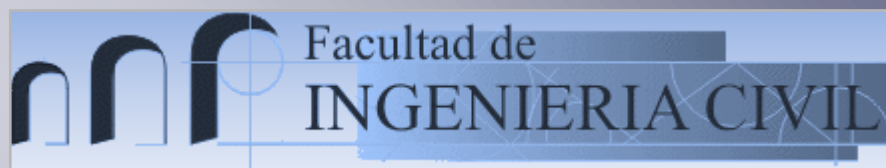


UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



**“INNOVACIÓN EN TUBERÍAS DE COMPOSITES PARA
ALCANTARILLADO SANITARIO Y REHABILITACIÓN DE
TUBERÍAS A PRESIÓN UTILIZANDO COMPOSITES TIPO
SÁNDWICH”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**OSCAR GONZALO
MARTÍNEZ BARRAGÁN**

ASESOR DE TESIS:

DR. JOSÉ CARLOS RUBIO AVALOS



MORELIA MICHOACÁN A DICIEMBRE DEL 2011

Agradecimientos:

- A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- A la Facultad de Ingeniería Civil.
- A la sección de Investigación e innovación en materiales para la construcción.
- Al laboratorio de Hidráulica “Ing. David Hernández Huéramo” de la Facultad de Ingeniería Civil.
- A la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Proyecto: 12.11

Dedicatorias:

- **A mis papas, Gonzalo Martínez Medina y Teresa Barragán Guerrero.** *Por su incondicional apoyo, sin ellos yo nunca habría logrado terminar mis estudios profesionales.*
- **A mi hermana y mis hermanos, Lizeth, Adrian, Iván y Alexis.** *Siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas.*
- **A mis estimados amigos, Octavio, Gustavo, Carmen, Marco, Cuauhtémoc y Ángel.** *Que siempre me impulsaron a seguir adelante y su sincera amistad incondicional me ayudó a salir adelante en todo momento.*
- **Al Dr. José Carlos Rubio Avalos.** *Por haberme guiado a lo largo de este proceso de titulación. Mejor asesor de tesis no pude haber tenido.*
- **A mi tutora, la Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe.** *Fue una excelente guía en el proceso de mi desarrollo personal y profesional, además de contar siempre con su apoyo y amistad incondicional.*
- **A todo el personal del laboratorio de hidráulica, con quien trabajé y conviví, M.C. Benjamín Pérez, M.I. Juan Pablo, Ing. Leonel, Dr. Constantino y a los prestadores de servicio social.** *Su compañía y consejos formaron parte de todas las experiencias aprendidas con ellos.*

- **A mi abuelo, en paz descanse, Salvador Barragán Torres.** *Una inspiración de vida y de carácter, siempre me impulso a dar más de mí en todo momento.*
- **A mi familia.** *Todos y cada uno de ellos me aportaron un gran apoyo, su fe y confianza en mí siempre me dio fuerza para salir adelante.*
- **A todos mis amigos de la facultad de ingeniería civil.** *Sin ellos, yo no hubiera aprendido a vivir y disfrutar de la vida, siempre me sentí querido por todos y me hicieron sentir una persona especial.*

ÍNDICE:

	Páginas
<i>Capítulo 1: Introducción</i>	1
<i>Capítulo 2: Estado-Del-Arte</i>	5
2.1. Historia de los composites	6
2.2. Materiales poliméricos	6
2.2.1. Plásticos	7
2.2.1.1. Propiedades y características	7
2.2.1.2. Clasificación de los plásticos	8
2.3. Agregados minerales	12
2.4. Fibra de carbono	13
2.5. Aluminio	15
2.6. Adherentes epóxicos	17
2.7. Fibra de vidrio	18
2.8. Resinas	19
2.8.1. Resinas flexibles	19
2.8.2. Polifumarato Bisfenolico	20
2.9. Tuberías de concreto	22
2.9.1. Clasificación y ventajas de las tuberías de concreto.....	22
2.9.2. Métodos de rehabilitación	23
2.9.3. Propuesta	24
2.10. Tuberías de acero	25
2.10.1. Problemas de corrosión	26
2.10.1.1. Importancia del agua en el proceso de corrosión	27
2.10.2. Métodos de rehabilitación	28
2.10.3. Clasificación de las tuberías de acero	30
2.10.4. Resumen estadístico.....	31
2.10.5. Propuesta	38

2.11. Tipos de composites.....	38
2.12. Aplicaciones de los composites y principales fabricantes de composites.....	40
2.12.1. Diferentes aplicaciones de los composites relacionados con los desarrollados	41
2.12.2. Producción mundial	46
2.12.2.1. Los composites en el mercado	46
2.12.3. Proveedores	49
<i>Capítulo 3: Innovación del producto en tuberías de concreto-composite.....</i>	<i>50</i>
3.1. Elaboración del composite	50
3.1.1. Catalizadores y aceleradores	52
3.1.2. Copolímero de Polifumarato Bisfenolico-Monómero de estireno.....	52
3.1.3. Agregado mineral.....	55
3.1.4. Polimerización del cementante.....	55
3.1.5. Mezcla del cementante y la marmolina	56
3.1.6. Concreto polimérico	58
3.1.7. Aplicación en la tubería	58
3.2. Pruebas y resultados	62
3.2.1. Procedimiento de las pruebas	62
3.2.2. Análisis por sulfatos	81
<i>Capítulo 4: Diseño experimental de un composite tipo sándwich para rehabilitación de tuberías de acero a presión.....</i>	<i>92</i>
4.1. Proceso experimental del composite tipo sándwich para la rehabilitación de tuberías de acero a presión	92
4.1.1. Fibra de carbono-vidrio	94
4.1.2. Copolímero de resina flexible.....	94
4.1.3. Lámina de aluminio.....	94
4.1.4. Adhesivo epóxico	95
4.1.5. Recorte de cinta de fibra de carbono-vidrio.....	95
4.1.6. Preparación de resina flexible.....	95
4.1.7. Recorte de láminas de aluminio al tamaño de cintas de fibra de carbono	95

4.1.8. Cinta de fibra de carbono-vidrio con resina flexible.....	96
4.1.9. Adherente epóxico en láminas de aluminio	96
4.1.10. Unión de las placas de aluminio con cinta de fibra de carbono-vidrio. Composite tipo sándwich	96
4.1.11. Aplicación en la tubería.....	97
4.2. Procedimientos de las pruebas.....	98
<i>Capítulo 5: Evaluación a presión hidrostática de tuberías de acero rehabilitadas con composites tipo sándwich</i>	<i>104</i>
5.1. Prueba hidrostática de tubería de acero.....	104
5.2. Resultados.....	105
<i>Capítulo 6: Conclusiones</i>	<i>108</i>
<i>Capítulo 7: Referencias bibliográficas y electrónicas</i>	<i>109</i>

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 2.1- Proveedores de Marmolina	13
Tabla 2.2- Empresas proveedoras de Láminas de aluminio liso	17
Tabla 2.3- Clasificación de tuberías de acero.....	30
Tabla 2.4- Presiones de trabajo de las tuberías	30
Tabla 2.5.....	31
Tabla 2.6.....	33
Tabla 2.7	34
Tabla 2.8.....	36
Tabla 2.9.....	36
Tabla 2.10- Materiales compuestos	39
Tabla 2.11- Tipos de fibra de carbono	48
Tablas 2.12- Proveedores de los materiales más importantes para el desarrollo de los composites	49
Tabla 3.1- Piezas aceptables para pruebas.....	80
Tabla 3.2- Pruebas y resultados 1er ciclo	81
Tabla 3.3- Pruebas y resultados 2do ciclo	83
Tabla 3.4- Pruebas y resultados 3er ciclo.....	85
Tabla 3.5- Pruebas y resultados 4to ciclo	86
Tabla 3.6- Pruebas y resultados 5to ciclo	88
Tabla 3.7- Pruebas y resultados 6to ciclo	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 2.1- Un filamento de carbono de 6 μm de diámetro (desde abajo a la izquierda hasta arriba a la derecha), comparado con un cabello humano.....	14
Figura 2.2- Láminas de aluminio lisas flexibles para protección del núcleo de fibra de carbono-resina.....	16
Figura 2.3- Ejemplo de fibra de vidrio usado como cables de fibra óptica.....	19

Figura 2.4- Resina flexible o Resina poliéster Ortoftálica	20
Figura 2.5- Polifumarato Bisfenolico	21
Figura 2.6- Tubería de acero (aplicándosele protección anticorrosiva).....	29
Figura 2.7.- Cárcamo de bombeo Mintzita	31
Figura 2.8.- Planta potabilizadora vista bella	32
Figura 2.9.- Trayecto de la tubería que va del cárcamo a la planta potabilizadora .	32
Figura 2.10.- Trayecto de la tubería que va del cárcamo al tanque de Tzindurio	33
Figura 2.11.- Tanque de Tzindurio	34
Figura 2.12.- Final del tramo norte (colonia irrigación, Av. Madero esquina con Decima).....	35
Figura 2.13.- Trayecto de la tubería (línea norte).....	35
Figura 2.14.- Final del tramo central y sur (Av. Madero esquina con el Rio grande, colonia Tres Puentes)	36
Figura 2.15.- Trayecto de las tuberías (líneas centro y sur)	37
Figura 2.16.- Tubería de la línea sur (tramo a intemperie)	37
Figura 2.17- Aplicaciones de la fibra de carbono para refuerzo o reparación de un edificio, de manera más práctica	41
Figura 2.18- Aplicaciones de la fibra de carbono en los elementos estructurales de un edificio	42
Figura 2.19- Relación Esfuerzo-Deformación de varios materiales	43
Figura 3.1- Copolímero de Polifumarato Bisfenolico-monómero de estírenos antes de empezar a mezclar para lograr la viscosidad deseada.....	52
Figura 3.2- Proceso de mezclado del Polifumarato Bisfenolico y el monómero de estírenos fase 1.....	53
Figura 3.3- Proceso de mezclado del copolímero donde se muestra el área de trabajo	53
Figura 3.4- Proceso de mezclado del Polifumarato Bisfenolico y el monómero de estírenos fase 2.....	54

Figura 3.5- Proceso de mezclado del Polifumarato Bisfenolico y el monómero de estírenos fase 3 (estado líquido viscoso, para poder trabajar con este componente)	54
Figura 3.6- polimerización del cementante	55
Figura 3.7- Mezcla del Polifumarato Bisfenolico y la marmolina antes de su polimerización	56
Figura 3.8- Mezcla del Polifumarato Bisfenolico y la marmolina antes de su polimerización (agregando la marmolina)	57
Figura 3.9- Mezcla del Polifumarato Bisfenolico y la marmolina antes de su polimerización	57
Figura 3.10- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (1)	58
Figura 3.11- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (2)	59
Figura 3.12- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (3)	59
Figura 3.13- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (4)	60
Figura 3.14- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (5)	60
Figura 3.15- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (6)	61
Figura 3.16- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (7)	61
Figura 3.17- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (8)	62
Figura 3.18- Tubo de concreto.....	63
Figura 3.19- Limpieza de tubo de concreto (1)	64
Figura 3.20- Limpieza de tubo de concreto (2)	64
Figura 3.21- Aplicación del composite en la tubería (1)	65
Figura 3.22- Aplicación del composite en la tubería (2)	65
Figura 3.23- Tubería con agua en el interior, visto por fuera, demostrando que no existe percolación de agua en los costados	66
Figura 3.24- Vista en el interior del tubo antes de colocar el agua (1)	67
Figura 3.25- Vista en el interior del tubo antes de colocar el agua (2)	67
Figura 3.26- Sello en la parte del fondo del tubo y la cubeta, para que no se tire el agua (1)	68

Figura 3.27- Sello en la parte del fondo del tubo y la cubeta, para que no se tire el agua (2).....	68
Figura 3.28- Interior del tubo con agua	69
Figura 3.29- Nivel del agua al que está lleno el tubo.....	69
Figura 3.30- Tubo sin percolación de agua en los costados (agua en el interior del tubo).....	70
Figura 3.31- Tubería de concreto sin composite (lleno de agua)	71
Figura 3.32- Percolación de agua en la Tubería de concreto sin composite	71
Figura 3.33- Tubería de concreto sin composite	72
Figura 3.34.- Preparación de la solución química para la evaluación de la durabilidad	74
Figura 3.35.- Fragmentos del tubo-composite en proceso de prueba (ataque químico)	75
Figura 3.36- Colocación del tubo en la cortadora.....	76
Figura 3.37- Corte del tubo (1).....	76
Figura 3.38- Corte del tubo (2)	77
Figura 3.39- Fondo o tapón del tubo, vista completa.....	77
Figura 3.40- Parte del fondo o tapón del tubo	78
Figura 3.41- Parte del fondo o tapón del tubo midiendo el espesor del tubo	78
Figura 3.42- espesor de la tubería sin el tapón o fondo	79
Figura 3.43.- Composite sin ataque químico	80
Figura 3.44.- Resultados 1er ciclo (1)	82
Figura 3.45.- Resultados 1er ciclo (2)	82
Figura 3.46.- Resultados 1er ciclo (3)	83
Figura 3.47.- Resultados 2do ciclo (1).....	84
Figura 3.48.- Resultados 2do ciclo (2).....	84
Figura 3.49.- Resultados 3er ciclo (1)	85
Figura 3.50.- Resultados 3er ciclo (2)	86
Figura 3.51.- Resultados 4to ciclo (1)	87

Figura 3.52.- Resultados 4to ciclo (2)	87
Figura 3.53.- Resultados 4to ciclo (3)	88
Figura 3.54.- Resultados 5to ciclo (1)	89
Figura 3.55.- Resultados 5to ciclo (2)	89
Figura 3.56.- Resultados 5to ciclo (3)	90
Figura 3.57.- Resultados 6to ciclo.....	91
Figura 4.1.- Esquema de materiales del composite.....	96
Figura 4.2.- Aplicación de la cinta de fibra de carbono (antes del composite)	97
Figura 4.3.- Tubo para pruebas de presión hidrostática, con dos agujeros simulando la tubería dañada	98
Figura 4.4.- Colocación del adherente para pegar la placa de aluminio sobre la fibra de carbono-vidrio.....	99
Figura 4.5.- Tubería reparada con composite tipo sándwich.....	100
Figura 4.6.- Esquema de primer diseño (tela de fibra de carbono cubierto con resina flexible)	101
Figura 4.7.- preparación de tubería para prueba hidrostática con el primer diseño	102
Figura 4.8.- tubería reparada con primer diseño instalada para comenzar la prueba de presión hidrostática.....	102
Figura 4.9.- Instalación de tubería reparada con composite tipo sándwich para prueba hidrostática.....	103
Figura 5.1.- Falla de la primera prueba, fuga de agua a una presión de trabajo baja	105
Figura 5.2.- Falla de reparación de la tubería por presiones de trabajo altas.....	106



CAPÍTULO I:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN.

