "*Test Method on Creep of Continuous Fiber Reinforcing Materials*," Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3), Sapporo, Japan, V. 2, pp. 195-202.

Sippel y Mayer, 1996 "*Bond Behavior of FRP Strands under Short-Term, Reserved and Cyclic Loading*," Proceedings of the Second International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS-2), M. M. El-Badry, ed., Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec, pp. 837-844.

Tomosowa y Nakatsuji, 1996 "*Evaluation of the ACM Reinforcement Durability by Exposure Test*" Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3), V. 2, Japan Concrete Institute, Tokyo, pp. 139-146.

Uomoto, 2000 "*Durability of FRP as Reinforcement for Concrete Structures*," Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS-3), J. L. Humar and A.G. Razaqpur, eds, Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec, pp. 3-17.

Vijay y Gangarao, 1999 "*Accelerated and Natural Weathering of Glass Fiber Reinforced Plastic Bars*" Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, SP-188, C. W. Dolan, S. H. Rizkalla, and A. Nanni, eds.,

American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 605-614.

Wu, 1990 "*Thermomechanical Properties of Fiber Reinforced Plastics (FRP) Bars*"  
PhD West Virginia University, Morgantown, W.Va., 292 pp.

## APÉNDICE

### APÉNDICE I: ENSAYOS DE DURABILIDAD

#### 1.1. Exposición prolongada de las barras GFRP en ambientes agresivos

A continuación se presenta los datos obtenidos a lo largo de 40 semanas de exposición de las barras GFRP, tanto en ambientes ácidos como alcalinos. Éstos se fueron recolectando, semanalmente en minutas de trabajo como la se muestra a continuación.

Solución	Concentración	Denominación	Longitud (cm)	Peso (gr)	Ø <sub>1</sub> (mm)	Ø <sub>2</sub> (mm)	Ø <sub>3</sub> (mm)	Ø <sub>prom</sub> (mm)
NaCl	3%	5/8"						
		1/2"						
	10%	5/8"						
		1/2"						
NaOH	3%	5/8"						
		1/2"						
	10%	5/8"						
		1/2"						
CH <sub>3</sub> COOH	5%	5/8"						
		1/2"						
	20%	5/8"						
		1/2"						
NH <sub>4</sub> OH	3%	5/8"						
		1/2"						
	10%	5/8"						
		1/2"						
HCL	5%	5/8"						
		1/2"						
	10%	5/8"						
		1/2"						
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5%	5/8"						
		1/2"						
	10%	5/8"						
		1/2"						

Tabla A1.1. Minuta de trabajo  
Fuentes: Elaboración propia.

### 1.1.1. Valores de variación de diámetro de las barras GFRP durante 40 semanas de exposición

Ambientes Alcalinos - barras GFRP de Ø 5/8"

Ambientes Alcalinos							
Fecha	Semana	NaCl		NaOH		NH <sub>4</sub> OH	
		3%	10%	3%	10%	3%	10%
18/04/2007	1	1,711	1,718	1,737	1,717	1,696	1,759
25/04/2007	2	1,724	1,722	1,713	1,717	1,713	1,706
03/05/2007	3	1,721	1,748	1,747	1,727	1,741	1,719
09/05/2007	4	1,704	1,690	1,709	1,709	1,757	1,748
16/05/2007	5	1,713	1,697	1,705	1,720	1,741	1,737
23/05/2007	6	1,712	1,713	1,710	1,706	1,705	1,689
30/05/2007	7	1,721	1,711	1,752	1,738	1,689	1,727
08/06/2007	8	1,727	1,701	1,707	1,705	1,714	1,742
13/06/2007	9	1,731	1,700	1,717	1,719	1,733	1,749
20/06/2007	10	1,728	1,718	1,728	1,725	1,735	1,735
29/06/2007	11	1,732	1,735	1,738	1,729	1,736	1,722
06/07/2007	12	1,734	1,744	1,725	1,723	1,749	1,731
11/07/2007	13	1,737	1,740	1,733	1,726	1,743	1,727
18/07/2007	14	1,737	1,719	1,730	1,728	1,734	1,720
25/07/2007	15	1,715	1,697	1,726	1,729	1,723	1,713
03/08/2007	16	1,738	1,708	1,723	1,755	1,745	1,750
10/08/2007	17	1,721	1,731	1,745	1,727	1,737	1,715
17/08/2007	18	1,723	1,731	1,741	1,727	1,737	1,715
22/08/2007	19	1,725	1,731	1,728	1,724	1,708	1,709
31/08/2007	20	1,709	1,730	1,701	1,719	1,687	1,701
05/09/2007	21	1,719	1,711	1,748	1,731	1,699	1,713
12/09/2007	22	1,725	1,713	1,722	1,745	1,713	1,727
19/09/2007	23	1,745	1,699	1,717	1,734	1,691	1,691
26/09/2007	24	1,742	1,697	1,709	1,731	1,741	1,727
03/10/2007	25	1,731	1,727	1,747	1,755	1,755	1,733
10/10/2007	26	1,736	1,729	1,747	1,751	1,753	1,742
17/10/2007	27	1,732	1,731	1,741	1,750	1,748	1,738
24/10/2007	28	1,731	1,699	1,748	1,731	1,699	1,713
29/10/2007	29	1,689	1,695	1,708	1,719	1,692	1,696
08/11/2007	30	1,699	1,691	1,684	1,695	1,681	1,685
15/11/2007	31	1,719	1,685	1,718	1,689	1,682	1,723
23/11/2007	32	1,719	1,680	1,697	1,683	1,698	1,721
28/11/2007	33	1,720	1,683	1,698	1,687	1,671	1,723
05/12/2007	34	1,720	1,682	1,688	1,685	1,685	1,722
12/12/2007	35	1,712	1,688	1,702	1,707	1,696	1,719
10/01/2008	36	1,703	1,694	1,714	1,729	1,687	1,715
18/01/2008	37	1,701	1,685	1,700	1,712	1,700	1,718
23/01/2008	38	1,700	1,681	1,692	1,704	1,680	1,718
01/02/2008	39	1,699	1,692	1,685	1,696	1,695	1,720

Tabla A1.2. Variación de diámetro en Ambientes Alcalinos. Barras GFRP 5/8"

Fuentes: Elaboración propia.

Ambientes Ácidos - barras GFRP de Ø 5/8"

Ambientes Ácidos							
Fecha	Semana	CH <sub>3</sub> COOH		HCl		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
		5%	20%	5%	10%	5%	10%
18/04/2007	1	1,730	1,732	1,689	1,731	1,707	1,740
25/04/2007	2	1,734	1,730	1,697	1,713	1,721	1,719
03/05/2007	3	1,745	1,718	1,673	1,731	1,722	1,711
09/05/2007	4	1,725	1,711	1,703	1,703	1,705	1,706

16/05/2007	5	1,702	1,742	1,712	1,727	1,728	1,731
23/05/2007	6	1,709	1,720	1,695	1,739	1,745	1,678
30/05/2007	7	1,734	1,711	1,739	1,709	1,701	1,741
08/06/2007	8	1,689	1,695	1,748	1,738	1,741	1,708
13/06/2007	9	1,685	1,703	1,730	1,710	1,744	1,711
20/06/2007	10	1,717	1,703	1,725	1,726	1,746	1,721
29/06/2007	11	1,739	1,723	1,705	1,741	1,747	1,728
06/07/2007	12	1,718	1,737	1,711	1,731	1,720	1,718
11/07/2007	13	1,735	1,731	1,713	1,747	1,751	1,723
18/07/2007	14	1,727	1,735	1,706	1,738	1,751	1,726
25/07/2007	15	1,741	1,740	1,699	1,705	1,751	1,728
03/08/2007	16	1,745	1,742	1,720	1,733	1,742	1,798
10/08/2007	17	1,738	1,739	1,733	1,677	1,709	1,715
17/08/2007	18	1,735	1,733	1,733	1,696	1,709	1,715
22/08/2007	19	1,719	1,728	1,712	1,671	1,721	1,726
31/08/2007	20	1,699	1,702	1,704	1,689	1,733	1,736
05/09/2007	21	1,689	1,711	1,737	1,731	1,684	1,745
12/09/2007	22	1,683	1,725	1,727	1,729	1,698	1,759
19/09/2007	23	1,663	1,691	1,741	1,721	1,678	1,695
26/09/2007	24	1,727	1,705	1,707	1,715	1,735	1,716
03/10/2007	25	1,727	1,730	1,728	1,751	1,744	1,718
10/10/2007	26	1,724	1,726	1,721	1,749	1,746	1,712
17/10/2007	27	1,720	1,723	1,722	1,747	1,723	1,717
24/10/2007	28	1,689	1,711	1,720	1,748	1,684	1,745
29/10/2007	29	1,686	1,688	1,691	1,718	1,704	1,724
08/11/2007	30	1,702	1,692	1,683	1,698	1,693	1,723
15/11/2007	31	1,677	1,689	1,704	1,711	1,729	1,743
23/11/2007	32	1,689	1,718	1,723	1,698	1,721	1,669
28/11/2007	33	1,684	1,700	1,724	1,707	1,725	1,706
05/12/2007	34	1,687	1,710	1,734	1,698	1,724	1,688
12/12/2007	35	1,715	1,688	1,726	1,698	1,727	1,689
10/01/2008	36	1,721	1,695	1,717	1,682	1,729	1,689
18/01/2008	37	1,724	1,690	1,729	1,693	1,720	1,691
23/01/2008	38	1,715	1,702	1,717	1,687	1,715	1,691
01/02/2008	39	1,706	1,715	1,713	1,693	1,710	1,692

Tabla A1.3. Variación de diámetro en Ambientes Ácidos. Barras GFRP 5/8"  
Fuentes: Elaboración propia.

### Ambientes Alcalinos - barras GFRP de Ø 1/2"

Ambientes Alcalinos							
Fecha	Semana	NaCl		NaOH		NH <sub>4</sub> OH	
		3%	10%	3%	10%	3%	10%
08/03/2007	0						
18/04/2007	1	1,407	1,389	1,393	1,405	1,373	1,357
25/04/2007	2	1,408	1,355	1,367	1,371	1,388	1,327
03/05/2007	3	1,350	1,391	1,386	1,384	1,375	1,317
09/05/2007	4	1,399	1,399	1,348	1,301	1,361	1,363
16/05/2007	5	1,399	1,332	1,402	1,316	1,415	1,403
23/05/2007	6	1,351	1,314	1,357	1,379	1,371	1,358
30/05/2007	7	1,383	1,375	1,376	1,389	1,411	1,369
08/06/2007	8	1,372	1,359	1,399	1,359	1,415	1,345
13/06/2007	9	1,386	1,393	1,405	1,363	1,432	1,349

20/06/2007	10	1,380	1,377	1,404	1,367	1,412	1,345
29/06/2007	11	1,373	1,359	1,403	1,369	1,392	1,339
06/07/2007	12	1,410	1,387	1,391	1,373	1,427	1,360
11/07/2007	13	1,392	1,373	1,397	1,371	1,410	1,351
18/07/2007	14	1,370	1,378	1,409	1,359	1,427	1,371
25/07/2007	15	1,347	1,383	1,420	1,346	1,442	1,392
03/08/2007	16	1,421	1,397	1,406	1,449	1,432	1,408
10/08/2007	17	1,389	1,389	1,392	1,373	1,424	1,403
17/08/2007	18	1,389	1,389	1,392	1,373	1,424	1,403
22/08/2007	19	1,377	1,399	1,391	1,354	1,419	1,373
31/08/2007	20	1,365	1,409	1,389	1,333	1,414	1,343
05/09/2007	21	1,401	1,399	1,412	1,337	1,388	1,368
12/09/2007	22	1,430	1,428	1,441	1,366	1,417	1,397
19/09/2007	23	1,439	1,421	1,412	1,349	1,401	1,393
26/09/2007	24	1,379	1,393	1,375	1,364	1,381	1,335
03/10/2007	25	1,349	1,407	1,387	1,390	1,406	1,385
10/10/2007	26	1,343	1,410	1,380	1,387	1,405	1,383
17/10/2007	27	1,342	1,413	1,377	1,383	1,403	1,384
24/10/2007	28	1,401	1,399	1,412	1,337	1,388	1,368
29/10/2007	29	1,386	1,559	1,331	1,323	1,340	1,323
08/11/2007	30	1,389	1,406	1,329	1,355	1,349	1,327
15/11/2007	31	1,382	1,353	1,398	1,339	1,339	1,361
23/11/2007	32	1,406	1,400	1,387	1,329	1,387	1,321
28/11/2007	33	1,394	1,377	1,393	1,335	1,364	1,341
05/12/2007	34	1,401	1,389	1,390	1,333	1,376	1,332
12/12/2007	35	1,379	1,397	1,382	1,343	1,384	1,356
10/01/2008	36	1,357	1,405	1,374	1,353	1,390	1,377
18/01/2008	37	1,357	1,377	1,375	1,341	1,365	1,353
23/01/2008	38	1,357	1,361	1,373	1,333	1,351	1,341
01/02/2008	39	1,358	1,347	1,374	1,326	1,338	1,329

Tabla A1.4. Variación de diámetro en Ambientes Alcalinos. Barras GFRP 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

## Ambientes Ácidos - barras GFRP de Ø 1/2"

Ambientes Ácidos							
Fecha	Semana	CH <sub>3</sub> COOH		HCl		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
		5%	20%	5%	10%	5%	10%
08/03/2007	0						
18/04/2007	1	1,353	1,389	1,398	1,381	1,413	1,361
25/04/2007	2	1,332	1,389	1,409	1,350	1,434	1,398
03/05/2007	3	1,363	1,330	1,352	1,317	1,347	1,412
09/05/2007	4	1,352	1,412	1,344	1,367	1,415	1,389
16/05/2007	5	1,395	1,381	1,389	1,349	1,371	1,373
23/05/2007	6	1,338	1,385	1,364	1,353	1,373	1,380
30/05/2007	7	1,358	1,330	1,356	1,339	1,387	1,390
08/06/2007	8	1,356	1,357	1,422	1,363	1,425	1,441
13/06/2007	9	1,371	1,387	1,429	1,385	1,432	1,449
20/06/2007	10	1,368	1,390	1,424	1,366	1,436	1,413
29/06/2007	11	1,363	1,391	1,418	1,346	1,439	1,375
06/07/2007	12	1,389	1,405	1,390	1,404	1,397	1,389

11/07/2007	13	1,377	1,399	1,405	1,375	1,418	1,383
18/07/2007	14	1,374	1,399	1,397	1,388	1,393	1,401
25/07/2007	15	1,371	1,397	1,389	1,400	1,367	1,419
03/08/2007	16	1,384	1,429	1,421	1,427	1,365	1,388
10/08/2007	17	1,411	1,359	1,424	1,347	1,334	1,379
17/08/2007	18	1,411	1,359	1,424	1,347	1,334	1,379
22/08/2007	19	1,388	1,373	1,399	1,365	1,357	1,381
31/08/2007	20	1,363	1,385	1,372	1,384	1,378	1,381
05/09/2007	21	1,363	1,369	1,355	1,362	1,401	1,389
12/09/2007	22	1,391	1,397	1,384	1,391	1,430	1,418
19/09/2007	23	1,351	1,413	1,332	1,360	1,426	1,363
26/09/2007	24	1,357	1,365	1,375	1,387	1,432	1,379
03/10/2007	25	1,367	1,383	1,385	1,391	1,395	1,389
10/10/2007	26	1,367	1,375	1,380	1,394	1,391	1,393
17/10/2007	27	1,365	1,373	1,385	1,391	1,390	1,396
24/10/2007	28	1,363	1,369	1,355	1,362	1,401	1,389
29/10/2007	29	1,329	1,360	1,333	1,335	1,339	1,364
08/11/2007	30	1,363	1,370	1,370	1,329	1,343	1,357
15/11/2007	31	1,346	1,342	1,539	1,397	1,384	1,343
23/11/2007	32	1,332	1,373	1,351	1,323	1,345	1,346
28/11/2007	33	1,339	1,357	1,446	1,361	1,365	1,345
05/12/2007	34	1,336	1,365	1,399	1,342	1,356	1,346
12/12/2007	35	1,336	1,363	1,387	1,333	1,364	1,352
10/01/2008	36	1,335	1,361	1,374	1,323	1,371	1,355
18/01/2008	37	1,345	1,373	1,360	1,331	1,365	1,352
23/01/2008	38	1,350	1,378	1,352	1,335	1,361	1,350
01/02/2008	39	1,355	1,384	1,345	1,338	1,358	1,349

Tabla A1.5. Variación de diámetro en Ambientes Ácidos. Barras GFRP 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

### 1.1.2. Valores de variación de longitud de las barras GFRP durante 40 semanas de exposición

Ambientes Alcalinos - barras GFRP de Ø 5/8"

Ambientes Alcalinos							
Fecha	Semana	NaCl		NaOH		NH <sub>4</sub> OH	
		3%	10%	3%	10%	3%	10%
08/03/2007	0	100,9	99,9	99,5	100,2	102,7	100,8
18/04/2007	1	101,0	100,1	99,9	100,1	102,4	100,7
25/04/2007	2	101,0	99,9	99,6	100,1	102,4	100,8
03/05/2007	3	101,0	99,9	99,6	100,1	102,3	100,6
09/05/2007	4	100,9	100,1	99,5	99,9	102,3	100,8
16/05/2007	5	101,0	100,1	99,5	99,8	102,4	101,1
23/05/2007	6	101,1	100,1	99,6	99,8	102,3	100,9
30/05/2007	7	101,0	99,9	99,5	99,8	102,2	100,9
08/06/2007	8	101,0	100,1	99,7	99,9	102,3	101,1
13/06/2007	9	100,9	99,9	99,3	99,9	102,5	100,8
20/06/2007	10	100,9	99,9	99,3	99,8	102,5	100,7

29/06/2007	11	100,9	99,9	99,3	99,9	102,5	100,4
06/07/2007	12	101,0	100,1	99,6	99,9	102,3	100,9
11/07/2007	13	101,0	99,9	99,6	99,9	102,3	100,9
18/07/2007	14	101,0	99,9	99,6	99,9	102,3	100,9
25/07/2007	15	101,0	99,9	99,6	99,9	102,3	100,9
03/08/2007	16	100,9	100,6	99,4	99,9	102,2	101,0
10/08/2007	17	100,9	100,6	99,4	100,0	102,3	101,0
17/08/2007	18	100,9	100,6	99,4	100,0	102,3	101,0
22/08/2007	19	101,0	100,5	99,4	100,0	102,2	100,9
31/08/2007	20	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
05/09/2007	21	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
12/09/2007	22	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
19/09/2007	23	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
26/09/2007	24	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
03/10/2007	25	100,7	100,6	99,4	99,8	102,3	100,8
10/10/2007	26	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
17/10/2007	27	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
24/10/2007	28	100,9	100,5	99,4	99,9	102,3	100,9
29/10/2007	29	100,9	100,6	99,5	99,9	102,3	100,9
08/11/2007	30	100,9	100,6	99,5	99,9	102,3	100,9
15/11/2007	31	100,9	100,6	99,5	99,9	102,3	101,0
23/11/2007	32	100,9	100,6	99,5	99,9	102,3	100,9
28/11/2007	33	100,9	100,6	99,5	99,9	102,3	101,0
05/12/2007	34	100,9	100,6	99,5	99,9	102,3	100,9
12/12/2007	35	100,9	100,6	99,6	99,9	102,3	101,0
10/01/2008	36	100,9	100,6	99,6	99,9	102,3	101,0
18/01/2008	37	100,9	100,9	99,5	99,9	102,3	101,0
23/01/2008	38	100,9	101,1	99,5	99,9	102,3	100,9
01/02/2008	39	100,9	101,2	99,4	99,9	102,3	100,9

Tabla A1.6. Variación de longitud en Ambientes Alcalinos. Barras GFRP 5/8”  
Fuentes: Elaboración propia.

### Ambientes Ácidos - barras GFRP de Ø 5/8”

Ambientes Ácidos							
Fecha	Semana	CH <sub>3</sub> COOH		HCl		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
		5%	20%	5%	10%	5%	10%
08/03/2007	0	99,7	101,2	99,0	99,2	99,3	99,8
18/04/2007	1	99,4	101,3	99,3	99,1	99,4	99,8
25/04/2007	2	99,4	101,2	99,2	99,1	99,4	99,6
03/05/2007	3	99,4	101,2	99,0	99,0	99,2	99,6
09/05/2007	4	99,3	101,1	100,1	99,0	99,2	99,7
16/05/2007	5	99,4	101,3	99,2	99,1	99,3	99,7
23/05/2007	6	99,2	101,1	99,1	99,1	99,3	99,6
30/05/2007	7	99,2	101,1	99,0	98,9	99,1	99,6
08/06/2007	8	99,3	101,2	99,2	99,1	99,3	99,6
13/06/2007	9	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,7
20/06/2007	10	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,7
29/06/2007	11	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,7
06/07/2007	12	99,3	101,2	99,1	99,1	99,2	99,6
11/07/2007	13	99,3	101,1	99,7	99,0	99,2	99,6



18/07/2007	14	99,3	101,1	99,7	99,0	99,2	99,6
25/07/2007	15	99,3	101,1	99,7	99,0	99,2	99,6
03/08/2007	16	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
10/08/2007	17	99,3	101,2	99,1	99,0	99,3	99,7
17/08/2007	18	99,3	101,2	99,1	99,0	99,3	99,7
22/08/2007	19	99,9	101,2	99,1	99,1	99,2	99,7
31/08/2007	20	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
05/09/2007	21	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
12/09/2007	22	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
19/09/2007	23	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
26/09/2007	24	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
03/10/2007	25	99,3	101,4	99,2	99,1	99,3	99,6
10/10/2007	26	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
17/10/2007	27	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
24/10/2007	28	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
29/10/2007	29	99,2	101,1	99,9	99,1	99,3	99,5
08/11/2007	30	99,2	101,1	99,2	99,0	99,2	99,7
15/11/2007	31	99,3	101,2	99,2	99,1	99,2	99,7
23/11/2007	32	99,3	101,2	99,1	99,1	99,2	100,2
28/11/2007	33	99,3	101,2	99,2	99,1	99,2	100,0
05/12/2007	34	99,3	101,2	99,1	99,1	99,2	100,1
12/12/2007	35	99,3	101,2	99,1	99,1	99,2	99,8
10/01/2008	36	99,3	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
18/01/2008	37	99,4	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
23/01/2008	38	99,4	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6
01/02/2008	39	99,4	101,2	99,1	99,0	99,2	99,6

Tabla A1.7. Variación de longitud en Ambientes Ácidos. Barras GFRP 5/8"  
Fuentes: Elaboración propia.