En México se vive una realidad de constante mejoras en el área de la construcción. Los avances han sido notables y a pesar de que México es un país subdesarrollado, se han estado adoptando las nuevas mejoras innovadoras que se desarrollan en los países de primer mundo, con la finalidad de estar a la vanguardia. El área de abastecimiento de agua potable y alcantarillado no queda fuera de este contexto, ya que también se han estado adoptando procesos innovadores para la mejora de la construcción en dicha área. Pero ¿qué podemos decir de la reparación de las tuberías de agua potable?, ¿los métodos de innovación han alcanzado esta área?, la respuesta es sencilla, se han usado métodos tradicionales, donde lo más común es usar parches o cambios de tramos de tuberías. Cabe mencionar que en lo que respecta a las tuberías de alcantarillado sanitario, por las condiciones en las que trabajan, están expuestas a ciertos agentes químicos agresivos, que si no se toman en cuenta de manera anticipada, se puede obtener una vida útil muy corta de dicha tubería. En la protección de tuberías de alcantarillado sanitario se ha logrado una innovación notable, donde las soluciones más comunes tienen que ver con el uso de tuberías de polietileno de alta densidad, las cuales son muy resistentes a los agentes químicos, y las tuberías que son de otro tipo de material, se les han diseñado protecciones especiales para poder resistir dichos ataques químicos.

Muchas de las innovaciones que se han desarrollado para las diferentes áreas de la construcción están muy relacionadas con los materiales compuestos o composites.

En la actualidad el uso de los “composites” o materiales compuestos es una novedad aún en nuestros días en lo que respecta a construcciones civiles, sobre todo en los países que no tienen un desarrollo importante en la industria de la construcción, ya que los materiales compuestos son caros por la forma en que son fabricados, pero los resultados que se han obtenido en las áreas donde ya se han estado usando este tipo de materiales, han sido muy buenos, lo que realmente se esperaba de ellos.

Aunque decir que los composites son de alguna manera caros, eso se compensa con su efectividad, porque por ejemplo: La aplicación de la fibra de carbono en reparación de elementos estructurales de un edificio es barata, aunque el composite que se aplica es caro, la cantidad necesaria que se aplica para reparar dicha falla estructural (un agrietamiento de una viga) es muy poca, lo que convierte a este método de reparación una eficiente y económica solución.

Para poder demostrar la gran capacidad de posibilidades que pueden aportar los nuevos materiales a los procesos constructivos tradicionales y las reparaciones convencionales es algo complejo, porque cada material nuevo que va saliendo al mercado sale con una propuesta de mejora en cierta área de la ingeniería, pero es posible que dicho material sea eficaz en otra área en la que no se había pensado.

De todos los materiales nuevos e innovadores que existen, hay un tipo especial que son conocidos como materiales composite o compuestos. Este tipo de materiales innovadores tienen una particularidad, la cual es, que es una o varias combinaciones de materiales innovadores que se unen para formar un compuesto aún mejor, aprovechando las ventajas que cada material por cuenta propia aporta al composite en general.

Los composites han venido a mejorarse y día con día van surgiendo nuevas propuestas que en las diferentes áreas de la ingeniería se van desarrollando. Es importante mencionar que en el área de estructuras y de construcción de la ingeniería civil es en donde ha sido más evidente este desarrollo por los nuevos productos que el mercado internacional va arrojando. Todos estos productos tienen la finalidad de facilitar más los procesos constructivos o aportar mejor resistencia a las cargas que están sujetas dichas estructuras y también proponer nuevos modelos arquitectónicos innovadores que con los materiales convencionales es más difícil de lograr por las limitaciones que se conocen de estos materiales.

En este trabajo se desarrollaron dos propuestas de composites, donde la aplicación de estos es innovadora porque ***no se han usado nunca antes esta combinación*** de materiales innovadores en las tuberías de la manera en que proponen.

Se desarrolló básicamente dos tipos de composites, donde uno de ellos es una propuesta diseñada para tuberías de alcantarillado sanitario donde se formuló una protección especial para las tuberías de concreto y las tuberías de fibrocemento o asbesto-cemento. Hay ciertas desventajas que más adelante se verán a detalle que tienen este tipo de tuberías, donde el ataque químico de las aguas negras o aguas residuales son las promotoras de este tipo de ataques que sufren dichas tuberías, provocando el desgaste rápido de las redes de alcantarillado sanitario compuestas de este tipo de tuberías. Este composite que se desarrolló para este tipo de tuberías es, a grandes rasgos, una propuesta de protección de tuberías de concreto.

Igualmente que para las tuberías de alcantarillado sanitario, también se diseño otra propuesta de composite que consiste en una reparación eficaz de las tuberías de acero, trabajando a presión hidrostática. Suele pasar que trabajando en obra, o por el desgaste de las tuberías por años de trabajo, se rompen y por ende, empieza a derramarse el líquido que dicha tubería conduce (en este caso se considera que es agua), por efecto de la presión, así que es necesario una reparación rápida y eficaz, para esto se formuló este composite que se expondrá con más detalle en el transcurso de los siguientes capítulos.

Antes que nada primero es necesario ver cómo está en la actualidad resuelto este tipo de problemas que se expusieron anteriormente, para saber cómo estamos ubicados con la realidad de lo que se hace en la práctica profesional. Además todos los materiales que se utilizan en el desarrollo de las fórmulas que se diseñaron son a veces más complicados de conseguir por la cuestión de que son materiales nuevos, que difícilmente se encuentran en países subdesarrollados, como es el caso de México, así que también se encontrarán en el desarrollo de este trabajo los principales proveedores de estos materiales especiales, así como conocer sus propiedades de cada material, para que se pueda dar el lector una idea más certera de los resultados que se esperan de la combinación de los composites al final.

Los procesos de preparación de las fórmulas diseñadas de los dos tipos de composites están esquematizados de manera que el lector pueda ver los componentes principales y el orden en que se va incorporando todo, pero se describe a detalle cada componente para que así se vea la idea más clara y concisa del efecto que debe tener al final el composite al momento de su aplicación. Toda esta terminología de composites y otras palabras que aparentemente el lector pueda desconocer se describe más a detalle en capítulos posteriores, para que la construcción de la idea no la pierda el lector.

También la conclusión de los resultados de este trabajo es un punto importante, más adelante, en los últimos capítulos se comentarán los resultados obtenidos de todas las pruebas, las imágenes y dibujos explicativos de los procesos, a manera de una guía rápida de la preparación de todos los ingredientes de las fórmulas y su manera de aplicarlos.

Finalmente se le invita al lector a que analice el contenido que se ofrece en esta propuesta innovadora de reparación y rehabilitación de tuberías, tanto de alcantarillado sanitario como de tuberías de acero a presión hidrostática respectivamente con la utilización de composites, los cuales en un futuro no muy lejano llegarán a ser los materiales convencionales, ya que poco a poco se van ganando su lugar en este mundo de innovación para la mejora constante de la ingeniería civil.



CAPÍTULO II:

ESTADO-DEL-ARTE

CAPÍTULO 2.- ESTADO-DEL-ARTE.

En la ingeniería civil es común que al dar soluciones a los problemas, siempre nos topamos con nuevos retos que hacen que se esté siempre a la vanguardia con respecto a dar soluciones económicas en cada una de las obras con las que se está involucrado.

Las tuberías, es un tema de análisis también bastante amplio, donde constantemente se va evolucionando los materiales de las tuberías, o se combinan materiales, obteniendo resultados cada vez mejores y así garantizándose la vida útil de las tuberías. Pero la vida útil de las tuberías se ve mermada por agentes externos que están fuera de nuestro alcance y para evitar este tipo de problemas, hay que prepararlas para que soporten cualquier tipo de problema que intente afectar su garantía de trabajo.

En este trabajo se desarrollaron dos fórmulas para dar rehabilitación rápida a las tuberías de acero (para el caso de tuberías de agua potable) y a las tuberías de concreto (para el caso de tuberías de alcantarillado sanitario) cuando se ven sometidas a problemas que afecten su vida útil. Es por eso que a continuación se verán los diferentes conceptos, problemas actuales, características y propuestas que involucran el desarrollo de estas fórmulas con la finalidad de conocer la solución que se diseñó para brindar la rehabilitación a las tuberías que hoy en día necesitan para hacer más práctico el trabajo de la ingeniería de nuestros tiempos.

Primeramente se parte con la definición de cada término que es necesario comprender en este trabajo para posteriormente comprender la información con la que se trabajó.

Se trabajó en el “desarrollo de **COMPOSITES** para la rehabilitación y protección de tuberías a presión y alcantarillado sanitario”, razón por la cual se involucrará al lector en los Materiales Poliméricos, ya que los **COMPOSITES** que se desarrollaron para dicha protección que se le aplicó a las tuberías, están basados en los Materiales Poliméricos.

2.1.- HISTORIA DE LOS COMPOSITES.

La traducción al español de la palabra **COMPOSITES** es Compuesto. En el presente trabajo se entenderá por **COMPOSITES** a aquellos materiales de diferente composición físico-química que por cierto proceso, se unen para lograr el fin común de esta tesis, que es la protección y rehabilitación a las tuberías, tanto de presión como de alcantarillado sanitario. Este compuesto (**COMPOSITES**) de materiales fue el resultado más eficaz y viable que se obtuvo para que trabajaran eficazmente en el fin que se buscó lograr para cada caso.

La pregunta obligada que viene ahora es: ¿Qué materiales son los que conforman a los composites?, hay diferentes tipos de composites que dependiendo del uso para el que fueron diseñados, así van a ser los materiales que se necesitarán para conformar a dichos composites.

A continuación se enlistan los materiales que fueron usados específicamente en el desarrollo de esta tesis, para el desarrollo de los composites que fueron usados para el fin ya mencionado:

- Materiales poliméricos
- Agregados pétreos
- Fibra de carbono
- Aluminio
- Adherentes epóxicos

2.2.- MATERIALES POLIMÉRICOS.

La palabra polímero, significa literalmente “muchas partes”. Por material sólido polimérico consideramos aquel que contiene muchas partes o unidades enlazadas entre sí químicamente. Existen dos materiales poliméricos industrialmente importantes, los **PLÁSTICOS** y los **ELASTÓMEROS**, para este trabajo de tesis, solo se abordará la descripción y trabajo que se desarrolla con los plásticos, ya que es el material polimérico

con que se trabajo, además de que los elastómeros forman parte de una clasificación de los mismos plásticos.

2.2.1.- PLÁSTICOS.

Los plásticos son un grupo grande y variado de materiales sintéticos, cuya forma se obtiene por los procesos de conformado o moldeado. Al igual que tenemos muchos tipos de metales como aluminio y cobre, existen muchos tipos de plásticos como polietileno o nylon.

El término plástico en su significación más general, se aplica a las sustancias de similares estructuras que carecen de un punto fijo de evaporación y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. Sin embargo, en sentido concreto, nombra ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación semi-natural de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

La palabra plástico se usó originalmente como adjetivo para denotar un escaso grado de movilidad y facilidad para adquirir cierta forma, sentido que se conserva en el término plasticidad.

2.2.1.1.-Propiedades y características

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominados polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

De hecho, plástico se refiere a un estado del material, pero no al material en sí: los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o

fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza cuando el material en estado sólido se transforma en estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen en la actualidad. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico, pero plástico no es necesariamente el grupo de materiales a los que cotidianamente hace referencia esta palabra.

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son estas:

- Fáciles de trabajar y moldear.
- Tienen un bajo costo de producción.
- Poseen baja densidad.
- Suelen ser impermeables.
- Buenos aislantes eléctricos.
- Aceptables aislantes acústicos.
- Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas.
- Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.
- Algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

2.2.1.2.-Clasificación de los plásticos

Según el monómero base

En esta clasificación se considera el origen del monómero del cual parte la producción del polímero.

Naturales: Son los polímeros cuyos monómeros son derivados de productos de origen natural con ciertas características como, por ejemplo, la celulosa, la caseína y el caucho. Dentro de dos de estos ejemplos existen otros plásticos de los cuales provienen:

Los derivados de la celulosa son: el celuloide, el celofán y el cellón.

Los derivados del caucho son: la goma y la ebonita.

Sintéticos: Son aquellos que tienen origen en productos elaborados por el hombre, principalmente derivados del petróleo como lo son las bolsas de polietileno

Según su comportamiento frente al calor

Termoplásticos

Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se convierte en un líquido cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría suficiente. La mayoría de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los que poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas Van der Waals (Polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno; o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse éstos pueden recalentarse y formar otros objetos, ya que en el caso de los termoestables o termo duros, su forma después de enfriarse no cambia y este prefiere incendiarse.

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces.

Los principales son:

Resinas celulósicas: obtenidas a partir de la celulosa, el material constituyente de la parte leñosa de las plantas. Pertenece a este grupo el rayón.

Polietilenos y derivados: Emplean como materia prima el etileno obtenido del craqueo del petróleo que, tratado posteriormente, permite obtener diferentes monómeros como acetato

de vinilo, alcohol vinílico, cloruro de vinilo, etc. Pertenecen a este grupo el PVC, el poliestireno, el metacrilato, etc.

Derivados de las proteínas: Pertenecen a este grupo el nailon y el perlón, obtenidos a partir de las diamidas.

Derivados del caucho: Son ejemplo de este grupo los llamados comercialmente pliofilmes, clorhidratos de caucho obtenidos adicionando ácido clorhídrico a los polímeros de caucho.

Termoestables

Los plásticos termoestables son materiales que una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse. Generalmente para su obtención se parte de un aldehído.

Polímeros del fenol: Son plásticos duros, insolubles e infusibles pero, si durante su fabricación se emplea un exceso de fenol, se obtienen termoplásticos.

- Resinas epoxi.
- Resinas melamínicas.
- Baquelita.

Aminoplásticos: Polímeros de urea y derivados. Pertenecen a este grupo la melamina.

Poliésteres: Resinas procedentes de la esterificación de polialcoholes, que suelen emplearse en barnices. Si el ácido no está en exceso, se obtienen termoplásticos.

Según su estructura molecular

Amorfos

Son amorfos los plásticos en los que las moléculas no presentan ningún tipo de orden; están dispuestas desordenadamente sin corresponder a ningún orden. Al no tener orden entre cadenas se crean unos huecos por los que la luz pasa, por esta razón los polímeros amorfos son transparentes.

Semicristalinos

Los polímeros semicristalinos Tienen zonas con cierto tipo de orden junto con zonas amorfas. En este caso al tener un orden existen menos huecos entre cadenas por lo que no pasa la luz a no ser que posean un espesor pequeño.

Cristalizables

Según la velocidad de enfriamiento, puede disminuirse (enfriamiento rápido) o incrementarse (enfriamiento lento) el porcentaje de cristalinidad de un polímero semicristalino, sin embargo, un polímero amorfo, no presentará cristalinidad aunque su velocidad de enfriamiento sea extremadamente lenta.

Comodities

Son aquellos que tienen una fabricación, disponibilidad, y demanda mundial, tienen un rango de precios internacional y no requieren gran tecnología para su fabricación y procesamiento.

De ingeniería

Son los materiales que se utilizan de manera muy específica, creados prácticamente para cumplir una determinada función, requieren tecnología especializada para su fabricación o su procesamiento y de precio relativamente alto.

Elastómeros o cauchos

Los elastómeros se caracterizan por su gran elasticidad y capacidad de estiramiento y rebote, recuperando su forma original una vez que se retira la fuerza que los deformaba. Comprenden los cauchos naturales obtenidos a partir del látex natural y sintético; entre estos últimos se encuentran el neopreno y el polibutadieno.

Los elastómeros son materiales de moléculas grandes las cuales después de ser deformadas a temperatura ambiente, recobran en mayor medida su tamaño y geometría al ser liberada la fuerza que los deformó. ^{[1] [A]}

2.3.- AGREGADOS MINERALES.

En este trabajo de investigación sólo se utilizó marmolina como agregado mineral para la elaboración de los materiales compuestos (composites) con los que se trabajó. La marmolina posee la característica de estar molida finamente, a tal grado de semejarse a la arena en su granulometría, por lo que se le puede dar el acabado buscado dentro de la tubería de concreto al momento de aplicarle dicha protección con los materiales compuestos o composites. La marmolina es un material muy barato y más fácil de trabajar que el mármol autentico. Ha sido muy utilizado en la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX en relieves y figuras decorativas. ^[2]

Hay varios tipos de marmolina donde su diferencia radica en el tamaño de grano que tiene este agregado mineral, gracias a su proceso de triturado, pero en el mercado hay que conocer que empresas distribuyen este material para poderlos usar en nuestros composites. En la tabla siguiente hay unos ejemplos de empresas y el producto que venden y las páginas donde fue obtenida esta información están referenciadas en la bibliografía.

Empresa	Producto
<i>PimaMéxico</i> <i>cobertura: Toda la república Mexicana y exportación a todo el mundo</i>	<i>Marmolina grano 1</i> <i>Marmolina grano 4</i>
<i>Yemaza</i> Cobertura: <i>México y América latina</i>	<i>Marmolina</i>
<i>Cemenquin</i>	<i>Marmolina</i>
<i>Regio Marmol</i>	<i>Marmolina</i>
<i>Ricaltri</i>	<i>Marmolina</i>
<i>Cien por ciento Marmol</i> Cobertura: <i>México</i>	<i>Marmolina, Granos de marmol clasificados</i>

Tabla 2.1- Proveedores de Marmolina ^[10]

2.4.- FIBRA DE CARBONO.

La fibra de carbono es un material compuesto, constituido principalmente por carbono. Tiene propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico. Por su dureza tiene menor resistencia al impacto que el acero.

Las propiedades principales de este material compuesto son:

- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.

Las razones del elevado precio de los materiales realizados en fibra de carbono se deben a varios factores:

La fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a alta temperatura (entre 1100 y 2500 °C) en atmósfera de hidrógeno durante semanas o incluso meses dependiendo de la calidad que se desee obtener ya que pueden realizarse procesos para mejorar algunas de sus características una vez se ha obtenido la fibra.

El uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo equipo especializado, como el horno autoclave.

Tiene muchas aplicaciones en la industria aeronáutica y automovilística, al igual que en barcos y en bicicletas, donde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes. También se está haciendo cada vez más común en otros artículos de consumo como patines en línea, raquetas de tenis, ordenadores portátiles, trípodes y cañas de pesca e incluso en joyería.

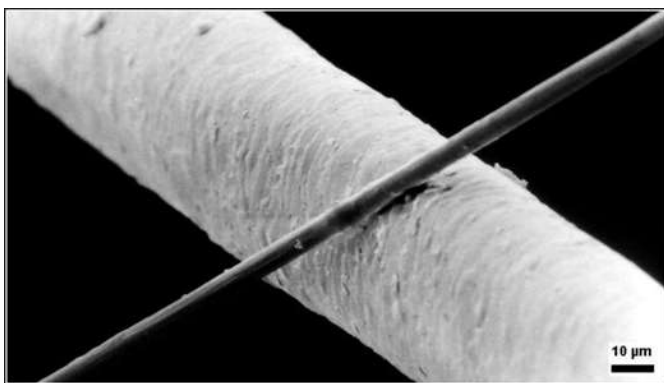


Figura 2.1-Un filamento de carbono de 6 μm de diámetro (desde abajo a la izquierda hasta arriba a la derecha), comparado con un cabello humano. [3]

Cada filamento de carbono es la unión de muchas miles de fibras de carbono. Un filamento es un fino tubo con un diámetro de 5–8 micrómetros y consiste mayoritariamente en carbono.

La estructura atómica de la fibra de carbono es similar a la del grafito, consistente en láminas de átomos de carbono arreglados en un patrón regular hexagonal. La diferencia

recae en la manera en que esas hojas se entrecruzan. El grafito es un material cristalino en donde las hojas se sitúan paralelamente unas a otras de manera regular. Las uniones químicas entre las hojas son relativamente débiles, dándoles al grafito su blandura y brillo característicos. La fibra de carbono es un material amorfo: las hojas de átomos de carbono están azarosamente foliadas, o apretadas, juntas. Esto integra a las hojas, previniendo su corrimiento entre capas e incrementando grandemente su resistencia.

La densidad de la fibra de carbono es de 1.750 kg/m³. Es conductor eléctrico y de baja conductividad térmica. Al calentarse, un filamento de carbono se hace más grueso y corto.

Naturalmente las fibras de carbono son negras, pero recientemente hay disponible fibra coloreada.^[3]

2.5.- ALUMINIO.

Para la experimentación que se llevo a cabo en el desarrollo de composites para la reparación de las tuberías a presión, se requirió de laminas de aluminio lisas flexibles, las cuales funcionaron como confinamiento entre la tubería y la fibra de carbono.

La fibra de carbono por sí sola no necesita ningún refuerzo para soportar las presiones a las que va a estar sometida, pero hay un detalle que no se debe olvidar, y es que las fibras de carbono individualmente son fibras muy delgadas que pueden ser volátiles por su carencia de peso y colocar solo las fibras de carbono en la reparación de la tubería puede ocasionar que las fibras de carbono se desprendan y viajen por la conducción de agua potable, pudiendo ocasionar problemas a la salud de los usuarios. De hecho, la fibra de carbono es recubierta con una capa de resina para que no se desprenda ninguna fibra de carbono, pero hay que estar del lado de la seguridad, y las láminas de aluminio son una solución eficaz que puede dar esa seguridad buscada para que el agua no se contamine por esta causa.



Figura 2.2- Laminas de aluminio lisas flexibles para protección del núcleo de fibra de carbono-resina [12]

A continuación se presenta en la siguiente tabla algunos proveedores de este material y así desarrollar los composites diseñados:

Empresa	Producto
<i>Nicholas Plastics de México</i>	<i>Láminas de aluminio, aluminio decorativo, aluminio industrial, aluminio para juguetes</i>
<i>C.V.G. Aluminios Nacionales S.A.</i>	<i>Láminas de aluminio, discos, fleje de aluminio</i>
<i>Cobralum</i>	<i>Láminas de aluminio, cobre, acero y en hoja</i>
<i>Refractarios Sajuri S.A. de C.V.</i>	<i>Lámina de aluminio, Foil de aluminio, Ladrillo de Silicio Aluminio, Cubiertas de Aluminio Corrugado</i>

Tabla 2.2- Empresas proveedoras de Láminas de aluminio liso [13]

2.6.- ADHERENTES EPÓXICOS.

Las resinas epoxídicas son un tipo de adhesivos llamados estructurales o de ingeniería el grupo incluye el poliuretano, acrílico y cianoacrilato. Estos adhesivos se utilizan en la construcción de aviones, automóviles, bicicletas, esquíes. Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos, y se puede conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento.

En general, si el secado de un adhesivo epoxídico se realiza con calor, será más resistente al calor y a los agentes químicos que si se seca a temperatura ambiente. La resistencia a la

tracción de este tipo de adhesivos puede llegar a superar los 350 kg/cm², lo que les convierte en el adhesivo más resistente del mundo. ^[4]

2.7.- FIBRA DE VIDRIO.

La fibra de vidrio (del inglés fiberglass) es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos (espinerette) y al solidificarse tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra.

Sus principales propiedades son: buen aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta altas temperaturas. Estas propiedades y el bajo precio de sus materias primas, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales. Las características del material permiten que la Fibra de Vidrio sea moldeable con mínimos recursos. Debe tenerse en cuenta que los compuestos químicos con los que se trabaja en su moldeo dañan la salud, pudiendo producir cáncer. Existen guías que describen el procedimiento de fabricación y moldeo en fibra de vidrio.

La fibra de vidrio, también es usada para realizar los cables de fibra óptica utilizados en el mundo de las telecomunicaciones para transmitir señales lumínicas, producidas por láser o LEDs. También se utiliza habitualmente como aislante térmico en la construcción, en modo de mantas o paneles de unos pocos centímetros.

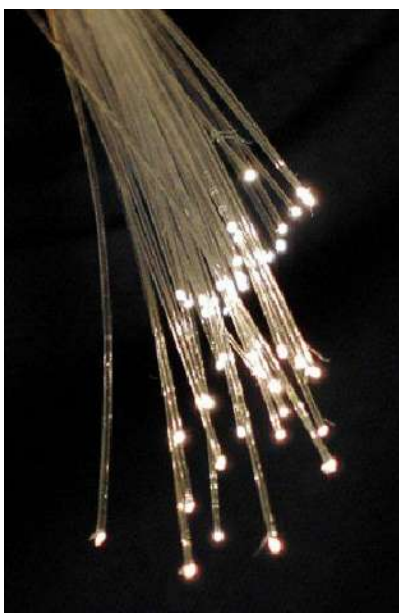


Figura 2.3- Ejemplo de fibra de vidrio usado como cables de fibra óptica. [9]

Se recomienda utilizar fibra de vidrio para la fabricación de artículos que estén expuestos a agentes químicos y degradación por corrosión.