### Ambientes Alcalinos - barras GFRP de Ø 1/2"

Ambientes Alcalinos							
Fecha	Semana	NaCl		NaOH		NH <sub>4</sub> OH	
		3%	10%	3%	10%	3%	10%
08/03/2007	0	99,4	99,2	99,9	101,2	99,4	101,0
18/04/2007	1	99,5	99,4	100,0	101,4	99,4	100,9
25/04/2007	2	99,4	99,2	99,8	101,2	99,4	101,0
03/05/2007	3	100,0	99,2	99,9	101,3	99,3	101,6
09/05/2007	4	99,5	99,2	99,9	101,2	99,2	101,0
16/05/2007	5	99,5	99,3	100,0	101,1	99,3	101,3
23/05/2007	6	100,1	99,2	100,2	101,4	99,8	101,1
30/05/2007	7	99,9	99,0	99,8	101,3	99,2	101,2
08/06/2007	8	99,4	99,3	100,0	101,1	99,4	101,3
13/06/2007	9	99,4	99,1	99,4	101,3	99,9	100,9
20/06/2007	10	99,4	99,1	99,4	101,3	99,9	100,9
29/06/2007	11	99,4	99,1	99,4	101,3	99,9	100,9
06/07/2007	12	99,4	99,2	99,9	101,4	99,4	101,2
11/07/2007	13	99,4	99,2	99,9	101,0	99,4	101,2
18/07/2007	14	99,4	99,2	100,0	101,0	99,4	101,2
25/07/2007	15	99,4	99,2	100,0	101,0	99,4	101,2
03/08/2007	16	99,4	99,9	99,2	101,4	99,2	101,2

10/08/2007	17	99,4	99,9	99,2	101,4	99,3	101,3
17/08/2007	18	99,4	99,9	99,2	101,4	99,3	101,3
22/08/2007	19	99,5	100,0	99,2	101,0	99,3	101,2
31/08/2007	20	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
05/09/2007	21	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
12/09/2007	22	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
19/09/2007	23	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
26/09/2007	24	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
03/10/2007	25	99,3	99,9	99,2	101,4	99,5	101,2
10/10/2007	26	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
17/10/2007	27	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
24/10/2007	28	99,4	99,9	99,1	101,4	99,3	101,2
29/10/2007	29	99,4	99,9	99,2	101,4	99,3	101,2
08/11/2007	30	99,4	100,0	99,2	101,0	99,8	101,2
15/11/2007	31	99,5	99,8	99,1	101,0	99,3	101,2
23/11/2007	32	99,4	99,9	99,2	101,4	99,3	101,3
28/11/2007	33	99,5	99,9	99,2	101,0	99,3	101,3
05/12/2007	34	99,4	99,9	99,2	101,0	99,3	101,3
12/12/2007	35	99,4	99,9	99,1	101,0	99,3	101,3
10/01/2008	36	99,4	99,9	99,1	101,0	99,3	101,3
18/01/2008	37	99,4	99,9	99,2	101,0	99,3	101,3
23/01/2008	38	99,4	99,9	99,2	101,0	99,3	101,2
01/02/2008	39	99,4	99,9	99,2	101,0	99,3	101,2

Tabla A1.8. Variación de longitud en Ambientes Alcalinos. Barras GFRP 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

### Ambientes Ácidos - barras GFRP de Ø 1/2"

Ambientes Ácidos							
Fecha	Semana	CH <sub>3</sub> COOH		HCl		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
		5%	20%	5%	10%	5%	10%
08/03/2007	0	99,8	101,0	97,9	100,1	99,9	100,4
18/04/2007	1	99,9	101,4	98,0	99,6	99,8	100,3
25/04/2007	2	99,8	101,2	98,0	99,7	99,8	100,2
03/05/2007	3	99,8	101,1	97,9	99,5	99,8	100,2
09/05/2007	4	99,8	101,1	98,1	99,5	99,8	100,9
16/05/2007	5	99,9	101,2	98,0	99,7	99,8	100,3
23/05/2007	6	99,8	101,1	97,8	99,7	99,8	100,3
30/05/2007	7	99,7	101,1	97,8	99,5	99,7	100,1
08/06/2007	8	99,8	101,2	98,0	99,6	99,8	100,4
13/06/2007	9	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,2
20/06/2007	10	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,2
29/06/2007	11	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,2
06/07/2007	12	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,3
11/07/2007	13	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
18/07/2007	14	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
25/07/2007	15	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
03/08/2007	16	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
10/08/2007	17	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
17/08/2007	18	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
22/08/2007	19	99,7	101,1	97,9	99,5	99,8	100,3

31/08/2007	20	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
05/09/2007	21	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
12/09/2007	22	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
19/09/2007	23	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
26/09/2007	24	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
03/10/2007	25	99,9	101,3	97,8	99,5	99,8	100,4
10/10/2007	26	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
17/10/2007	27	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
24/10/2007	28	99,8	101,1	97,8	99,6	99,8	100,3
29/10/2007	29	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,3
08/11/2007	30	99,7	101,1	97,9	99,6	99,7	100,3
15/11/2007	31	99,7	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
23/11/2007	32	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,2
28/11/2007	33	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,2
05/12/2007	34	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,2
12/12/2007	35	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,2
10/01/2008	36	99,8	101,1	97,9	99,6	99,8	100,2
18/01/2008	37	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,3
23/01/2008	38	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,3
01/02/2008	39	99,8	101,2	97,9	99,6	99,8	100,3

Tabla A1.9. Variación de longitud en Ambientes Ácidos. Barras GFRP 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

### 1.1.3. Valores de variación de peso de las barras GFRP durante 40 semanas de exposición

Ambientes Alcalinos - barras GFRP de Ø 5/8"

Ambientes Alcalinos							
Fecha	Semana	NaCl		NaOH		NH <sub>4</sub> OH	
		3%	10%	3%	10%	3%	10%
08/03/2007	0	431,6	437,3	435,0	439,6	443,8	436,3
18/04/2007	1	433,4	438,9	437,6	442,2	445,4	436,6
25/04/2007	2	433,1	438,3	436,2	441,4	445,8	436,3
03/05/2007	3	432,9	438,2	436,4	441,5	444,7	436,2
09/05/2007	4	433,4	438,9	437,6	442,2	445,4	436,6
16/05/2007	5	433,3	438,8	437,3	437,4	445,6	441,6
23/05/2007	6	433,2	438,1	448,8	441,9	436,7	438,6
30/05/2007	7	433,6	463,4	447,1	439,8	437,0	443,1
08/06/2007	8	434,0	488,7	445,4	437,6	437,2	447,5
13/06/2007	9	433,9	463,6	441,2	438,0	439,8	446,6
20/06/2007	10	433,8	451,1	439,1	438,2	441,0	446,1
29/06/2007	11	433,7	438,5	437,0	438,4	442,3	445,6
06/07/2007	12	433,3	438,5	436,9	438,1	444,5	441,2
11/07/2007	13	433,9	438,9	437,7	438,9	444,9	441,9
18/07/2007	14	434,2	439,1	438,0	439,2	445,1	442,2
25/07/2007	15	434,5	439,3	438,4	439,6	445,3	442,5
03/08/2007	16	434,5	438,2	439,8	440,3	445,9	442,5
10/08/2007	17	434,6	438,1	439,8	440,0	445,7	442,7
17/08/2007	18	434,7	438,0	439,7	439,7	445,5	442,8

22/08/2007	19	433,5	436,7	437,9	439,0	444,3	441,1
31/08/2007	20	434,0	438,2	438,8	440,0	445,1	442,5
05/09/2007	21	434,1	438,1	439,2	440,3	445,4	442,6
12/09/2007	22	434,2	438,5	439,6	440,7	445,8	443,0
19/09/2007	23	433,9	438,1	439,6	440,5	445,9	443,0
26/09/2007	24	434,1	438,6	439,2	440,2	445,4	442,6
03/10/2007	25	434,3	438,3	439,2	440,4	445,4	442,5
10/10/2007	26	434,2	438,1	439,2	440,3	445,5	442,6
17/10/2007	27	434,3	438,2	439,3	440,9	445,6	443,2
24/10/2007	28	434,4	438,7	440,3	442,4	446,1	443,8
29/10/2007	29	434,6	438,8	440,4	442,5	446,2	443,9
08/11/2007	30	434,7	438,9	440,5	442,6	446,3	444,0
15/11/2007	31	434,3	438,3	440,0	442,7	446,1	443,3
23/11/2007	32	434,3	438,3	440,0	442,7	446,1	443,3
28/11/2007	33	434,3	438,3	440,0	442,7	446,1	443,3
05/12/2007	34	434,3	438,3	440,0	442,7	446,1	443,3
12/12/2007	35	434,5	438,5	440,3	443,8	446,3	443,8
10/01/2008	36	434,7	438,6	440,6	444,9	446,4	444,2
18/01/2008	37	434,5	438,1	439,9	444,6	446,0	443,5
23/01/2008	38	434,3	437,8	439,6	444,5	445,7	443,2
01/02/2008	39	434,2	437,5	439,2	444,3	445,5	442,8

Tabla A1.10. Variación de peso en Ambientes Alcalinos. Barras GFRP 5/8"  
Fuentes: Elaboración propia.

### Ambientes Ácidos - barras GFRP de Ø 5/8"

Ambientes Ácidos							
Fecha	Semana	CH <sub>3</sub> COOH		HCl		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
		5%	20%	5%	10%	5%	10%
08/03/2007	0	438,0	445,0	428,3	434,5	430,1	438,5
18/04/2007	1	439,1	446,6	429,4	435,3	431,6	440,2
25/04/2007	2	438,8	446,0	429,2	435,0	431,2	439,7
03/05/2007	3	438,7	446,1	429,2	434,9	431,4	440,0
09/05/2007	4	439,1	446,6	429,4	435,3	431,6	440,2
16/05/2007	5	439,3	446,7	430,1	435,7	432,3	440,7
23/05/2007	6	439,3	446,4	429,3	435,4	431,3	439,3
30/05/2007	7	439,4	461,7	429,6	435,5	431,6	421,2
08/06/2007	8	439,5	477,0	429,9	435,5	431,8	403,0
13/06/2007	9	439,5	461,9	436,9	433,0	436,5	418,0
20/06/2007	10	439,4	454,4	440,4	431,7	438,8	425,4
29/06/2007	11	439,4	446,8	439,0	430,4	441,1	432,9
06/07/2007	12	439,2	466,3	429,8	435,5	432,0	440,7
11/07/2007	13	419,7	456,9	430,0	435,7	432,2	440,7
18/07/2007	14	410,0	452,1	430,1	435,7	432,3	440,6
25/07/2007	15	400,2	447,4	430,2	435,8	432,4	440,6
03/08/2007	16	400,2	476,4	430,4	436,1	432,5	410,0
10/08/2007	17	420,2	461,9	430,5	436,0	432,6	425,6
17/08/2007	18	440,1	447,3	430,6	435,9	432,7	441,1
22/08/2007	19	439,2	446,4	429,6	435,1	431,9	44,3
31/08/2007	20	439,5	447,0	430,1	435,6	432,5	441,1

05/09/2007	21	439,4	446,8	430,2	435,7	432,3	441,3
12/09/2007	22	439,8	447,2	430,6	436,1	432,7	441,7
19/09/2007	23	439,9	447,3	430,7	435,9	432,8	441,6
26/09/2007	24	439,4	446,8	430,2	435,7	432,2	441,3
03/10/2007	25	439,4	446,8	430,2	435,7	432,3	441,3
10/10/2007	26	439,4	446,8	430,4	435,7	432,4	441,5
17/10/2007	27	439,9	446,9	430,2	435,7	432,3	441,3
24/10/2007	28	440,7	448,1	431,2	436,2	432,9	441,2
29/10/2007	29	440,8	448,0	431,1	436,2	433,0	441,5
08/11/2007	30	440,9	448,1	431,2	436,3	433,1	441,6
15/11/2007	31	440,2	447,2	430,5	435,9	432,7	441,3
23/11/2007	32	440,2	447,2	430,5	435,9	432,7	441,3
28/11/2007	33	440,2	447,2	430,5	435,9	432,7	441,3
05/12/2007	34	440,2	447,2	430,5	435,9	432,7	441,3
12/12/2007	35	440,4	447,6	430,7	435,9	432,9	441,5
10/01/2008	36	440,5	447,9	430,9	435,9	433,0	441,7
18/01/2008	37	440,1	447,6	430,6	435,8	432,8	441,4
23/01/2008	38	439,9	447,4	430,5	435,7	432,6	441,3
01/02/2008	39	439,7	447,2	430,3	435,6	432,5	441,1

Tabla A1.11. Variación de peso en Ambientes Ácidos. Barras GFRP 5/8"  
Fuentes: Elaboración propia.