Otro de los usos importantes de la fibra de vidrio es la Fabricación de la rejilla de fibra de vidrio, barandales, escaleras marinas, perfiles estructurales, tapas para registros. ^[9]

2.8.- RESINAS

En este subcapítulo se explicara básicamente la descripción y características específicas de los dos tipos de resinas especiales con las que se trabajo en los dos diferentes desarrollos de composites trabajados en esta investigación. Las resinas anteriormente mencionadas son las Resinas Flexibles y las Resinas de Polifumarato Bisfenolico, las cuales se explicaran sus características para abundar mas en el temas de los materiales poliméricos, para tener un enfoque más claro del porque nos interesa conocer las características de los plásticos.

2.8.1.- RESINAS FLEXIBLES

Las resinas flexibles ó resinas poliéster fueron empleadas principalmente para la protección de la fibra de carbono en el desarrollo del composite que consiste en la reparación de las

tuberías a presión. La función principal de este material polimérico es el no permitir la volatilización de las fibras de carbono al momento de aplicar este composite.

La consistencia de esta resina es muy poco viscosa y tiene la ventaja de que es flexible y se puede manipular la fibra de carbono de la misma manera a como si esta no tuviera resina flexible, lo que permite que se pueda usar como una especie de parche el composite final que se desarrolló.



Figura 2.4- Resina flexible o Resina poliéster Ortoftálica [14]

2.8.2.- POLIFUMARATO BISFENOLICO

El Polifumarato Bisfenólico o resina de Bisfenol Fumarato, es una resina muy especial, usada para la protección de elementos que estarán sujetos a ataques químicos muy fuertes. Esta resina tiene unas propiedades especiales pero podríamos destacar que una de las más importantes es la alta resistencia a la compresión simple, lo que quiere decir que la consolidación que logra esta resina entre sus partículas es muy alta y soporta uno de los ataques químicos más importantes, el cual es el ataque de sulfatos a elementos de concreto, por decir un ejemplo, ya que si el concreto está expuesto a estos ataques químicos (ataque de degradación por sulfatos), por la cristalización que se forma debido a las sales de sulfatos, el concreto experimenta un agrietamiento seguido de una destrucción por la

expansión de cristales dentro del concreto, lo que no sucede con el Polifumarato Bisfenolico. Esta resina soporta muy bien este tipo de ataques químicos y es por esta razón que fue la resina utilizada para desarrollar los composites que están enfocados a la reparación de tuberías de alcantarillado sanitario. Como es bien sabido, las tuberías de alcantarillado sanitario son expuestas a este tipo de ataques químicos y la solución para evitar la degradación de las tuberías que están hechas de concreto es esta propuesta de composite desarrollado en este trabajo.



Figura 2.5- Polifumarato Bisfenolico [15]

2.9.- TUBERÍAS DE CONCRETO.

El sistema de drenaje en el país está tomando cierta evolución, donde lo más notorio es el uso de tuberías de polietileno de alta densidad, ya que estas tuberías poseen características que han hecho que de alguna forma el mercado de las tuberías de concreto sea algo incierto. Las reparaciones de las redes de tuberías en el alcantarillado resultan más comunes cuando se tratan de tuberías de concreto, a diferencia con las tuberías de polietileno de alta densidad, pero los tamos de estos tubos son de dimensiones más considerables con respecto a las tuberías de concreto, a final de cuentas, si un tramo de tubería sufre algún tipo de daño, lo mejor es cambiar todo el tramo de tubería, lo cual puede ser más fácil de realizar en las tuberías de concreto, o incluso, solo remediar el daño en la zona de la tubería afectada, en vez de cambiar todo el tramo de tubo. Así podemos mencionar distintas características entre ambas tuberías, pero la realidad es que las tuberías de concreto no están fuera del mercado aún, por lo que se trabajó en el desarrollo de un producto que puede favorecer a las tuberías de concreto.

2.9.1.- CLASIFICACIÓN Y VENTAJAS DE LAS TUBERÍAS DE CONCRETO.

Hay básicamente dos tipos de tuberías de concreto, las que no están reforzadas (MEIC 18003, INTE 16-11-04-08, ASTM C-14 / AASHTO M 86) y las reforzadas (ASTM C-361, ASTM C-655), pero en los dos casos la tubería de concreto por sí sola no soporta los fuertes ataques químicos de sulfatos, por la cristalización que estos presentan, desintegran al concreto. Este tipo de tuberías requiere de una protección especial para soportar dichos ataques.

Las tuberías de concreto cuentan con ciertas características que hasta hoy en día le siguen dando ventajas en su uso. Estas características o ventajas son las siguientes:

- Con el tubo de concreto, la mayor parte de la fuerza de la estructura de un sistema de drenaje se lleva en el mismo tubo. Esto minimiza los problemas potenciales y los impactos negativos de errores hechos por el instalador.
- La tubería necesita una trinchera o zanja mas angosta para poder colocarla, a comparación de las tuberías de otro material.
- En los diámetros más comerciales cualquier tubo de cualquier material ocupa maquinaria para poder colocar adecuadamente la línea de conducción, lo que hace insignificante la importancia del peso de tubo de concreto con respecto al de los otros materiales.
- Facilidad de instalación.
- No presentan problemas de flotación.
- Flexibilidad para acomodar deflexiones laterales o movimientos longitudinales.
- Las tuberías de concreto son menos susceptibles de daños en la etapa de construcción.^[18]

2.9.2.- MÉTODOS DE REHABILITACIÓN.

La infraestructura en el mundo está envejeciendo y miles de kilómetros de tuberías han llegado prácticamente al final de su vida útil. Cuando el costo del mantenimiento y operación de un sistema de tuberías deficiente es mayor que el costo de reparación, es inteligente analizar la alternativa de rehabilitación.

Originalmente se ah optado por hacer las reparaciones a zanja abierta, pero no siempre son la mejor alternativa para la solución del problema por la gran cantidad de costos asociados a la excavación como:

- Rotura de pavimentos
- Impacto ambiental
- Interrupción de tránsito
- Molestia a vecinos
- Riesgo de caídas o derrumbes

De acuerdo con el nivel de daño, el diámetro de la tubería, la presión de trabajo, el material y las condiciones de instalación es posible identificar la solución más adecuada para la recuperación o la rehabilitación de la tubería.

En el mundo se han desarrollado varias tecnologías de rehabilitación de tuberías por métodos sin zanja. Como por ejemplo:

- CIPP
- SLIPLINING
- RECUBRIMIENTO CEMENTICIO
- INSTALACIÓN DE JUNTAS
- LAMINACIONES

Estas soluciones las realizan empresas experimentadas que sobre análisis y técnicas desarrolladas por ellas mismas, buscan estar a la vanguardia. ^[22]

2.9.3.- PROPUESTA.

Se propone dar solución a las tuberías de concreto que al estar expuestas a ataques químicos, no los soportan y su degradación y vida útil conlleva a consecuencias no deseadas.

Como los problemas de corrosión que suelen presentar las tuberías de concreto que no tienen su protección especial para soportar los ataques químicos, o que dicha protección se aplicó de manera inadecuada, provocan que las tuberías empiecen a presentar problemas de agrietamientos, se diseñó una mezcla de resinas especiales con agregados minerales, como propuesta para poder darle rehabilitación rápida a estas tuberías. La fórmula se probó en una tubería de concreto y los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios. Más adelante se expondrá el desarrollo de esta propuesta.

2.10.- TUBERÍAS DE ACERO.

Las tuberías de acero inoxidable han sido, por muchos años, un material de construcción indispensable para una amplia variedad de productos incluyendo productos de petróleo, químicos, papel, y alimentos de todo tipo. La popularidad del acero inoxidable radica en su resistencia al calor y la corrosión, a los ataques químicos, y además por su peso ligero. Actualmente se ha convertido en un material popular para la fabricación de una variedad de productos de consumo desde muebles y equipos de ejercicio hasta vehículos y artículos decorativos. Las características de los tubos de acero inoxidable incluyen resistencia, levedad o solidez, rigidez o flexibilidad, resistencia a ataques químicos o corrosión y su fácil fabricación.

Las industrias de tubos de acero inoxidable han introducido muchas mejoras en sus materiales, diseños, manufactura y métodos de instalación. Los tubos de acero inoxidable son acoplados por un proceso de soldadura automática que acelera la velocidad del trabajo y hace a los tubos de mayor calidad y confiabilidad. Ya que otros materiales de construcción continúan aumentando de precio, el valor y la utilidad de los tubos de acero inoxidable son indudablemente el centro de atención de muchos compradores.

El proceso de producción de los tubos de acero inoxidable es simple y relativamente barato. Sólo se requiere de 10 personas para operar las máquinas y equipos. Esto, en conjunto con su demanda estable, proporcionará al emprendedor de una excelente oportunidad de negocio. ^[19]

Como ya se menciona, las tuberías de acero inoxidable son muy comunes de encontrar por sus ventajas que poseen con respecto a otro tipo de tuberías. Como sucede con todo tipo de material, las tuberías llegan a un punto en el que su vida útil está a punto de agotarse por su deterioro el cual se genera en la estructura interna de esta provocado básicamente por la corrosión y por ende es necesario reparar. También cuando no se tiene cuidado con alguna tubería en el momento en que se trabaje con maquinas, y son dañadas de tal forma que la

tubería perforada, este tramo de tubería es inservible o se requiere de una reparación en el momento.

2.10.1.- PROBLEMAS DE CORROSIÓN.

El agua en las instalaciones hidráulicas, está expuesta a muchos metales y a diferentes condiciones de temperatura, velocidad y presión.

En las instalaciones hidráulicas modernas hay docenas de diferentes usos para el líquido: agua fría para beber; agua caliente para baño; agua para protección contra incendios; agua para acuarios, animales domésticos y plantas, y agua para enfriamiento y calefacción. Las diferencias en temperaturas, presiones y velocidades que presentan los diferentes usos del agua afectan las propiedades de ésta en cuanto sus tendencias hacia la corrosión.

Por lo tanto, se debe aplicar la tecnología proveniente de la teoría y la experiencia al seleccionar los materiales y los métodos para tratar el agua de acuerdo con sus distintos usos; determinando cuales son los metales que deben evitarse. El factor económico es el que determina cual metal es el que va a utilizar.

Las causas más comunes de los problemas de corrosión en las instalaciones internas son:

- La suavización completa de la totalidad del suministro de agua, en general incrementa la corrosividad del suministro. Sin embargo, ciertos equipos y lugares como lavanderías, laboratorios y sistemas abiertos y cerrados, pueden requerir de aguas suavizadas por completo con el fin de mantener la formación de incrustaciones.
- La selección de materiales inadecuados para la tubería o una combinación errónea de materiales, lo que produce fallas en los tubos debido a la corrosión.
- Soslayar el efecto de la velocidad al seleccionar los materiales de la tubería y los tamaños de los tubos.
- No instalar equipos adecuados para el tratamiento de aguas ni disponer de un acceso que facilite las reparaciones o reposiciones.

- El manejo de agua caliente doméstica a una temperatura demasiado alta.
- No aplicar los productos químicos recomendados para los sistemas de agua caliente domestica, calderas, torres de enfriamiento y sistemas cerrados, además de no supervisar el tratamiento.
- Omitir de la disposición de un sitio para efectuar pruebas de corrosión, con el fin de observar y vigilar el sistema de tubería para determinar si es necesario aplicar químicos o cambios en el tratamiento.
- El diseño de un sistema que no se pueda limpiar ni enjuagar adecuadamente antes de usarlo.
- Soslayar el efecto del diseño original del edificio sobre el diseño de futuras ampliaciones.
- Inspeccionar en forma inadecuada las instalaciones originales de plomería para asegurarse de que:
 - No se instalen conexiones que reduzcan el flujo.
 - Se usaran adecuadamente compuestos para tubería no corrosivos.
 - Se efectuaran en forma competente el escariado de los tubos y la soldadura, lo que permitiría que el agua fluya con una turbulencia mínima por la tubería.
- La existencia de aguas estancadas en un edificio nuevo, durante varios meses antes de que lo ocuparan los inquilinos. ^[23]

2.10.1.1.- Importancia del agua en el proceso de corrosión.

Los componentes del agua que inciden en la rapidez con que se corroen los metales en los sistemas de distribución son calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos, oxígeno disuelto, alcalinidad, pH, intensidad de amortiguación, cloro libre, cloramina, sólidos en suspensión y conductividad.

Las aguas con las siguientes características tenderán a ser más corrosivas:

- Aguas muy suaves.
- Aguas muy bajas en pH y alcalinidad. La adición de calcio, alcalinidad, y productos químicos para ajustar el pH en aguas tratadas ha resultado eficaz para corregir la corrosividad de las aguas bajas en dureza y alcalinidad.
- Aguas altas en cloruros o sulfatos, o en ambos (>150 mg/l).
- Aguas que contengan cantidades apreciables de oxígeno disuelto.
- Aguas con un bajo pH (< 6.0) y una conductividad alta (>500 m S/cm)
- La presencia de cloro libre por encima de 1 mg/l y de cloramina arriba de 2 mg/l.
- La presencia de sólidos suspendidos. Estos sólidos tienden a incrementar las tendencias a la corrosión por cavitación del agua, y también proveen suciedad, un depósito de suciedad puede conducir a la corrosión por celdas de concentración.^[23]

2.10.2.- MÉTODOS DE REHABILITACIÓN.