#### Ambientes Alcalinos - barras GFRP de Ø 1/2"

Ambientes Alcalinos							
Fecha	Semana	NaCl		NaOH		NH <sub>4</sub> OH	
		3%	10%	3%	10%	3%	10%
08/03/2007	0	280,9	275,3	280,0	270,4	290,9	259,4
18/04/2007	1	282,5	276,7	281,0	270,8	277,5	260,3
25/04/2007	2	282,3	276,0	280,2	276,0	277,6	260,0
03/05/2007	3	282,0	276,4	280,2	276,0	277,2	260,0
09/05/2007	4	282,5	276,7	281,0	270,8	277,5	260,3
16/05/2007	5	282,4	276,9	280,9	261,3	277,8	270,5
23/05/2007	6	282,1	276,6	278,1	270,7	280,5	240,3
30/05/2007	7	282,5	276,9	278,3	266,0	280,9	255,6
08/06/2007	8	282,8	277,2	278,5	261,3	281,2	270,8
13/06/2007	9	282,8	277,2	280,0	261,4	276,4	274,7
20/06/2007	10	282,8	277,1	280,8	261,5	273,9	276,7
29/06/2007	11	282,8	277,1	281,5	261,5	271,5	278,6
06/07/2007	12	282,7	277,0	281,0	261,3	277,8	270,4
11/07/2007	13	283,1	277,3	281,3	261,6	278,2	270,7
18/07/2007	14	283,2	277,4	281,4	261,8	278,4	270,8
25/07/2007	15	283,4	277,5	281,5	261,9	278,6	270,9
03/08/2007	16	283,6	281,8	277,8	262,1	278,9	271,2
10/08/2007	17	283,7	281,9	277,8	262,1	278,7	246,3
17/08/2007	18	283,8	281,9	277,7	262,0	278,5	221,3
22/08/2007	19	283,0	281,1	276,6	261,1	277,5	275,0
31/08/2007	20	283,3	281,4	277,4	261,7	278,4	271,4

05/09/2007	21	283,0	281,7	277,2	261,8	278,2	271,3
12/09/2007	22	283,3	281,9	277,4	262,0	278,4	271,5
19/09/2007	23	283,2	282,0	277,3	262,0	278,4	271,5
26/09/2007	24	283,4	281,5	277,2	261,8	278,3	271,2
03/10/2007	25	283,0	281,6	277,2	261,8	278,2	271,3
10/10/2007	26	283,0	281,5	277,2	261,8	278,2	271,3
17/10/2007	27	283,4	281,7	277,2	262,0	278,4	271,6
24/10/2007	28	284,0	281,7	277,2	262,3	279,1	272,2
29/10/2007	29	284,0	281,9	277,3	262,2	279,1	272,2
08/11/2007	30	284,1	282,0	277,4	262,3	279,2	272,3
15/11/2007	31	283,8	281,7	272,2	262,1	279,0	271,8
23/11/2007	32	283,8	281,7	272,2	262,1	279,0	271,8
28/11/2007	33	283,8	281,7	272,2	262,1	279,0	271,8
05/12/2007	34	283,8	281,7	272,2	262,1	279,0	271,8
12/12/2007	35	284,0	282,0	274,9	262,2	279,2	272,1
10/01/2008	36	284,1	282,3	277,5	262,3	279,4	272,3
18/01/2008	37	283,9	282,1	277,1	262,2	279,1	272,1
23/01/2008	38	283,7	282,0	276,9	262,1	278,9	271,9
01/02/2008	39	283,6	281,9	276,7	262,0	278,7	271,8

Tabla A1.12. Variación de peso en Ambientes Alcalinos. Barras GFRP 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

## Ambientes Ácidos - barras GFRP de Ø 1/2"

Ambientes Ácidos							
Fecha	Semana	CH <sub>3</sub> COOH		HCl		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
		5%	20%	5%	10%	5%	10%
08/03/2007	0	266,0	281,4	271,1	264,9	277,4	279,0
18/04/2007	1	267,1	282,6	272,2	266,0	278,7	280,8
25/04/2007	2	266,8	282,4	271,8	265,0	278,3	280,2
03/05/2007	3	266,7	282,3	271,9	265,8	278,4	280,4
09/05/2007	4	267,1	282,6	272,2	266,0	278,7	280,8
16/05/2007	5	267,2	282,8	272,7	266,4	278,8	281,0
23/05/2007	6	267,1	282,7	271,9	265,9	278,4	280,2
30/05/2007	7	267,5	282,9	272,3	266,1	278,6	280,6
08/06/2007	8	267,8	283,1	272,6	266,3	278,8	281,0
13/06/2007	9	267,7	283,0	269,7	269,8	280,2	280,3
20/06/2007	10	267,7	283,0	268,3	271,5	280,8	280,0
29/06/2007	11	267,6	282,9	266,8	273,2	281,5	279,6
06/07/2007	12	267,4	282,2	272,8	266,5	279,1	281,3
11/07/2007	13	267,6	282,7	272,9	266,6	279,2	281,3
18/07/2007	14	267,7	282,9	272,9	266,7	279,3	281,3
25/07/2007	15	267,8	283,1	272,9	266,7	279,3	281,3
03/08/2007	16	268,1	283,4	273,3	266,3	279,5	281,5
10/08/2007	17	268,0	283,4	273,3	266,7	279,5	281,6
17/08/2007	18	267,9	283,3	273,2	267,0	279,5	281,6
22/08/2007	19	267,4	282,8	273,0	266,5	279,0	281,2
31/08/2007	20	267,8	283,0	273,2	266,8	279,4	281,5

05/09/2007	21	267,4	282,9	273,2	266,7	279,3	281,6
12/09/2007	22	267,6	283,1	273,4	266,9	279,5	281,8
19/09/2007	23	267,5	283,4	273,4	266,9	279,5	281,9
26/09/2007	24	267,5	282,7	273,1	266,5	279,4	281,6
03/10/2007	25	267,4	282,9	273,2	266,5	279,3	281,6
10/10/2007	26	267,4	282,9	273,2	266,7	279,3	281,6
17/10/2007	27	267,5	283,5	273,2	266,9	279,3	281,9
24/10/2007	28	268,2	284,0	273,7	267,1	279,7	282,1
29/10/2007	29	268,3	284,2	273,8	267,2	279,9	282,1
08/11/2007	30	268,4	284,3	273,9	267,3	280,0	282,2
15/11/2007	31	268,1	283,4	273,4	267,2	279,6	281,9
23/11/2007	32	268,1	283,4	273,4	267,2	279,6	281,9
28/11/2007	33	268,1	283,4	273,4	267,2	279,6	281,9
05/12/2007	34	268,1	283,4	273,4	267,2	279,6	281,9
12/12/2007	35	268,3	283,7	273,7	267,2	279,9	282,1
10/01/2008	36	268,4	284,0	274,0	267,1	280,1	282,2
18/01/2008	37	268,3	283,8	273,8	267,1	280,0	282,0
23/01/2008	38	268,2	283,6	273,6	267,0	280,0	281,9
01/02/2008	39	268,1	283,5	273,5	267,0	279,9	281,8

Tabla A1.13. Variación de peso en Ambientes Ácidos. Barras GFRP 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

#### 1.1.4. Datos obtenidos del ensayo a tracción de las barras GFRP de 5/8" de diámetro.

5/8 " H2SO4 al 5%			5/8 " H2SO4 al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	219,8	2,0	500	219,0	2,0
1000	439,6	6,0	1000	438,0	4,0
1500	659,3	11,0	1500	657,0	18,0
2000	879,1	16,0	2250	985,5	20,0
2500	1098,9	20,0	3250	1423,6	30,0
3050	1340,7	30,0	4200	1839,7	40,0
4200	1846,2	40,0	5050	2212,0	50,0
5250	2307,7	50,0	6750	2956,6	70,0
6200	2725,3	60,0	7500	3285,2	80,0
7000	3076,9	70,0	8550	3745,1	90,0
7750	3406,6	80,0	9550	4183,1	100,0
8980	3947,3	100,0	14250	6241,8	150,0
10100	4439,6	DESLIZO	15100	6614,1	Carga Maxima

Tabla A1.14. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
Fuentes: Elaboración propia.

5/8 " CH <sub>3</sub> COOH al 5%			5/8 " CH <sub>3</sub> COOH al 20%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	219,8	2,8	500	209,0	0,4
1000	439,6	7,0	1000	418,1	3,2
1500	659,3	12,0	1500	627,1	6,8
2000	879,1	18,0	2000	836,1	12,0
2500	1098,9	20,0	2500	1045,2	14,0
3300	1450,5	30,0	3100	1296,0	20,0
4250	1868,1	40,0	4250	1776,8	30,0
5200	2285,7	50,0	5200	2173,9	40,0
9250	4065,9	100,0	8000	3344,5	70,0
16250	7142,9	Carga Maxima	10000	4180,6	Deslizo

Tabla A1.15. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Fuentes: Elaboración propia.

5/8 "NaOH al 3%			5/8 "NaOH al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	221,8	6,0	500	210,8	2,0
1000	443,7	8,0	1000	421,6	6,0
1500	665,5	12,4	1500	632,4	10,4
2000	887,3	18,0	2000	843,2	14,0
2540	1126,9	20,0	2500	1054,0	18,0
7260	3220,9	80,0	3000	1264,8	20,0
8340	3700,1	100,0	3500	1475,5	30,0
12520	5554,6	150,0	4000	1686,3	40,0
13100	5811,9	Deslizo	4980	2099,5	50,0
			5750	2424,1	60,0
			9950	4194,8	Deslizo

Tabla A1.16. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-NaOH

Fuentes: Elaboración propia.

5/8 "HCL al 5%			5/8 "HCL al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	211,7	0,2	500	216,5	3,6
1200	508,0	4,4	1000	432,9	8,0
1620	685,9	8,8	1500	649,4	13,0
2240	948,3	14,2	2500	1082,3	20,0
2860	1210,8	20,0	3500	1515,2	30,0
3410	1443,7	30,0	4200	1818,2	40,0
4850	2053,3	40,0	5000	2164,5	50,0



5820	2464,0	50,0	5920	2562,8	60,0
11200	4741,7	100,0	7000	3030,3	70,0
14520	6147,3	150,0	7350	3181,8	Deslizo
16550	7006,8	Carga Máxima			

Tabla A1.17. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-HCl  
Fuentes: Elaboración propia.

5/8 "NaCL al 3%			5/8 "NaCL al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	215,7	6,0	500	212,5	1,2
1000	431,4	9,0	1000	425,0	6,4
1500	647,1	13,0	1500	637,5	12,0
2000	862,8	17,0	2000	850,0	18,0
2500	1078,5	20,0	2250	956,2	20,0
3500	1509,9	30,0	4260	1810,5	40,0
4000	1725,6	40,0	7600	3229,9	80,0
4850	2092,3	50,0	9500	4037,4	100,0
6800	2933,6	Deslizo	11100	4717,4	Deslizo

Tabla A1.18. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-NaCl  
Fuentes: Elaboración propia.

5/8 "NH4OH al 3%			5/8 "NH4OH al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	225,0	2,4	500	218,0	1,6
1000	450,0	7,0	1000	435,9	4,0
1500	675,1	12,2	1500	653,9	8,0
2000	900,1	18,0	1950	850,0	12,0
2250	1012,6	20,0	2220	967,7	17,0
3500	1575,2	30,0	2900	1264,2	20,0
4250	1912,7	40,0	3450	1503,9	30,0
5200	2340,2	50,0	4220	1839,6	40,0
5800	2610,3	60,0	5580	2432,4	Deslizo
6550	2947,8	70,0			
7500	3375,3	80,0			
8500	3825,4	90,0			
9000	4050,4	100,0			
11700	5265,5	Deslizo			

Tabla A1.19. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-NH<sub>4</sub>OH  
Fuentes: Elaboración propia.

**1.1.5. Datos obtenidos del ensayo a tracción de las barras GFRP de 1/2" de diámetro.**

1/2 " H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 5%			1/2 " H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo f <sub>fu</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	327,2	4,0	500	326,6	5,0
1000	654,5	11,6	1000	653,2	13,0
1500	981,7	20,0	1500	979,8	16,4
2360	1544,5	30,0	1960	1280,2	20,0
3020	1976,4	40,0	2100	1371,7	30,0
10090	6603,4	Fallo	2300	1502,3	40,0
			3800	2482,0	50,0
			6320	4128,0	100,0
			9300	6074,5	150,0
			11150	7282,8	Fallo

Tabla A1.21. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 " CH <sub>3</sub> COOH al 5%			1/2 " CH <sub>3</sub> COOH al 20%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	324,9	5,0	700	507,6	8,0
1000	649,8	11,0	1220	884,7	16,0
1500	974,7	14,0	1580	1145,8	20,0
1600	1039,6	20,0	2000	1450,3	30,0
2200	1429,5	30,0	2400	1740,4	40,0
2800	1819,4	40,0	3200	2320,5	50,0
3480	2261,2	50,0	8400	6091,4	150,0
6360	4132,6	100,0	11000	7976,8	200,0
9200	5977,9	150,0	12400	8992,0	Fallo
10500	6822,6	Fallo			

Tabla A1.22. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-CH<sub>3</sub>COOH  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "NaOH al 3%			1/2 "NaOH al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	322,6	6,0	500	347,7	0,0
1000	645,2	14,0	1000	695,4	6,2
1400	903,2	20,0	1500	1043,1	14,0
2050	1322,6	30,0	2000	1390,8	20,0
3050	1967,7	40,0	2650	1842,8	30,0
3860	2490,3	50,0	3300	2294,9	40,0
6500	4193,5	100,0	3940	2739,9	50,0
9160	5909,7	Fallo	6840	4756,6	100,0
			9180	6383,9	Fallo

Tabla A1.23. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-NaOH  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "HCL al 5%			1/2 "HCL al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	326,2	1,6	700	425,8	2,6
1000	652,3	8,6	1200	729,9	9,6
1500	978,5	15,0	1500	912,4	16,0
2000	1304,6	18,0	2000	1216,5	20,0
2120	1382,9	20,0	2500	1520,7	30,0
2650	1728,6	30,0	3200	1946,5	40,0
3250	2120,0	40,0	3700	2250,6	50,0
3750	2446,2	50,0	6900	4197,1	100,0
6570	4285,7	DESLLZO	9800	5961,1	150,0
			10400	6326,0	Fallo

Tabla A1.24. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-NaOH  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "NaCL al 3%			1/2 "NaCL al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	322,0	6,0	500	319,7	5,0
1000	643,9	13,0	1000	639,4	12,0
1500	965,9	20,0	1500	959,1	18,4
2200	1416,6	30,0	1620	1035,8	20,0
2700	1738,6	40,0	2300	1470,6	30,0
3420	2202,2	50,0	3810	2436,1	40,0

6900	4443,0	100,0	7250	4635,5	100,0
9760	6284,6	150,0	10760	6879,8	
10200	6567,9	Fallo			

Tabla A1.25. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-NaCl  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "NH4OH al 3%			1/2 "NH4OH al 10%		
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
500	313,5	7,6	500	332,9	4,0
1000	627,0	15,0	1000	665,8	12,0
1470	921,6	20,0	1500	998,7	20,0
2000	1253,9	30,0	2750	1830,9	30,0
2680	1680,3	40,0	3100	2063,9	40,0
3140	1968,7	50,0	4250	2829,6	50,0
5840	3661,4	100,0	4800	3195,7	70
8100	5078,4	140,0	6200	4127,8	Deslizo
8800	5517,2	150,0			
9600	6018,8	160,0			
10000	6269,6	Fallo			

Tabla A1.26. Datos del ensayo a tracción de las barras GFRP. Diámetro 5/8"-NaCl  
Fuentes: Elaboración propia.

## 1.2. Exposición a corto plazo de las barras de acero en ambientes agresivos

### 1.2.1. Ambientes Ácidos

Barra de acero Ø1/2 - CH3COOH 5%							
Fecha	Semana	Long.	Peso	Φ1	Φ2	Φ3	Φprom
14-Mar	0	100,900	975,000	1,284	1,236	1,240	1,253
22-Mar	1	100,800	973,000	1,256	1,260	1,248	1,255
29-Mar	2	100,700	973,000	1,262	1,224	1,282	1,256
11-Abr	4	100,700	959,000	1,242	1,252	1,268	1,254
10-May	8	100,700	958,000	1,198	1,238	1,220	1,219
13-Jun	13	100,500	937,000	1,184	1,194	1,196	1,191

Tabla A1.27. Variación de barras de acero. Ø 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø1/2 - CH3COOH 20%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
14-Mar	0	101,100	974,000	1,302	1,256	1,304	1,287
22-Mar	1	101,100	965,000	1,280	1,242	1,240	1,254
29-Mar	2	101,200	970,000	1,232	1,238	1,236	1,235
11-Abr	4	101,000	949,000	1,224	1,238	1,248	1,237
10-May	8	101,100	937,000	1,220	1,232	1,236	1,229
13-Jun	13	101,100	904,000	1,182	1,192	1,232	1,202

Tabla A1.28. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø 1/2 - H2SO4 5%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
20-Mar	0	100,700	969,000	1,304	1,302	1,326	1,311
22-Mar	1	100,500	959,000	1,286	1,280	1,242	1,269
29-Mar	2	100,600	950,000	1,250	1,248	1,236	1,245
11-Abr	4	100,700	944,000	1,216	1,304	1,286	1,269
10-May	8	100,700	936,000	1,222	1,218	1,230	1,223
19-Jun	13	100,500	904,000	1,198	1,200	1,192	1,197

Tabla A1.29. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø 1/2 - H2SO4 10%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
20-Mar	0	98,900	954,000	1,228	1,240	1,226	1,231
22-Mar	1	98,900	929,000	1,226	1,268	1,222	1,239
29-Mar	2	99,000	919,000	1,226	1,236	1,236	1,233
11-Abr	4	99,000	890,000	1,224	1,232	1,288	1,248
10-May	8	99,000	878,000	1,232	1,228	1,266	1,242
19-Jun	13	98,900	828,000	1,156	1,154	1,142	1,151

Tabla A1.30. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø 1/2 - HCL 5%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
16-Mar	0	100,300	969,000	1,210	1,244	1,246	1,233
22-Mar	1	100,400	961,000	1,262	1,282	1,278	1,274
29-Mar	2	100,300	960,000	1,222	1,230	1,236	1,229
11-Abr	4	100,300	957,000	1,286	1,268	1,246	1,267
10-May	8	100,300	955,000	1,264	1,236	1,242	1,247
15-Jun	13	100,400	943,000	1,224	1,200	1,198	1,207

Tabla A1.31. Variación de barras de acero. Ø 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø 1/2 - HCL 10%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
16-Mar	0	101,600	982,000	1,266	1,308	1,294	1,289
22-Mar	1	101,800	979,000	1,220	1,242	1,222	1,228
29-Mar	2	101,700	971,000	1,236	1,226	1,226	1,229
11-Abr	4	101,700	965,000	1,258	1,246	1,216	1,240
10-May	8	101,700	959,000	1,212	1,238	1,224	1,225
15-Jun	13	101,700	937,000	1,192	1,174	1,198	1,188

Tabla A1.32. Variación de barras de acero. Ø 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

## 1.2.2. Ambientes Alcalinos

<b>Barra de acero Ø1/2 - NaCl 3%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
14-Mar	0	101,000	983,000	1,242	1,246	1,276	1,255
22-Mar	1	101,100	975,000	1,212	1,200	1,256	1,223
29-Mar	2	101,100	975,000	1,304	1,260	1,232	1,265
11-Abr	4	101,000	975,000	1,282	1,314	1,318	1,305
10-May	8	101,000	975,000	1,220	1,208	1,234	1,221
13-Jun	13	101,000	966,000	1,216	1,214	1,224	1,218

Tabla A1.33. Variación de barras de acero. Ø 1/2"  
Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø1/2 - NaCl 10%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
14-Mar	0	101,300	987,000	1,230	1,232	1,232	1,231
22-Mar	1	101,400	979,000	1,236	1,250	1,242	1,243
29-Mar	2	101,400	979,000	1,234	1,236	1,234	1,235
11-Abr	4	101,400	979,000	1,226	1,258	1,298	1,261
10-May	8	101,400	978,000	1,210	1,216	1,218	1,215
13-Jun	13	101,400	978,000	1,242	1,224	1,226	1,231

Tabla A1.34. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø1/2 - NaOH 3%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
14-Mar	0	100,800	979,000	1,266	1,266	1,262	1,265
22-Mar	1	100,800	972,000	1,262	1,232	1,246	1,247
29-Mar	2	100,700	971,000	1,230	1,226	1,270	1,242
11-Abr	4	100,800	970,000	1,230	1,266	1,258	1,251
10-May	8	100,700	965,000	1,222	1,246	1,248	1,239
13-Jun	13	100,700	971,000	1,228	1,264	1,234	1,242

Tabla A1.35. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø1/2 - NaOH 10%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
14-Mar	0	101,400	989,000	1,278	1,236	1,270	1,261
22-Mar	1	101,400	980,000	1,234	1,256	1,242	1,244
29-Mar	2	101,400	980,000	1,226	1,224	1,226	1,225
11-Abr	4	101,400	980,000	1,258	1,254	1,256	1,256
10-May	8	101,400	979,000	1,228	1,246	1,254	1,243
13-Jun	13	101,400	973,000	1,234	1,218	1,220	1,224

Tabla A1.36. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø1/2 - 3% NH4OH</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
14-Mar	0	101,000	984,000	1,230	1,246	1,226	1,234
22-Mar	1	101,200	976,000	1,226	1,232	1,216	1,225
29-Mar	2	101,000	975,000	1,214	1,212	1,258	1,228
11-Abr	4	101,000	975,000	1,226	1,238	1,232	1,232
10-May	8	101,000	975,000	1,236	1,214	1,218	1,223
15-Jun	13	101,000	975,000	1,222	1,210	1,204	1,212

Tabla A1.37. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra de acero Ø1/2 - NH4OH 10%</b>							
<b>Fecha</b>	<b>Semana</b>	<b>Long.</b>	<b>Peso</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ2</b>	<b>Φ3</b>	<b>Φprom</b>
14-Mar	0	100,800	982,000	1,258	1,266	1,286	1,270
22-Mar	1	100,900	973,000	1,236	1,224	1,236	1,232
29-Mar	2	100,700	973,000	1,256	1,226	1,266	1,249
11-Abr	4	100,800	972,000	1,272	1,280	1,300	1,284
10-May	8	100,800	970,000	1,216	1,228	1,260	1,235
15-Jun	13	100,900	970,000	1,224	1,234	1,252	1,237

Tabla A1.38. Variación de barras de acero. Ø 1/2"

Fuentes: Elaboración propia.