Entre las alternativas más comunes de reparación de tuberías se tiene el reemplazo de la sección completa del tubo, instalación de recubrimientos no estructurales (las que proveen de una barrera anticorrosiva en la pared interna del tubo, pero no provee refuerzo estructural ni restituye el acero dañado por corrosión) y recubrimientos estructurales como es el caso del concreto lanzado reforzado (se instala acero de refuerzo adicional en la pared del tubo y se lanza concreto, lo que reduce significativamente la capacidad hidráulica del tubo, además de ser propenso al agrietamiento y por consiguiente vulnerable al daño por corrosión) y camisas de acero (cuyo espesor depende del grado de corrosión del acero, además el espacio entre ésta y el tubo es rellenado con mortero disminuyendo el diámetro interno del tubo).^[20]



Figura 2.6- Tubería de acero (aplicándosele protección anticorrosiva) [21]

2.10.3.- CLASIFICACIÓN DE LAS TUBERÍAS DE ACERO.

Existen características que deben cumplirse en las tuberías de acero cuando se utilizan en obras de abastecimiento, las cuales tienen mucho que ver con las presiones de trabajo de la tubería. En la siguiente tabla se muestran las características antes mencionadas:

Tipo de tubería de acero	Norma	Diámetros nominales en mm.	Longitud del tubo en m.	Clase de tubería	Fabricantes
Liso soldado	DGN B-184-1973 API, ASTM-120-53	114.3 - 168.3 - 219.1 - 273 - 323.8 - 355.6 - 406.4 - 457.3 - 508 - 558.8 - 609.6 - 660.4 - 711.2 - 812.8 - 863.6 - 914.4 - 1067 - 1219	4.88 ó 7	Grado B, X-42, X-52	Tubacero S.A. de C.V. (Monterrey N.L.)
Sin Costura	DGN B -177-1973 API, ASTM-120	42.2 ó un máx. de 4572	5 a 7, 7 ó 12	Grado O, X-42, X-46, X-52, X-56, X-60, X-65	Tubos de acero de México, S.A. (TAMSA Veracruz, ver.)
Galvanizado	DGN-810- tipo A ASTM-120	6.35 - 9.53 - 12.7 - 19.1 - 25.4 - 31.8 - 38.1 - 50.8 - 63.5 - 76.2 - 101.6	6.4	Cédula 40	Compañía Mexicana de tubos, S.A. Aceros Alfa Monterrey, S.A.

Tabla 2.3- Clasificación de tuberías de acero [B] [C]

Cada clase de tubería trabaja a una determinada presión, para esto, se puede verificar en la siguiente tabla, las diferentes presiones de trabajo de las clases de tuberías existentes:

Tipo de tubería	Clase de tubería	Presión de trabajo (kg/cm ²)
Lisa soldado	Grado B	1476
Lisa soldado y sin costura	X-42	1722 y 1476
Sin costura	X-46	1772
Lisa soldado y sin costura	X-52	2193 y 1940
Sin costura	X-56	2193
Sin costura	X-60	2362
Sin costura	X-65	2531
Sin costura	Grado O	1265

Tabla 2.4- Presiones de trabajo de las tuberías [B] [C]

2.10.4.- RESUMEN ESTADÍSTICO.

En el siguiente resumen se muestran la cantidad de tubería de acero de agua potable con la que cuenta el municipio de Morelia Michoacán México. Se puede demostrar con esta información que este municipio no cuenta mucho con las tuberías de acero, ya que la cantidad de líneas de conducción de agua potable de acero con las que opera este municipio son muy pequeñas con respecto a las líneas de conducción de otro material. Cabe mencionar que las reparaciones que se les han estado haciendo a estas tuberías de acero, han sido con parches soldados sobre las tuberías perforadas por el efecto de la corrosión.

Tramo	Longitud	No. De tramos	Diámetro
Cárcamo de Mintzita a la planta Potabilizadora Vista Bella	6,138 m.	3	16"

Tabla 2.5 [D]

Localización:



Figura 2.7.- Cárcamo de bombeo Mintzita. [24]



Figura 2.8.- Planta potabilizadora vista bella. [24]

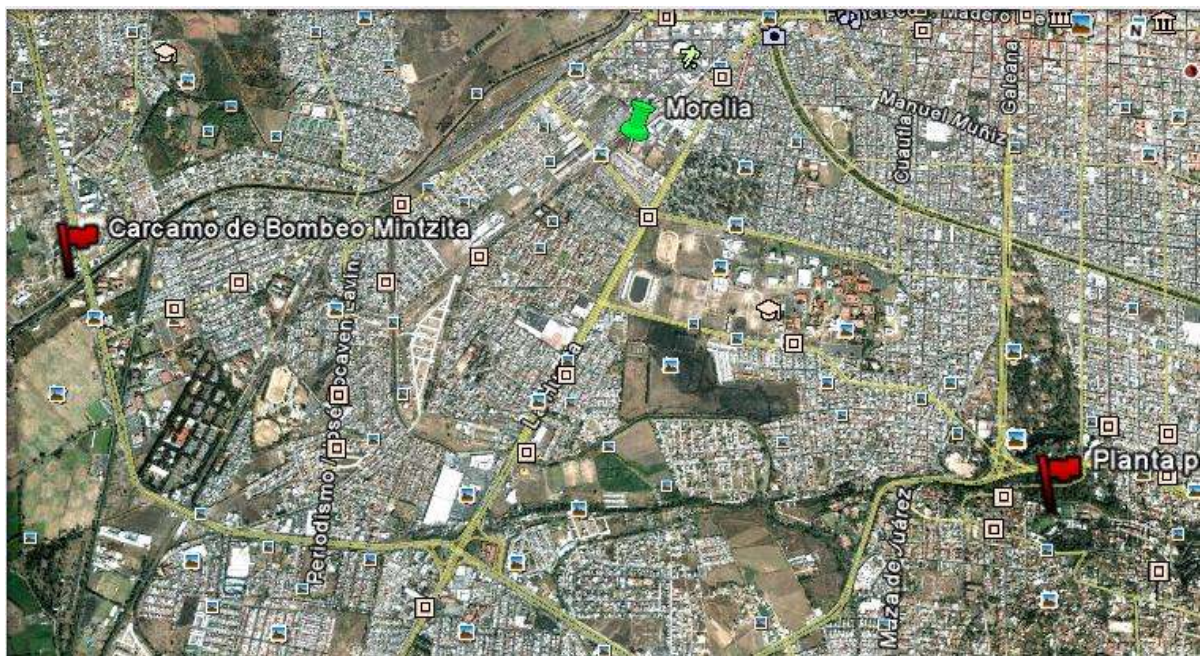


Figura 2.9.- Trayecto de la tubería que va del cárcamo a la planta potabilizadora. [24]

Tramo	Longitud	No. De tramos	Diámetro
Cárcamo de Mintzita al tanque superficial Tzindurio (rebombeo)	1,462 m.	3	16"

Tabla 2.6 [D]

Localización:



Figura 2.10.- Trayecto de la tubería que va del cárcamo al tanque de Tzindurio. [24]



Figura 2.11.- Tanque de Tzindurio. [24]

Tanque de Tzindurio a Madero (existen 3 líneas de conducción):

Tramo	Longitud	No. De tramos	Diámetro
Línea norte: Del cárcamo de Tzindurio hasta Madero esquina con Decima en la Colonia Irrigación	2,191 m.	1	16"

Tabla 2.7 [D]

Localización:

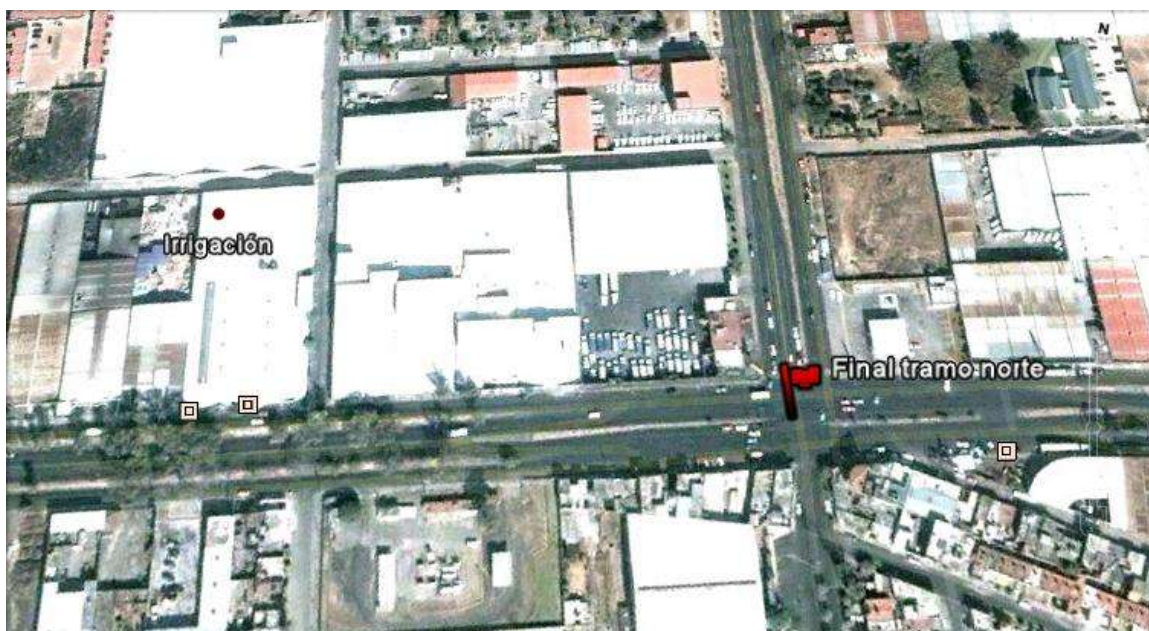


Figura 2.12.- Final del tramo norte (colonia irrigación, Av. Madero esquina con Decima). [24]

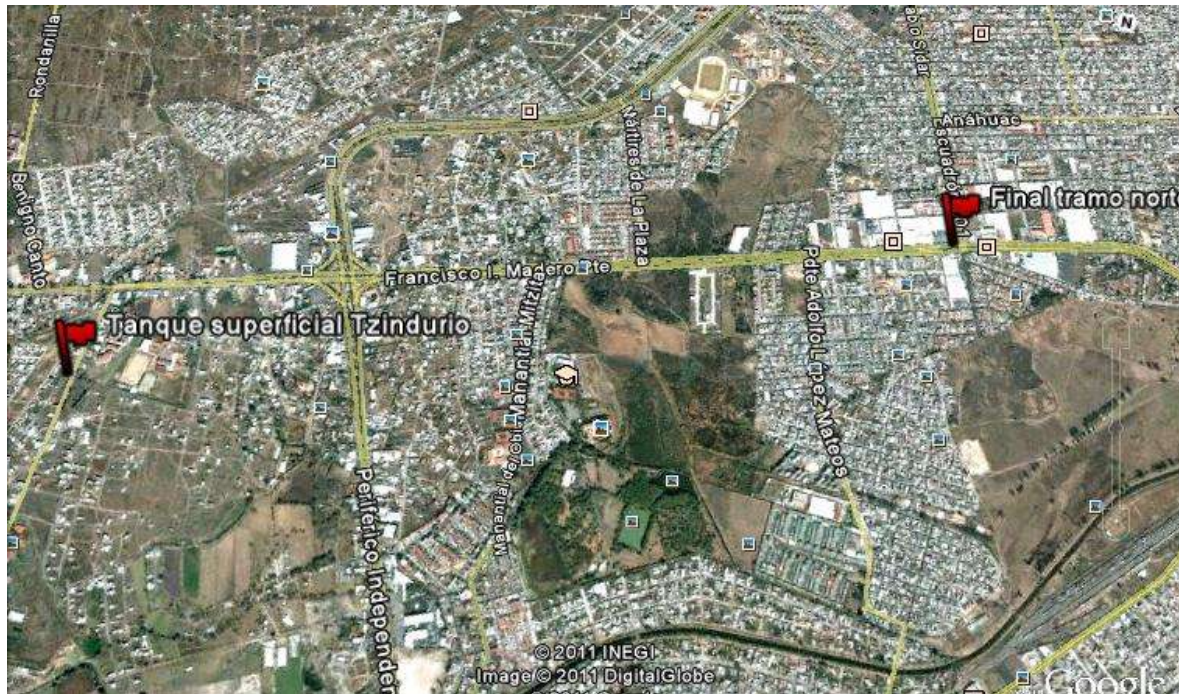


Figura 2.13.- Trayecto de la tubería (línea norte). [24]

Tramo	Longitud	No. De tramos	Diámetro
Línea centro: Del cárcamo de Tzindurio a Madero esquina con el rio Grande en la colonia Tres Puentes	3,576 m.	1	16”

Tabla 2.8 [D]

Tramo	Longitud	No. De tramos	Diámetro
Línea sur: Del cárcamo de Tzindurio a Madero esquina con el rio Grande en la colonia Tres Puentes	3,408 m.	1	16”

Tabla 2.9 [D]

Localización:

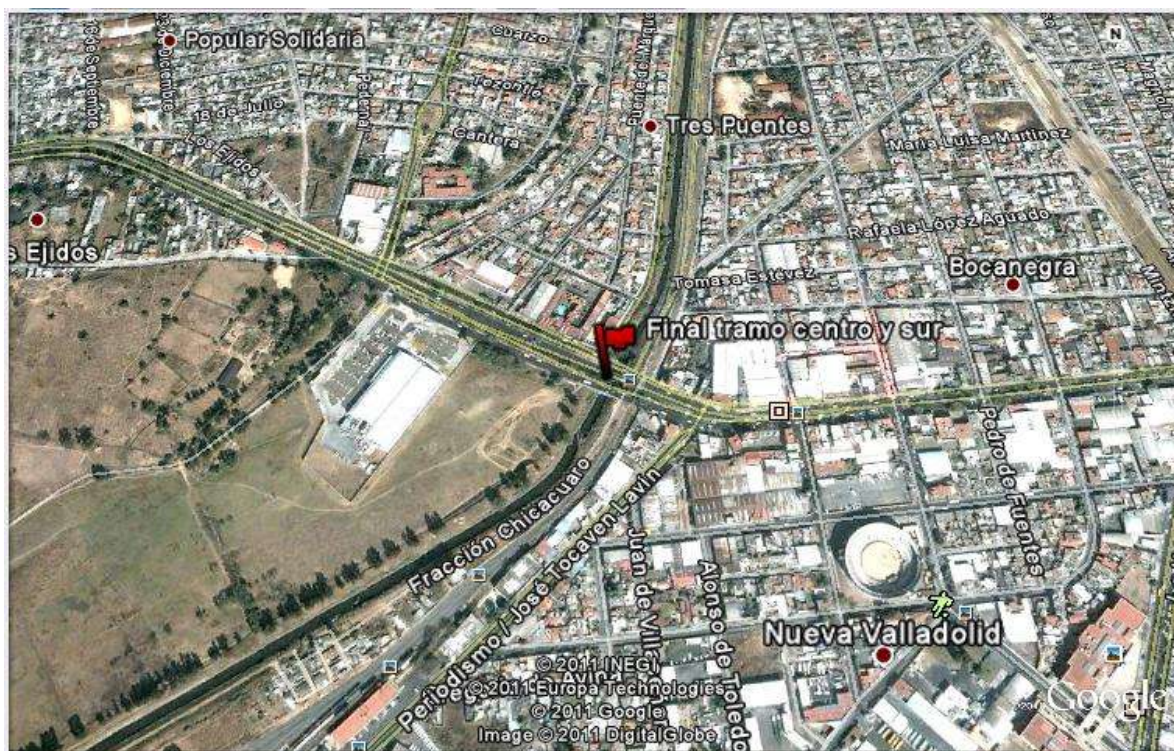


Figura 2.14.- Final del tramo central y sur (Av. Madero esquina con el Rio grande, colonia Tres Puentes).

[24]

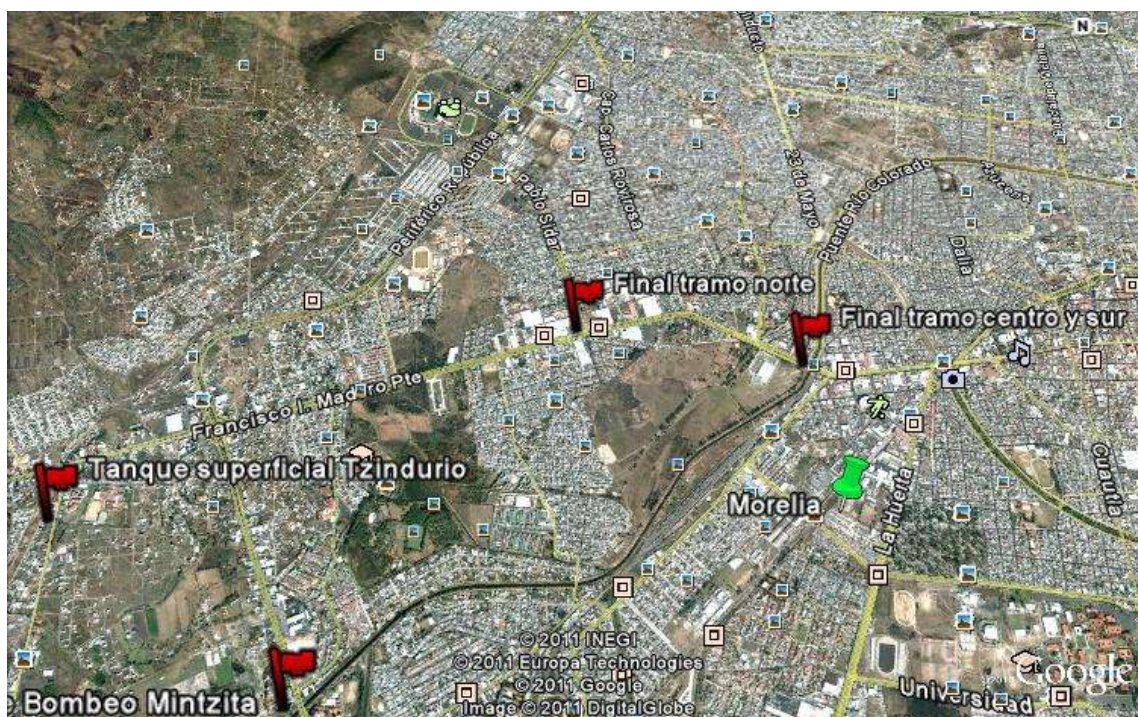


Figura 2.15.- Trayecto de las tuberías (líneas centro y sur). [24]



Figura 2.16.- Tubería de la línea sur (tramo a intemperie). [24]

En lo que va del año (2011) se han registrado solo 5 fugas de agua, por la corrosión ya que las tuberías no tuvieron una adecuada protección contra este efecto, y con el tiempo se fue deteriorando la tubería. Se reparo con parches, soldándose sobre la superficie una placa de acero, previamente se pulió la tubería para acabar con los restos de corrosión existentes y evitar que el problema evolucionara.

2.10.5.- PROPUESTA.

Se propone darle una reparación rápida y eficaz a las tuberías de acero que conducen agua a presión. Nunca se está exento de que la corrosión provoque los daños en las tuberías de acero y por consecuente hayan fugas de agua, o también, cuando se esté trabajando en una obra donde sea necesario excavar y hayan líneas de conducción de agua de por medio y que por accidente se dañen dichas tuberías con maquinaria pesada, es necesario reparar de inmediato, para esto se diseño un compuesto de materiales de alta resistencia que sirven como parches en la tubería, donde solo es necesario usar un adherente adecuado para que la reparación sea exitosa y así no es necesario soldar, cortar el tubo o ninguna otra cosa que involucre gastar tiempo.

Más adelante se explica a detalle el funcionamiento de este compuesto diseñado (composite) para darle la rehabilitación adecuada a las tuberías de acero dañadas.

2.11.- TIPOS DE COMPOSITES.

Material compuesto es aquél constituido por dos, o más, componentes cuyas propiedades son superiores a las que tienen cada uno por separado, permaneciendo todos perfectamente identificables en la masa del elemento. El material compuesto no es una invención humana, ya que existe en la propia naturaleza, así, la madera, es un ejemplo bastante típico puesto que está constituido por armaduras de fibras de celulosa envueltas en una matriz de resinas naturales; las fibras dan, en algunas direcciones, la resistencia necesaria al vegetal. También en el cuerpo humano existen materiales compuestos, como los huesos, formados por una especie de cemento cálcico y fibras de colágeno. En edificación, el primer material

compuesto debido al hombre es el adobe, formado por barro y una armadura a base de paja, y también se utiliza, aunque en menor medida, el yeso armado con crines de caballo. Sin embargo, es el hormigón armado el material compuesto más famoso y más utilizado en la construcción y la ingeniería civil. El hormigón, como bien se sabe, presenta una buena resistencia a compresión pero malas características a tracción. El refuerzo con barras de acero consigue que el material compuesto resultante, el hormigón armado, tenga, por un lado, una muy buena resistencia a compresión, debida al hormigón y por otro, unas muy buenas resistencias a tracción, a flexión y a cizallamiento por la presencia del refuerzo metálico. La denominación de compuesto está justificada ya que el refuerzo y la matriz existen. Esta denominación también se emplea en materiales como el amianto-cemento, morteros y hormigones reforzados con fibras de acero, de vidrio o polimérica (Tabla 2.1).

Materiales Compuestos

	MATERIAL		MATRIZ	FIBRAS / REFUERZO
EN LA NATURALEZA	MADERA		RESINAS NATURALES	FIBRA DE CELULOSA
EN EL CUERPO HUMANO	HUESOS		CEMENTO CÁLCICO	FIBRA DE COLÁGENO
INVENCION HUMANA PARA LA CONSTRUCCIÓN	ANTIGUEDAD	ADOBE	BARRO	PAJA
		YESO ARMADO	YESO	CRINES DE CABALLO
	MODERNAS	HORMIGÓN ARMADO	HORMIGÓN	ARMADURA DE ACERO
		AMIANTO CEMENTO	MORTERO DE CEMENTO	AMIANTO
		MORTEROS Y HORMIGONES FIBROSOS	MORTERO	ACERO, VIDRIO, POLIMÉRICAS, CARBONO, VEGETALES
			HORMIGON	
		YESO ARMADO	YESO	VIDRIO, POLIMÉRICAS, VEGETALES
		COMPOSITES	RESINA	VIDRIO, POLIMÉRICAS, CARBONO, ARAMIDA
		MORTEROS POLIMÉRICOS	RESINA	ÁRIDOS

Tabla 2.10- Materiales compuestos [5]

A partir de los 70, dentro de los denominados nuevos materiales han aparecido los composites, que hoy en día son los nuevos materiales de mayor producción y aplicación, lo

que explica que, en muchos casos, se crea que composites y nuevos materiales son la misma cosa.

Esencialmente, lo que se entiende por composites o material compuesto es una composición artificial, de fases diferentes y diferenciadas, aunque solidarias, cuyo mayor volumen lo ocupa su "fase matriz", componente de no muy alta densidad, de naturaleza polímera y sintética, en la mayoría de las preparaciones, que engloba una segunda fase, "fase de refuerzo", compuesta generalmente a base de fibras (también pueden ser partículas o láminas), con resistencias a la tracción, muy superiores a la que posee la matriz.

Las partículas, fibras o láminas, englobadas dentro de la matriz, actúan como armaduras o refuerzos de la misma, pudiendo llegar a absorber la práctica totalidad de las cargas que se aplican al compuesto.

No les parece muy adecuado a algunos hablar de "composites" existiendo en castellano la palabra "compuesto", sin embargo, se ha generalizado su uso para definir a aquellos materiales compuestos, de reciente aparición, cuya matriz es polimérica, para distinguirlos de los de matriz cementicia o de yeso. Las últimas investigaciones están ampliando esta denominación a los materiales compuestos de matriz metálica y cerámica, aunque los mismos aún no tienen aplicaciones dentro del campo de la construcción arquitectónica.

[5]

2.12.- APLICACIONES DE LOS COMPOSITES Y PRINCIPALES FABRICANTES DE COMPOSITES.

En esta parte del trabajo se expondrán los usos aplicados a las estructuras (más comúnmente usados en esta área de la ingeniería) de los composites diseñados en este trabajo, además de adentrarnos a la justificación de esta investigación por medio de los problemas que más comúnmente afectan a las tuberías dentro de su tiempo de vida útil para que por medio de esta investigación hacer más eficaz el desempeño de las tuberías y finalmente se verificaran los fabricantes de todos los materiales que son necesarios para el desarrollo de los composites diseñados en este trabajo.

2.12.1.- DIFERENTES APLICACIONES DE LOS COMPOSITES RELACIONADOS CON LOS DESARROLLADOS.

En el caso de rehabilitación de tuberías de conductos a presión, se diseñó un compuesto (composites) tipo sándwich, en donde la fibra de carbono es el núcleo del compuesto, ya que es el elemento que soportará las altas presiones a las que trabaja la tubería. Su resistencia ha sido comprobada en las estructuras, cuando estas requieren una reparación rápida y económica, la fibra de carbono es una solución bastante viable, como se muestra a continuación:



Figura 2.17- Aplicaciones de la fibra de carbono para refuerzo o reparación de un edificio, de manera más práctica [6]



Figura 2.18- Aplicaciones de la fibra de carbono en los elementos estructurales de un edificio [6]

También podemos concluir que la fibra de carbono, ha tenido éxito en diferentes campos de aplicación. En lo que respecta a los usos, la fibra de carbono es ampliamente utilizada en industrias como la aeronáutica y automovilística, al tiempo que puede ser empleada para la fabricación de barcos y bicicletas, donde se destacan como fundamentales sus propiedades mecánicas y su relevante rasgo de ligereza. Muchas computadoras portátiles, trípodes e incluso cañas para realizar tareas de pesca también tienen este material en su composición. A continuación se muestra una gráfica Esfuerzo-Deformación de este material, comparado con el acero de refuerzo (línea azul):

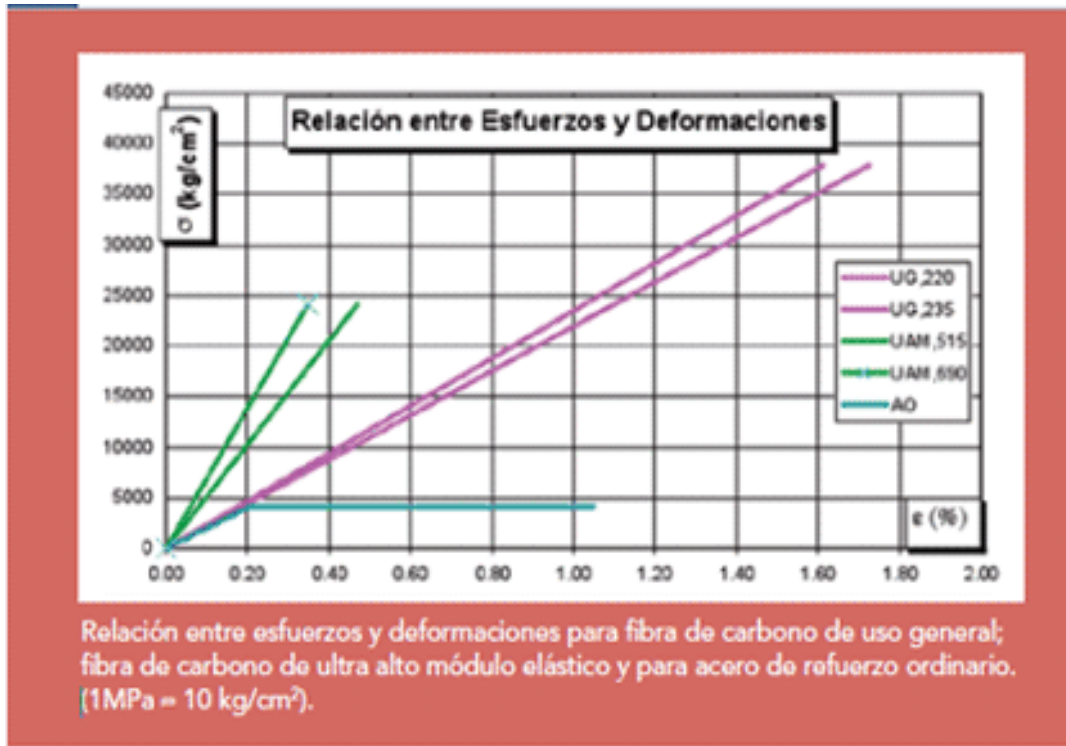


Figura 2.19- Relación Esfuerzo-Deformación de varios materiales [3]

Para hacernos una idea más clara, basta comparar la Fibra de Carbono con el acero.

Características **Fibra de Carbono-Acero**:

Módulo de resistencia a la tracción: **3.5 - 1.3**

Resistencia específica: **2.0 – 0.17**

Densidad: **1.75 – 7.9**

Su resistencia es casi 3 veces superior a la del acero, y su densidad es 4,5 veces menor. En cuanto a módulo de elasticidad hay una amplia gama de Fibras de Carbono.

Otras propiedades muy apreciables en la fibra de carbono son la resistencia a la corrosión, al fuego e inercia química y la conductividad eléctrica. Ante variaciones de temperatura conserva su forma.

La fibra de carbono es un polímero convertido en fibra. En la mayoría de los casos, las FC permanecen como carbón no grafitico. El término fibra de grafito solo está justificado, cuando las FC han sido sometidas a un tratamiento térmico de grafitización (2000-3000 °C), que les confiere un orden cristalino tridimensional, observable mediante rayos X.

La cristalografía de rayos X nos permite conocer la estructura exacta de cada tipo de Fibra de Carbono. Nos resulta extraño, pero nos recuerda mucho al grafito: una estructura hexagonal. El grafito, la mina de lápiz, es todo lo contrario: blando y frágil. Es un alótropo del carbono.

A nivel atómico no podemos comprender las diferencias entre la fibra de carbono y el grafito, pero la estructura es diferente: observamos muchos cambios en la superposición de las fibras y las cintas en la FC y en el grafito.

El grafito tiene una estructura plana triangular con enlaces triples y queda un electrón libre. Este electrón libre explica que el grafito es una de las pocas estructuras no metálicas que conducen la electricidad. La fibra de carbono también es conductora.

La fibra de grafito cristaliza en el sistema hexagonal, el panal de abeja. La mayoría de las fibras no son de grafito sino de carbono, obtenidas a menor temperatura.

Examinar la fibra de carbono es estudiar el carbono. Es sin duda el más versátil de los elementos que conoce el hombre, como podemos ver por el hecho de que es la base de la vida en el planeta. El carbono forma parte de toda la química orgánica y de 20 millones de moléculas conocidas, de las cuales el 79 por ciento las clasificamos como orgánicas. ^[11]

Además de trabajar con la fibra de carbono, también se trabajó con Polifumarato Bisfenólico, que fue usado en combinación con la marmolina en la protección de tuberías de asbesto-cemento.

Las aplicaciones del Polifumarato Bisfenolico alcanzan campos enormemente variados, éstas resinas son llamadas de “alta resistencia química y a la corrosión”, que encuentran aplicación en la elaboración de equipos de Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio para

uso en una variedad de industrias y actividades. Normalmente los equipos que están hechos a base de estos plásticos que son protegidos corrosivamente por este tipo de resina tienen aplicaciones tales como:

- Ventiladores, sopladores y campanas de extracción de gases
- Tapas de celdas de cloro y colectores
- Torres lavadoras de pulpa de celulosa
- Sistemas de contención secundaria
- Tanques para almacenaje de productos químicos
- Tanques subterráneos para combustible
- Tanques para decapado y metalizado
- Sistemas de cañerías para productos químicos
- Tuberías cloacales de gran diámetro
- Conductos para gases y torres lavadoras
- Chimeneas y revestimiento de chimeneas
- Techos y paredes
- Perfiles estructurales
- Elementos de torres de enfriamiento
- Revestimientos para pisos y morteros
- Almacenaje de gasolina

Este tipo de resinas han sido usadas por más de 40 años en condiciones extremadamente corrosivas.

Las resinas poliéster de bisfenol fumarato fueron los primeros polímeros termofijables utilizados para producir laminados de alta resistencia a la corrosión. Estas resinas son típicamente rígidas de alto entrecruzamiento y muy alta temperatura de transición vítrea. Estos atributos les otorgan una excelente retención de propiedades mecánicas a temperaturas tan altas como 150°C. Las resinas de bisfenol fumarato poseen también una excelente resistencia en medios alcalinos y oxidantes. ^[16]

2.12.2.- PRODUCCIÓN MUNDIAL.

Es de vital importancia conocer la producción de los materiales a nivel mundial, que son necesarios para el diseño de los composites que se desarrollaron en esta investigación. Los materiales como la fibra de carbono, el acero, y los materiales epóxicos, es necesario saber su cantidad de producción, así como conocer la disposición de estos materiales para que esta propuesta de composites que se desarrolló sea lo más eficaz posible.

2.12.2.1.- *Los composites en el mercado*

A pesar de tener un crecimiento anual de 7 por ciento en la última década, el mercado de los materiales compuestos o “*composites*”, sigue siendo un sector exclusivo y poco accesible. Efectivamente, aunque su industria lleva más de 40 años produciendo diferentes y mejorados tipos de materiales, la oferta sólo representa cerca del 4 por ciento de las materias primas utilizadas por la industria de manufacturas.

Las cifras son reveladoras: en el año 2010 la producción mundial de materiales compuestos se acercó tímidamente a 10 millones de toneladas métricas, mientras la producción de acero sobrepasó los 100 millones de toneladas.

La demanda se reduce a sectores muy específicos, como el automovilismo, aeronáutica, aeroespacial, armamento y deporte de alto rendimiento. Este panorama es consecuencia directa, tanto del desconocimiento –por parte de la industria– de las propiedades y ventajas de los “*composites*”, como de sus altos precios en el mercado, a razón del elevado costo de las materias primas e insumos y los complejos procesos de fabricación. El ejemplo más evidente, es el caso de la fibra de carbono que, aunque es uno de los materiales más populares de este segmento, sigue siendo visto como un compuesto exótico, de gran valor económico y particularmente complejo. Así mismo, aún existen grandes interrogantes respecto a este material, pocos conocen sus orígenes, cómo se fabrica y qué ventajas tiene. Por estas razones, en el último lustro los principales fabricantes de fibra de carbono (Toray, Toho-Tenax, Mitsubishi Rayon Co, SGL, Hexcel, Cytec, y Zoltec) han desarrollado estrategias para aumentar y diversificar su uso y aplicaciones. Una de ellas, se sustenta en

la firma de acuerdos de abastecimiento a largo plazo entre las compañías que requieren altos volúmenes de este material con las empresas productoras, como es el caso de Boeing, a quien la empresa Toray, acordó suministrarle el material más allá del año 2020. Por otra parte, el mercado espera la disminución gradual de los precios de la fibra de carbono, como consecuencia directa de la caída de los costos de los hidrocarburos, principal insumo para su elaboración. Desde hace un poco más de un año el petróleo ha sufrido una caída histórica, pasó de cotizarse a US\$147 en julio de 2007, en las bolsas de Nueva York y Londres, a menos de US\$37 al cierre del año pasado. Al respecto, Uwe Wascher, presidente de GE Plastics, afirmó en una entrevista para la agencia internacional de noticias AFP, que hace un año y medio, el costo promedio de los insumos de hidrocarburos representaba ya el 67 por ciento del costo total de la fibra de carbono y por ello, para el sector de los compuestos, la disminución de su precio es considerada altamente satisfactoria. Con un panorama de mayor demanda, oferta garantizada y precios competitivos, el mercado espera aumentar la penetración de la fibra de carbono y diversificar su aplicación en otros sectores. Los fabricantes tienen la proyección de elevar su producción a un total de 45.000 toneladas para el año 2010, de hecho la empresa SGL anunció que buscará alcanzar las 10.000 toneladas para el 2012 (cinco veces más de su producción en el 2007). En la actualidad, no hay que olvidar que el desarrollo de nuestra sociedad sigue marcado por la necesidad de reducir el consumo de energía, lo que aumenta cada vez más la demanda de materiales más resistentes y duraderos, independientemente de su campo de aplicación y son fundamentalmente los materiales compuestos y específicamente la fibra de carbono, los que están dando respuesta a estas necesidades.

La fibra de carbono ofrece amplias ventajas con relación a productos competidores, aportando numerosas cualidades funcionales, en especial por su ligereza y resistencia mecánica. Por todas estas razones, es conveniente y oportuno conocer más sobre este material, sus orígenes, características y su futuro.

La fibra de carbono está clasificada por calibres según su uso que se le va a dar, en la siguiente tabla están dichas clasificaciones ^[7]:

TIPOS DE FIBRA

Propiedad	Fibras SM ^a	Fibras IM ^{a/b}	Fibras HM ^b	Fibras *LM ^b	Fibras *UHM ^b
Contenido en carbono (%)	95	95	>99	>97	>99
Diámetro (μm).	6-8	5-6	5-8	11	10
Densidad (g/cm)	1,8	1,8	1,9	1,9	2,2
Resistencia a la tracción (mpa)	3.800	3450 - 6200	3450 - 5520	1380 - 3100	2410
Alargamiento a la rotura	1,6	1,3 – 2,0	0,7 – 1,0	09	0,4 -0,27
Resistencia eléctrica (μ_cm)	1650	1450	900	1300	220 – 130
Conductividad térmica (w/m.k)	20	20	50-80	-	-

(a) Fibras para usos generales; (b) fibras para aplicaciones aeroespaciales.

Valores de propiedades para fibras obtenidas a partir de PAN como precursor. *

Valores de propiedades para fibras “pitch”.

Las fibras de carbono se suelen clasificar atendiendo a dos criterios: tipo de precursor y valor de su módulo de elasticidad. De acuerdo con el segundo criterio se distinguen cinco clases, o calidades, de fibras: SM (“Standard modulus”), UHM (“Ultra-high modulus”), HM (“High modulus”), HT (“High tenacity-high strength”) o IM (“Intermediate modulus”), y LM (“Low modulus”).

Tabla 2.11- Tipos de fibra de carbono [7]

2.12.3.- PROVEEDORES.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los diferentes proveedores de los materiales más necesarios para poder desarrollar los composites que fueron diseñados:

Material	Proveedor	País	Dirección Web
Fibra de carbono	<i>América Alimentos, S.A. de C.V.</i>	<i>México</i>	<i>www.americaalimentos.com</i>
	<i>Deutrox, S.A. de C.V.</i>	<i>México</i>	<i>www.deutrox.com</i>
	<i>Cathay Packing & Sealing, Co. Ltd.</i>	<i>China</i>	<i>www.xxseal.com</i>
	<i>Chem Polymer Corporation</i>	<i>E.U.A.</i>	<i>www.chempolymer.com</i>
	<i>Idi Empaques, S.A. de C.V.</i>	<i>México</i>	<i>www.idiempaques.com</i>
	<i>Mil-Spec Industries</i>	<i>E.U.A.</i>	<i>www.mil-spec-industries.com</i>
	<i>Poliformas Plásticas, S.A. de C.V.</i>	<i>México</i>	<i>www.poliformasplasticas.com</i>

Material	Proveedor	País	Dirección Web
<i>Polifumarato</i>	<i>Regis S.A.</i>	<i>Argentina</i>	<i>www.regissa.com</i>
<i>Bisfenolico</i>	<i>Campre</i>	<i>Venezuela</i>	<i>www.campre.com</i>

Tablas 2.12- Proveedores de los materiales más importantes para el desarrollo de los composites.