### 1.2.3. Datos del ensayo a tracción de las barras de acero.

<b>1/2 " H2SO4 al 5%</b>				<b>1/2 " H2SO4 al 10%</b>			
<b>Carga (Kg)</b>	<b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b>	<b>Deformación (cm/cm)x10-4</b>	<b>Deformación (cm/cm)x10-4</b>	<b>Carga (Kg)</b>	<b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b>	<b>Deformación (cm/cm)x10-4</b>	<b>Deformación (cm/cm)x10-4</b>
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
400	315,7	0,2	0,4	400	315,7	0,1	0,2
800	631,4	1,0	2,0	800	631,4	1,0	2,0
1200	947,1	2,0	4,0	1200	947,1	2,0	4,0
1600	1262,8	2,5	5,0	1600	1262,8	3,0	6,0
2000	1578,5	3,2	6,4	2000	1578,5	4,0	8,0
2400	1894,2	4,0	8,0	2400	1894,2	5,0	10,0
2800	2209,9	4,7	9,4	2800	2209,9	5,8	11,6
3200	2525,7	5,3	10,6	3200	2525,7	6,6	13,2



3600	2841,4	6,1	12,2	3600	2841,4	7,0	14,0
4000	3157,1	7	14,0	4000	3157,1	7,5	15,0
4400	3472,8	7,8	15,6	4400	3472,8	9,6	19,2
4800	3788,5	8,5	17,0	4500	3551,7	10	20,0
5200	4104,2	9,5	19,0	4700	3709,6	15	30,0
5280	4167,3	10	20,0	4700	3709,6	20	40,0
5280	4167,3	15	30,0	4700	3709,6	25	50,0
5280	4167,3	20	40,0	5000	3946,3	50	100,0
5280	4167,3	25	50,0	5470	4317,3	75	150,0
5470	4317,3	50	100,0	5880	4640,9	100	200,0
5980	4719,8	75	150,0	6520	5146,0	150	300,0
6450	5090,8	100	200,0	6970	5501,2	200	400,0
7150	5643,3	150	300,0	7250	5722,2	250	500,0
7630	6022,1	200	400,0	<b>7770</b>	<b>6132,6</b>	<b>Carga Máxima</b>	
7960	6282,6	250	500,0				
<b>8490</b>	<b>6700,9</b>	<b>Carga Máxima</b>					

Tabla A1.39. Variación de barras de acero. Ø 1/2"-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 " CH <sub>3</sub> COOH al 5%				1/2 " CH <sub>3</sub> COOH al 20%			
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
400	315,7	0,5	1,0	400	315,7	0,0	0,0
800	631,4	1,2	2,4	800	631,4	0,1	0,2
1200	947,1	2,0	4,0	1200	947,1	0,9	1,8
1600	1262,8	3,0	6,0	1600	1262,8	2,8	5,6
2000	1578,5	3,5	7,0	2000	1578,5	3,0	6,0
2400	1894,2	4,2	8,4	2400	1894,2	3,3	6,6
2800	2209,9	5,1	10,2	2800	2209,9	3,8	7,6
3200	2525,7	6,0	12,0	3200	2525,7	4,5	9,0
3600	2841,4	6,8	13,6	3600	2841,4	5	10,0
4000	3157,1	7,3	14,6	4000	3157,1	6	12,0
4400	3472,8	8,1	16,2	4400	3472,8	6,5	13,0
4800	3788,5	9	18,0	4800	3788,5	7,5	15,0
5200	4104,2	9,8	19,6	5200	4104,2	8,5	17,0
5300	4183,1	10	20,0	5320	4198,9	10	20,0
5570	4396,2	15	30,0	5320	4198,9	15	30,0
5570	4396,2	20	40,0	5320	4198,9	20	40,0
5570	4396,2	25	50,0	5320	4198,9	25	50,0
5670	4475,1	50	100,0	5600	4419,9	50	100,0
6250	4932,9	75	150,0	6150	4854,0	75	150,0
6950	5485,4	100	200,0	6600	5209,2	100	200,0
7470	5895,8	150	300,0	7300	5761,6	150	300,0
8000	6314,1	200	400,0	7790	6148,4	200	400,0
8330	6574,6	250	500,0	8130	6416,7	250	500,0
<b>8940</b>	<b>7056,0</b>	<b>Carga Máxima</b>		<b>8640</b>	<b>6819,3</b>	<b>Carga Máxima</b>	

Tabla A1.40. Variación de barras de acero. Ø 1/2"-CH<sub>3</sub>COOH  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "HCL al 5%				1/2 "HCL al 10%			
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
400	315,7	0,8	1,6	400	315,7	0,0	0,0
800	631,4	1,5	3,0	800	631,4	1,0	2,0
1200	947,1	2,1	4,2	1200	947,1	1,8	3,6
1600	1262,8	3,0	6,0	1600	1262,8	2,5	5,0
2000	1578,5	3,8	7,6	2000	1578,5	3,2	6,4
2400	1894,2	4,5	9,0	2400	1894,2	4,0	8,0
2800	2209,9	5,1	10,2	2800	2209,9	4,8	9,6
3200	2525,7	5,8	11,6	3200	2525,7	5,5	11,0
3600	2841,4	6,7	13,4	3600	2841,4	6,2	12,4
4000	3157,1	7,3	14,6	4000	3157,1	7	14,0
4400	3472,8	8,1	16,2	4400	3472,8	7,8	15,6
4800	3788,5	9	18,0	4800	3788,5	8,8	17,6
5200	4104,2	9,8	19,6	5200	4104,2	9,8	19,6
5300	4183,1	10	20,0	5300	4183,1	10	20,0
5480	4325,2	15	30,0	5320	4198,9	15	30,0
5480	4325,2	20	40,0	5320	4198,9	20	40,0
5480	4325,2	25	50,0	5350	4222,6	25	50,0
5800	4577,7	50	100,0	5550	4380,4	50	100,0
6330	4996,1	75	150,0	6080	4798,7	75	150,0
6800	5367,0	100	200,0	6450	5090,8	100	200,0
7550	5959,0	150	300,0	7240	5714,3	150	300,0
8080	6377,3	200	400,0	7780	6140,5	200	400,0
8440	6661,4	250	500,0	8120	6408,8	250	500,0
<b>8980</b>	<b>7087,6</b>	<b>Carga Máxima</b>		<b>8730</b>	<b>6890,3</b>	<b>Carga Máxima</b>	

Tabla A1.41. Variación de barras de acero. Ø 1/2"-HCL  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 Patrón 1				1/2 Patrón 3			
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
400	315,7	0,0	0,0	400	315,7	0,4	0,8
800	631,4	0,0	0,0	800	631,4	0,8	1,6
1200	947,1	0,5	1,0	1200	947,1	1,4	2,8
1600	1262,8	1,3	2,6	1600	1262,8	2,1	4,2
2000	1578,5	1,8	3,6	2000	1578,5	2,8	5,6
2400	1894,2	2,6	5,2	2400	1894,2	3,2	6,4
2800	2209,9	3,3	6,6	2800	2209,9	4,0	8,0
3200	2525,7	4,0	8,0	3200	2525,7	4,6	9,2
3600	2841,4	4,6	9,2	3600	2841,4	5,3	10,6
4000	3157,1	5,4	10,8	4000	3157,1	5,9	11,8

4400	3472,8	6,1	12,2	4400	3472,8	6,8	13,6
4800	3788,5	6,8	13,6	4800	3788,5	7,5	15,0
5200	4104,2	7,6	15,2	5200	4104,2	8	16,0
5600	4419,9	8,4	16,8	5600	4419,9	8,8	17,6
5710	4506,7	10	20,0	5750	4538,3	10	20,0
5710	4506,7	15	30,0	5750	4538,3	15	30,0
5710	4506,7	20	40,0	5750	4538,3	20	40,0
5710	4506,7	25	50,0	5750	4538,3	25	50,0
5960	4704,0	50	100,0	5990	4727,7	50	100,0
6510	5138,1	75	150,0	6610	5217,0	75	150,0
6930	5469,6	100	200,0	7110	5611,7	100	200,0
7700	6077,3	150	300,0	7820	6172,1	150	300,0
8270	6527,2	200	400,0	8310	6558,8	200	400,0
<b>8600</b>	<b>6787,7</b>	<b>250</b>	<b>500,0</b>	<b>8610</b>	<b>6795,6</b>	<b>250</b>	<b>500,0</b>
<b>9240</b>	<b>7292,8</b>	<b>Carga Máxima</b>		<b>9240</b>	<b>7292,8</b>	<b>Carga Máxima</b>	<b>Carga Máxima</b>

Tabla A1.42. Variación de barras de acero. Ø 1/2"-Patrón  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "NaOH al 3%				1/2 "NaOH al 10%			
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>	Deformación (cm/cm)x10 <sup>-4</sup>
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
400	315,7	0,5	1,0	400	315,7	1,0	2,0
800	631,4	1,1	2,2	800	631,4	1,8	3,6
1200	947,1	2,0	4,0	1200	947,1	2,6	5,2
1600	1262,8	2,8	5,6	1600	1262,8	3,3	6,6
2000	1578,5	3,5	7,0	2000	1578,5	4,0	8,0
2400	1894,2	4,0	8,0	2400	1894,2	5,0	10,0
2800	2209,9	4,8	9,6	2800	2209,9	5,8	11,6
3200	2525,7	5,3	10,6	3200	2525,7	6,5	13,0
3600	2841,4	6,8	13,6	3600	2841,4	7	14,0
4000	3157,1	7,6	15,2	4000	3157,1	8	16,0
4400	3472,8	8,2	16,4	4400	3472,8	9	18,0
4800	3788,5	9	18,0	4800	3788,5	10	20,0
5600	4419,9	10	20,0	5660	4467,2	15	30,0
5620	4435,7	15	30,0	5660	4467,2	20	40,0
5620	4435,7	20	40,0	5660	4467,2	25	50,0
5620	4435,7	25	50,0	5700	4498,8	50	100,0
5940	4688,2	50	100,0	6310	4980,3	75	150,0
6500	5130,2	75	150,0	6800	5367,0	100	200,0
6950	5485,4	100	200,0	7580	5982,6	150	300,0
7730	6101,0	150	300,0	8140	6424,6	200	400,0
8250	6511,4	200	400,0	8520	6724,5	250	500,0
8500	6708,8	250	500,0	<b>9250</b>	<b>7300,7</b>	<b>Carga Máxima</b>	
<b>9150</b>	<b>7221,8</b>	<b>Carga Máxima</b>					

Tabla A1.43. Variación de barras de acero. Ø 1/2"-Patrón  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "NaCl al 3%				1/2 "NaCl al 10%			
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
400	315,7	0,2	0,4	400	315,7	0,2	0,4
800	631,4	1,0	2,0	800	631,4	1,0	2,0
1200	947,1	1,8	3,6	1200	947,1	2,0	4,0
1600	1262,8	2,7	5,4	1600	1262,8	2,5	5,0
2000	1578,5	3,3	6,6	2000	1578,5	3,0	6,0
2400	1894,2	4,0	8,0	2400	1894,2	4,8	9,6
2800	2209,9	4,8	9,6	2800	2209,9	5,5	11,0
3200	2525,7	5,6	11,2	3200	2525,7	6,1	12,2
3600	2841,4	6,1	12,2	3600	2841,4	7	14,0
4000	3157,1	7,1	14,2	4000	3157,1	7,7	15,4
4400	3472,8	8	16,0	4400	3472,8	8,5	17,0
4800	3788,5	8,9	17,8	4800	3788,5	9,2	18,4
5200	4104,2	9,7	19,4	5600	4419,9	10	20,0
5350	4222,6	10	20,0	5740	4530,4	15	30,0
5700	4498,8	15	30,0	5740	4530,4	20	40,0
5700	4498,8	20	40,0	5740	4530,4	25	50,0
5700	4498,8	25	50,0	5900	4656,7	50	100,0
6000	4735,6	50	100,0	6420	5067,1	75	150,0
6500	5130,2	75	150,0	6980	5509,1	100	200,0
7000	5524,9	100	200,0	7770	6132,6	150	300,0
7780	6140,5	150	300,0	8270	6527,2	200	400,0
8300	6550,9	200	400,0	8650	6827,2	250	500,0
8650	6827,2	250	500,0	<b>9240</b>	<b>7292,8</b>	<b>Carga Máxima</b>	
<b>9230</b>	<b>7284,9</b>	<b>Carga Máxima</b>					

Tabla A1.44. Variación de barras de acero. Ø 1/2"-Patrón  
Fuentes: Elaboración propia.

1/2 "NH4OH al 3%				1/2 "NH4OH al 10%			
Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (cm/cm)x10-4	Deformación (cm/cm)x10-4
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
400	315,7	0,2	0,4	400	315,7	0,2	0,4
800	631,4	1,0	2,0	800	631,4	1,0	2,0
1200	947,1	2,0	4,0	1200	947,1	1,8	3,6
1600	1262,8	2,7	5,4	1600	1262,8	2,3	4,6
2000	1578,5	3,8	7,6	2000	1578,5	3,0	6,0
2400	1894,2	4,2	8,4	2400	1894,2	4,2	8,4
2800	2209,9	5,0	10,0	2800	2209,9	4,8	9,6
3200	2525,7	5,8	11,6	3200	2525,7	5,1	10,2
3600	2841,4	6,5	13,0	3600	2841,4	6	12,0
4000	3157,1	7,1	14,2	4000	3157,1	6,7	13,4
4400	3472,8	7,9	15,8	4400	3472,8	7,2	14,4
4800	3788,5	8,9	17,8	4800	3788,5	8	16,0
5200	4104,2	9,5	19,0	5200	4104,2	8,8	17,6
5400	4262,0	10	20,0	5600	4419,9	9,8	19,6
5650	4459,4	15	30,0	5680	4483,0	10	20,0
5650	4459,4	20	40,0	5690	4490,9	15	30,0
5650	4459,4	25	50,0	5690	4490,9	20	40,0

5880	4640,9	50	100,0	5690	4490,9	25	50,0
6470	5106,6	75	150,0	6030	4759,3	50	100,0
6940	5477,5	100	200,0	6600	5209,2	75	150,0
7700	6077,3	150	300,0	7050	5564,3	100	200,0
8220	6487,8	200	400,0	7800	6156,3	150	300,0
8520	6724,5	250	500,0	8300	6550,9	200	400,0
<b>9240</b>	<b>7292,8</b>	<b>Carga Máxima</b>		8630	6811,4	250	500,0
				<b>9240</b>	<b>7292,8</b>	<b>Carga Máxima</b>	

Tabla A.45. Variación de barras de acero. Ø 1/2"-Patrón  
Fuentes: Elaboración propia.

### 1.3. Estudio de ciclos calor-humedad

<b>Barra I</b>				
Ciclos	Día	Peso (gr)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
0	1	179,0	40,4	1,717
1	2	179,2	40,4	1,725
	3	179,1	40,4	1,689
2	4	178,9	40,4	1,738
	5	179,1	40,4	1,758
3	6	179,0	40,5	1,694
	7	179,6	40,4	1,762
4	8	178,5	40,4	1,690
	9	179,7	40,4	1,683
5	10	178,8	40,4	1,690
	11	179,7	40,4	1,683

Tabla A1.46. Variación de barras GFRP Ø 1/2". Ciclos calor-humedad  
Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra II</b>				
Ciclos	Día	Peso (gr)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
0	1	175,4	40,3	1,709
1	2	175,6	40,3	1,723
	3	175,4	40,3	1,692
2	4	175,3	40,3	1,754

	5	175,5	40,3	1,673
3	6	175,3	40,3	1,675
	7	175,7	40,3	1,651
4	8	175,4	40,3	1,763
	9	175,8	40,3	1,682
5	10	175,3	40,3	1,763
	11	175,8	40,3	1,682

Tabla A1.47. Variación de barras GFRP Ø 1/2". Ciclos calor-humedad  
Fuentes: Elaboración propia.

<b>Barra III</b>				
Ciclos	Día	Peso (gr)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
0	1	175,6	40,2	1,719
1	2	175,7	40,2	1,689
	3	175,7	40,2	1,723
2	4	175,5	40,2	1,701
	5	175,7	40,2	1,675
3	6	175,5	40,2	1,675
	7	175,6	40,2	1,679
4	8	175,4	40,1	1,756
	9	175,7	40,2	1,683
5	10	175,2	40,1	1,756
	11	175,9	40,2	1,675

Tabla A1.48. Variación de barras GFRP Ø 1/2". Ciclos calor-humedad  
Fuentes: Elaboración propia.

## APÉNDICE II: ESTUDIO DE ADHERENCIA

### 2.1. Diseño de mezcla

EL diseño de mezcla es el procedimiento en el cual se determinan las cantidades que deben contener cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto. Con el fin de obtener un mezcla de concreto con el comportamiento deseado (resistencia, durabilidad, trabajabilidad, entre otros).

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio correspondientes a los agregados tanto el fino como el grueso, necesarios para la realización del diseño de mezcla:

- Peso Específico del agregado grueso : 2620 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso específico del agregado fino: 2550 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso específico del cemento: 3150 Kg/m<sup>3</sup>
- % de absorción del agregado grueso: 1,83 %
- % de absorción del agregado fino: 1,83 %
- % de humedad del agregado grueso: 1,2 %
- % de humedad del agregado fino: 6,8 %
- $\beta = 0,60$ .

### 2.1.1. Resistencia de diseño

$$R_d = R_{\text{calculo}} + z \times \sigma \quad (\text{"Manual del concreto fresco"}) \quad \text{En donde:}$$

$R_d$ : Resistencia de diseño en (Kg/cm<sup>2</sup>).

$R_{\text{cálculo}}$ : Resistencia considerada por el calculista en (Kg/cm<sup>2</sup>).

$z$ : Variable tipificada de la distribución normal ( fijadas por las normas).

$\sigma$ : Desviación estándar esperada del concreto en (Kg/cm<sup>2</sup>).

El valor  $\sigma$  puede obtenerse dependiendo del control que se ejerza sobre el concreto tal y como muestra la tabla A2.1.

GRADO DE CONTROL	SIN CONTROL	MALO	MEDIANO	BUENO	EXCELENTE
DESVIACIÓN ESTANDAR $\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	> 92	66	51	41	<b>31</b>

Tabla A2.1. Desviación estándar esperada del concreto  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

Resistencia de cálculo será igual a 250 Kg/cm<sup>2</sup> y  $\sigma = 31$  Kg/cm<sup>2</sup>. El valor z es fijado por las normas de manera directa o bien por medio de la fracción defectuosa correspondiente como muestra la tabla A2.2.

% Fracción Defectuosa	Z
20	0,84
16	1
10	1,28
<b>9</b>	<b>1,34</b>
5	1,65

Tabla A2.2. Fracción defectuosa  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

Finalmente queda:  $Rd = 250 + 1,34 \times 31 \cong 353$  Kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.1.2. Tamaño Máximo

El tamaño máximo será de 1 pulgada.

### 2.1.3 Trabajabilidad



Este valor se puede fijar mediante el tipo de elemento estructural que se le aplique la mezcla. La tabla A2.3 muestra los valores usuales de la trabajabilidad medida como asentamiento en el cono de de ABRAMS.

<b>Elemento</b>	<b>Asentamiento Mínimo (cm)</b>	<b>Asentamiento Máximo (cm)</b>
PREFABRICADOS	NULO	6
FUNDACIONES CICLOPEAS	3	8
PEDESTALES Y MUROS ARMADOS	4	8
PAVIMENTOS	5	8
LOSAS, VIGAS, COLUMNAS, MURO DE CORTE	6	11
PAREDES ESTRUCTURALES DELGADAS	10	18
CONCRETO BOMBA	8	18
SUPERPLASTIFICADO	>18	>18

Tabla A2.3. Valores de trabajabilidad  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

Como la mezcla será usada para ensayos de adherencia se escogió una trabajabilidad de 10,16 cm es decir 4 pulgadas.

#### 2.1.4. Determinación de la relación agua/cemento

La norma establece la correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia del concreto.

$$\alpha = \frac{a}{c} \quad (\text{"Manual del concreto fresco"}) \quad \text{En donde:}$$

a: cantidad de agua en (Kg).

c: cantidad de cemento en (Kg).

De numerosos ensayos sobre mezclas con agregado grueso triturado con tamaño máximo 25,4 mm (1") y arena natural (ambos saturados con superficie seca) y cemento Pórtland tipo I se obtienen las siguientes relaciones ("Manual del concreto fresco"):

$$R(28) = 902,5 / 8,69^\alpha \quad \alpha = 3,147 - 0,4625 \text{ LN } R(28)$$

$$R(7) = 861,3 / 13,1^\alpha \quad \alpha = 2,627 - 0,3887 \text{ LN } R(7)$$

$$R(90) = 973,1 / 7,71^\alpha \quad \alpha = 3,369 - 0,4896 \text{ LN } R(90)$$

R= Resistencia de diseño a la edad (días) indicada en (Kg /cm<sup>2</sup>).

Queda que la resistencia de diseño a los 28 días será de 293 Kg /cm<sup>2</sup> y se despeja  $\alpha$ .

$$293 = 902,5 / 8,69^\alpha \quad \text{nos resulta } \alpha = 0,52.$$

#### 2.1.5. Corrección de $\alpha$

Las fórmulas presentadas anteriormente pueden cambiar dependiendo del tamaño máximo del agregado y por lo tanto debemos corregir el valor  $\alpha$ . El factor de KR depende del tamaño máximo del agregado como lo muestra la tabla A2.4.

<b>TAMAÑO MÁXIMO (PULG)</b>	1/4	3/8	1/2	3/4	<b>1</b>	5 1/2	2	2 1/2	3
<b>FACTOR KR</b>	1,6	1,3	1,1	1,05	<b>1</b>	0,91	0,62	0,78	0,74

Tabla A2.4. Corrección de  $\alpha$  por tamaño máximo.  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

El diseño de mezcla tiene como tamaño máximo del agregado 1 pulgada por lo tanto  $KR=1$ . Dependiendo del tipo del agregado se realiza la corrección que se denomina el factor  $KA$  como lo muestra la tabla A2.5. El agregado empleado para realizar el diseño de mezcla son gruesos triturados y arena natural.

	<b>GRUESOS TRITURADOS</b>	<b>GRUESOS SEMITRITURADOS</b>	<b>CANTOS RADADOS</b>
<b>ARENA NATURAL</b>	<b>1</b>	0,97	0,91
<b>ARENA TRITURADA</b>	1,14	1,1	0,93

Tabla A2.5. Corrección de  $\alpha$  por tipo de agregado.  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

Resulta en  $KA=1$ . Finalmente la relación agua/cemento ( $\alpha$ ) queda:

$$\alpha = 0,52 \times 1 \times 1 = 0,52.$$

## 2.6 Cantidad de cemento

La cantidad de cemento utilizando piedra triturada de tamaño máximo de 1 pulgada, arena natural y cemento Pórtland tipo I viene dada por:

$$C = 117,2 \times \alpha^{-1,3} \times T^{0,16} \quad (\text{"Manual del concreto fresco"}) \quad \text{En donde:}$$

C= Cantidad de cemento en (Kg/m<sup>3</sup>).

T= Trabajabilidad en (cm).

$$C = 117,2 \times 0,52^{-1,3} \times 10,16^{0,16} = 397,40 \text{ Kg/m}^3.$$

## 2.7 Corrección de la cantidad de cemento

Dependiendo del tamaño máximo del agregado debemos hacer una corrección que se denomina como el factor C1 como lo muestra la tabla A2.6. El diseño de mezcla tiene como tamaño máximo del agregado 1 pulgada.

<b>TAMAÑO MAXIMO (PULG)</b>	1/4	3/8	1/2	3/4	1	5 1/2	2	2 1/2	3
<b>FACTOR C1</b>	1,33	1,2	1,14	1,05	1	0,93	0,88	0,85	0,82

Tabla A2.6. Corrección de C por tamaño máximo.

Fuentes: "Manual del concreto fresco"

Resulta en C1=1. Dependiendo del tipo del agregado se realiza la corrección que se denomina el factor C2 como lo muestra la tabla A2.7. El agregado empleado para realizar el diseño de mezcla son gruesos triturados y arena natural.

	<b>GRUESOS TRITURADOS</b>	<b>GRUESOS SEMITRITURADOS</b>	<b>CANTOS RADADOS</b>
<b>ARENA NATURAL</b>	1	0,93	0,9
<b>ARENA TRITURADA</b>	1,28	1,23	0,96

Tabla A2.7. Corrección de C por tipo de agregado.

Fuentes: "Manual del concreto fresco"

Resulta  $C_2=1$ . Finalmente la cantidad de cemento (C) queda:  
 $C=397,40 \times 1 \times 1 = 504,19 \text{ Kg/m}^3$ .

### 2.1.8. Cantidad de agua

Recordando que la relación agua/cemento y la resistencia del concreto.

$\alpha = \frac{a}{c}$  ("Manual del concreto fresco") nos resulta:

$$0,52 = \frac{a}{397,40} \quad a = 206,56 \text{ lts.}$$

### 2.1.9. Determinación del contenido de los agregados restantes

La cantidad de cemento que se determinó anteriormente nos da una cantidad de Kg de cemento que necesitamos para realizar  $1 \text{ m}^3$  de concreto, entonces para obtener  $1 \text{ m}^3$  de concreto se realiza de la siguiente manera:

$$\frac{P_a}{\gamma_a} + \frac{P_p}{\gamma_p} + \frac{P_c}{\gamma_c} + \frac{P_A}{\gamma_A} = 1 \text{ m}^3 \quad (1) \quad \text{En donde:}$$

$P_a$ = Peso de agua en Kg.

$\gamma_a$ = Peso específico de agua en  $\text{Kg/ m}^3$ .

$P_p$ = Peso de agregado grueso en Kg.

$\gamma_p$ = Peso específico de agregado grueso en  $\text{Kg/ m}^3$

$P_c$ = Peso de cemento en Kg.

$\gamma_c$ = Peso específico de cemento en  $\text{Kg/ m}^3$  (Datos del fabricante).

$P_A$ = Peso de agregado fino en Kg.

$\gamma_A$ = Peso específico de agregado fino en Kg/ m<sup>3</sup>

De los resultados obtenidos se tomaron los siguientes valores:

$\gamma_a$ : 1000 kg/ m<sup>3</sup>       $\gamma_p$ : 2620 kg/ m<sup>3</sup>       $\gamma_c$ : 3150 kg/ m<sup>3</sup>       $\gamma_A$ : 2550 kg/ m<sup>3</sup>

Resulta que:

$$\frac{206,561}{1000} + \frac{P_p}{2620} + \frac{397,40}{3150} + \frac{P_A}{2550} = 1 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Al resultar una ecuación con dos incógnitas se necesita una ecuación más, entonces del análisis granulométrico de los agregados de la mezcla resulta la relación  $\beta$  como se muestra a continuación:

$$\beta = \frac{P_A}{P_A + P_p} \quad (\text{"Manual del concreto fresco"})$$

Del análisis granulométrico de los agregados (Anexo 1.7) resulta un  $\beta=0,52$  y despejando  $P_p$  resulta:

$$P_p = 0,92 P_A \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación la (2) en la ecuación (1) resulta:

$$\frac{206,56}{1000} + \frac{0,92P_A}{2620} + \frac{397,4}{3150} + \frac{P_A}{2550} = 1 \text{ m}^3$$

Finalmente los componentes que conforman el concreto (para realizar 1 m<sup>3</sup> de concreto) resultan en:

$P_A = 897,73 \text{ Kg.}$

$P_p = 825,91 \text{ Kg.}$

$P_c = 397,40 \text{ Kg.}$

$P_a = 206,56 \text{ Lts.}$

### 2.1.10 Corrección por humedad

Durante todas las etapas del diseño de mezcla la humedad de los agregados eran en condiciones ideales saturados con superficie seca es decir no aportan y toman agua de la mezcla entonces se debe hacer una corrección debido a que en la practica eso no se da. Y se establece las siguientes proporciones:

$$\frac{G_{sss}}{(100 + Ab)} = \frac{G_w}{(100 + w)} \quad (\text{"Manual del concreto fresco"}) \quad \text{En donde:}$$

$G_{sss}$  = Peso del agregado saturado con superficie seca en (Kg).

Ab=Porcentaje de absorción de agua del agregado, desde su estado de seco al horno hasta el saturado con superficie seca referido al material seco.

w= Igual forma con el agregado húmedo.

$G_w$  = Peso del material húmedo en (Kg).

De los resultados obtenidos se tomaron los siguientes valores para el agregado grueso (piedra):

Ab= 1,83%     $G_{sss} = 825,91$  Kg    w= 1,2 %    Resulta:

$$\frac{825,91}{(100+1,83)} = \frac{P_p}{(100+1,2)} \quad \text{Resulta:}$$

$$P_p = 820,8 \text{ Kg.}$$

De los resultados obtenidos se tomaron los siguientes valores para el agregado fino (arena):

$$Ab = 1,83\% \quad G_{sss} = 897,73 \text{ Kg} \quad w = 6,8 \%$$

$$\frac{897,73}{(100+1,83)} = \frac{P_p}{(100+6,8)} \quad P_A = 941,55 \text{ Kg.}$$

### 2.11. Resultados finales

Para un tamaño máximo de 1 pulgada, arena natural, agregado grueso triturado con un  $\alpha = 0,52$ , una trabajabilidad de 4 pulgadas, un  $\beta = 0,52$ . Para realizar  $1 \text{ m}^3$  de concreto con una resistencia de diseño de  $293 \text{ Kg/cm}^2$  se debe tener las siguientes cantidades de materiales:

$$P_A = 941,55 \text{ Kg.}$$

$$P_p = 820,8 \text{ Kg.}$$

$$P_c = 504,19 \text{ Kg.}$$

$$P_a = 218,31 \text{ Lts.}$$

### 2.2. Datos obtenidos del ensayo de extracción.

Los siguientes datos se obtuvieron durante el ensayo de extracción el cual se realizó según la norma COVENIN 1667-80. Las condiciones del ensayo para la probeta N°1 fueron alterados para verificar la distorsión en los valores obtenidos.



### 2.2.1. Probetas con barras GFRP de Ø 5/8"

0	0	0
0,1	2100	1061,505308
1	7980	4033,720169
2	8070	4079,213254
3	8100	4094,377616
4	8110	4099,432403
5	8110	4099,432403
6	8050	4069,10368
7	7960	4023,610595
8	7820	3952,843574
9	7650	3866,912192
10	7330	3705,159003
10,1	7000	3538,351026

Tabla A2.8. Datos del ensayo de extracción. Muestra 1. Ø 5/8"  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

muestra 2		
Desplazamiento (mm)	Carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0
0,01	4430	2239,270721
0,02	4720	2385,859549
0,03	4890	2471,790931
0,04	5040	2547,612739
0,05	5180	2618,379759
0,06	5290	2673,982418
0,07	5400	2729,585077
0,08	5500	2780,132949
0,09	5600	2830,680821
0,10	5680	2871,119118
0,50	6900	3487,803154
1,00	7180	3629,337195
1,50	7310	3695,049428
2,00	7370	3725,378151
2,50	7380	3730,432939
3,00	7350	3715,268577

Tabla A2.9. Datos del ensayo de extracción. Muestra 2. Ø 5/8”  
Fuentes: “Manual del concreto fresco”

muestra 3		
Desplazamiento (mm)	Carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0
0,01	4060	2052,243595
0,02	4180	2112,901041
0,03	4260	2153,339339
0,04	4370	2208,941998
0,05	4510	2279,709018
0,06	462	233,5311677
0,07	4730	2390,914336
0,08	4840	2446,516995
0,09	4930	2492,01008
0,10	5020	2537,503164
0,50	6550	3310,885603
1,00	7070	3573,734536
1,50	7180	3629,337195
2,00	7220	3649,556344
2,50	7230	3654,611131
3,00	7190	3634,391982

Tabla A2.10. Datos del ensayo de extracción. Muestra 3. Ø 5/8”  
Fuentes: “Manual del concreto fresco”

### 2.2.2. Probetas con barras GFRP de Ø 1/2”

muestra 1		
Desplazamiento (mm)	Carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0
0,01	4920	3885,867644
0,02	5110	4035,931639
0,03	5230	4130,708898
0,04	5350	4225,486158
0,05	4460	3522,554816
0,06	5570	4399,244467
0,07	5670	4478,225517

0,08	5720	4517,716042
0,09	5780	4565,104672
0,10	5830	4604,595196
0,50	6880	5433,896218
1,00	7070	5583,960213
1,50	7150	5647,145052
2,00	7170	5662,941262
2,50	7170	5662,941262
3,00	7170	5662,941262

Tabla A2.11. Datos del ensayo de extracción. Muestra 1. Ø 1/2"  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

muestra 2		
Desplazamiento (mm)	Carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0
0,01	2940	2322,042861
0,02	3120	2464,20875
0,03	3250	2566,884115
0,04	3320	2622,170849
0,05	3450	2724,846214
0,06	3570	2819,623474
0,07	3620	2859,113998
0,08	3700	2922,298838
0,09	3780	2985,483678
0,10	3860	3048,668518
0,50	4950	3909,561959
1,00	5170	4083,320269
1,50	5190	4099,116478
2,00	5140	4059,625954
2,50	5100	4028,033534
3,00	5100	4028,033534

Tabla A2.12. Datos del ensayo de extracción. Muestra 2. Ø 1/2"  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"

muestra 3		
Desplazamiento (mm)	Carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0

0,01	3810	3009,177993
0,02	4140	3269,815457
0,03	4320	3411,981346
0,04	4470	3530,452921
0,05	4590	3625,23018
0,06	4720	3727,905545
0,07	4810	3798,98849
0,08	4890	3862,173329
0,09	5010	3956,950589
0,10	5070	4004,339219
0,50	6350	5015,296655
1,00	6880	5433,896218
1,50	7020	5544,469688
2,00	7200	5686,635577
2,50	7270	5741,922312
3,00	7330	5789,310942

Tabla A2.13. Datos del ensayo de extracción. Muestra 3. Ø 1/2"  
Fuentes: "Manual del concreto fresco"