CAPÍTULO III:

INNOVACIÓN DEL PRODUCTO EN TUBERÍAS DE CONCRETO-COMPOSITE

CAPÍTULO 3.- INNOVACIÓN DEL PRODUCTO EN TUBERÍAS DE CONCRETO-COMPOSITE.

La finalidad de la aplicación del Polifumarato Bisfenolico es, a grandes rasgos, para que el elemento al que se le aplique soporte mejor el ataque químico al que puede estar sometido dicho elemento.

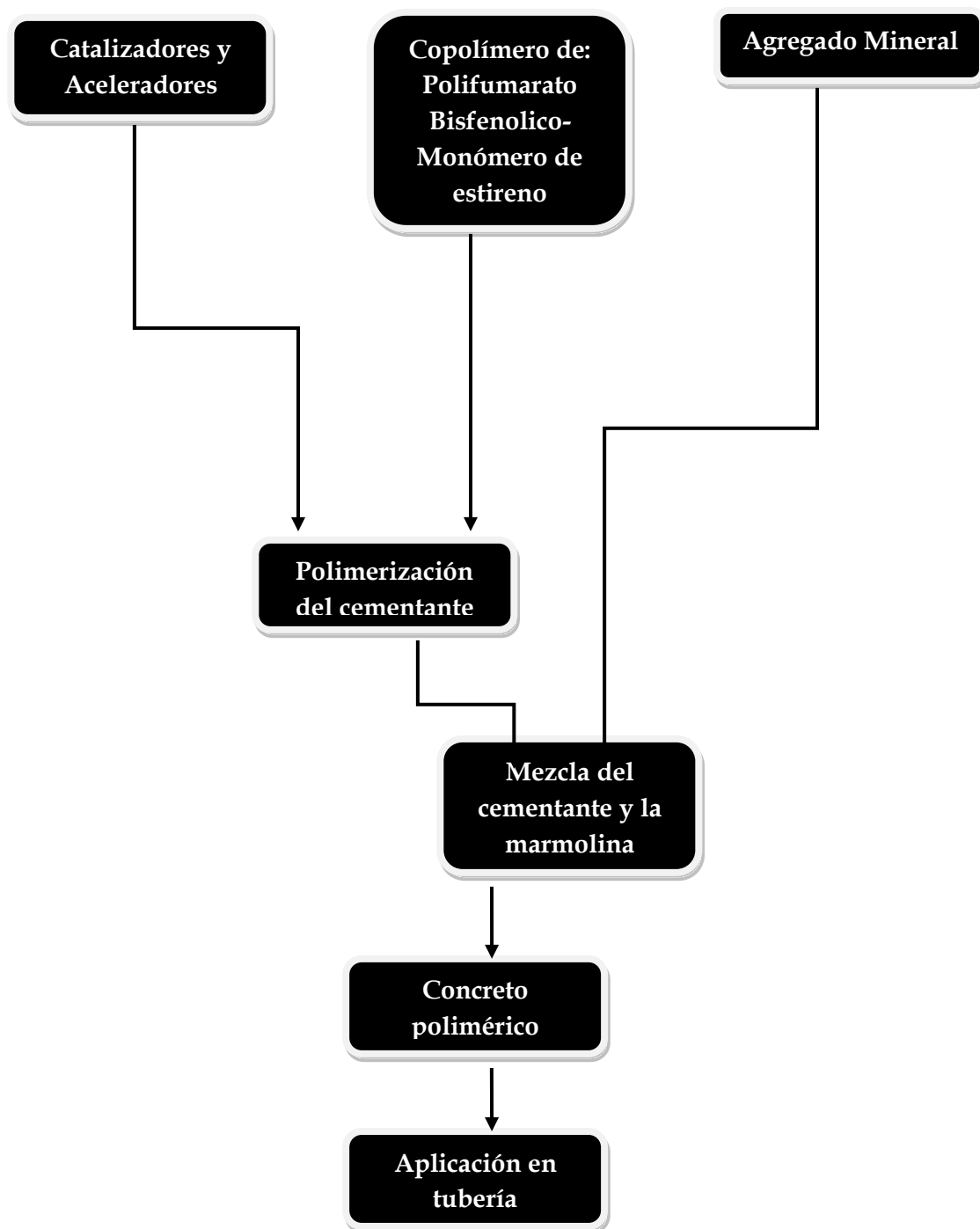
El ataque químico por sulfatos es uno de los ataques más representativos, cuando el concreto está expuesto ante esta situación, ya que sufre degradaciones importantes que lo pueden llevar a la falla total.

El efecto del sulfato en el concreto es devastador, este se desintegra por la cristalización de las sales de sulfato. Los cristales crecen dentro de él, haciéndolo trabajar a esfuerzos de tensión, provocando las grietas que aparecen, pero este proceso continúa, por lo que las grietas en el concreto se detienen hasta que éste desintegró por completo.

Los elementos de concreto que normalmente están sujetos a este tipo de ataques químicos son las tuberías de alcantarillado sanitario. Cabe mencionar que existen más elementos de concreto, que trabajando en otro tipo de condiciones, también están expuestos a este tipo de ataques químicos, pero en el desarrollo de esta investigación se trabajó en tuberías de concreto para demostrar la resistencia del Polifumarato Bisfenolico ante estos ataques, y compararlo con la poca resistencia del concreto.

3.1.- ELABORACIÓN DEL COMPOSITE.

Este proceso de preparación se esquematiza en el siguiente diagrama de flujo, donde se puede observar que los componentes para su preparación son mínimos, pero importantes en cuanto a proporcionamientos, ya que las cantidades adecuadas darán el resultado esperado.



3.1.1.- CATALIZADORES Y ACELERADORES.

Los catalizadores y aceleradores son la parte del concreto polimérico que tienen la función de hacer que este fragüe por medio del proceso químico de polimerización. Se debe tener especial cuidado en la combinación de estos químicos, ya que pueden tener reacciones explosivas.

3.1.2.- COPOLÍMERO DE POLIFUMARATO BISFENOLICO-MONOMERO DE ESTIRENO.

Para que este componente de la fórmula sea trabajable es necesario un proceso de preparación especial, donde las hojuelas del Polifumarato Bisfenolico (hojuelas de plástico) deben estar en estado líquido, con una viscosidad parecida al de las resinas convencionales. Para lograr que dichas hojuelas logren estar en esta condición, es necesario que se combine en cierta proporción con Monómero de Estireno. El monómero de estireno hará que se forme un copolímero entre el Polifumarato Bisfenolico y este, formándose una resina espesa que al estar en esta condición es más fácil trabajar con ella porque se vuelve manejable, así que éste componente que se forma al final es la parte que dará la unión entre las partículas de agregado mineral de esta fórmula diseñada para proteger a las tuberías de alcantarillado sanitario.

A continuación se presentan las imágenes de la forma en que se preparo dicho componente:



Figura 3.1- Copolímero de Polifumarato Bisfenolico-monómero de estírenos antes de empezar a mezclar para lograr la viscosidad deseada.



Figura 3.2- Proceso de mezclado del Polifumarato Bisfenolico y el monómero de estirenos fase 1.



Figura 3.3- Proceso de mezclado del copolímero donde se muestra el área de trabajo.



Figura 3.4- Proceso de mezclado del Polifumarato Bisfenolico y el monómero de estirenos fase 2.



Figura 3.5- Proceso de mezclado del Polifumarato Bisfenolico y el monómero de estirenos fase 3 (estado líquido viscoso, para poder trabajar con este componente).

3.1.3.- AGREGADO MINERAL.

El agregado mineral utilizado en esta fórmula es la marmolina, ya que por sus características antes mencionadas de resistencia y facilidad para trabajarla fue que se usó.

Se necesita cierta proporción de la marmolina para que la resistencia sea la indicada, esta proporción se verá más adelante cuando se toque el tema de la combinación de la marmolina y el Polifumarato Bisfenolico.

3.1.4.- POLIMERIZACIÓN DEL CEMENTANTE.

En esta parte es donde el Polifumarato Bisfenolico y los catalizadores y aceleradores se combinan, para que la resina empiece a gelificarse y endurecerse.

Es necesario que primero el Polifumarato Bisfenolico, al combinarse con los catalizadores, se mezcle inmediatamente el agregado mineral, por que el proceso de gelificación y de endurecimiento es muy rápido, y más si se trabajan y mezclan cantidades grandes de Polifumarato Bisfenolico (es por eso que se recomienda preparar cantidades muy pequeñas de esta fórmula, para que no se desperdicie material).

A continuación se muestra la mezcla o polimerización del Polifumarato Bisfenolico ya con los aceleradores y catalizadores, antes de combinarlo con la marmolina:



Figura 3.6- polimerización del cementante

3.1.5.- MEZCLA DEL CEMENTANTE Y LA MARMOLINA.

La mezcla de Polifumarato Bisfenolico con la marmolina se realiza en proporciones, siendo esta la proporción de 1:2, esta es la proporción usada, la aplicación de esta mezcla debe ser rápida ya que polimeriza muy rápido, así que las cantidades que se preparen deben ser las indicadas para que no se desperdicie material. A continuación se muestra una imagen de la combinación de estos dos materiales, el Polifumarato Bisfenolico y la marmolina:

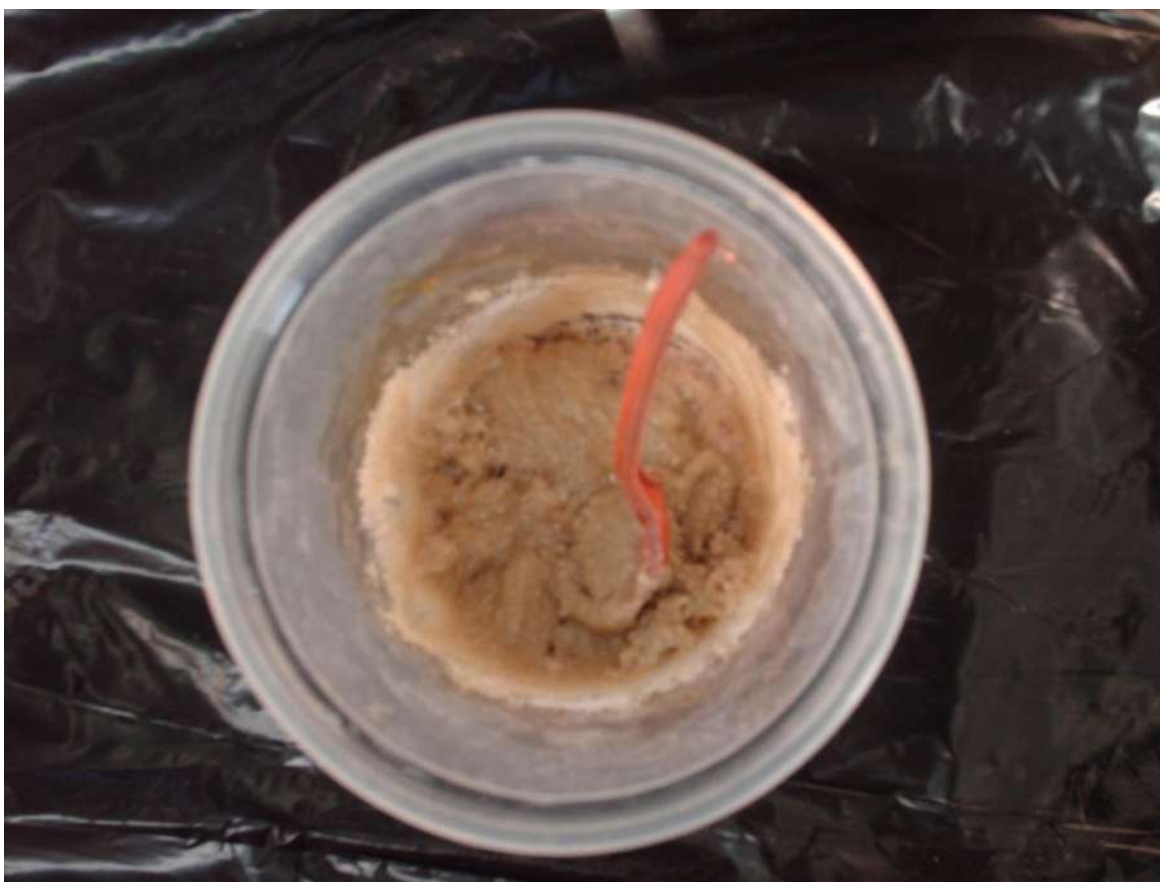


Figura 3.7- Mezcla del Polifumarato Bisfenolico y la marmolina antes de su polimerización.



Figura 3.8- Mezcla del Polifumarato Bisfenolico y la marmolina antes de su polimerización (agregando la marmolina).



Figura 3.9- Mezcla del Polifumarato Bisfenolico y la marmolina antes de su polimerización.

3.1.6.- CONCRETO POLIMÉRICO.

El concreto polimérico es el resultado final de toda la fórmula experimental diseñada, y este material es el que se aplica a la tubería con la finalidad de darle la protección a ataques químicos que se expuso anteriormente.

Simplemente el siguiente paso es aplicarlo a la tubería, el proceso de aplicación es muy parecido al proceso de aplicación de acabados de una casa-habitación o de un edificio, solo se requiere una persona capacitada para este tipo de trabajo.

3.1.7.- APLICACIÓN EN LA TUBERÍA.

En las siguientes imágenes se muestra este paso que consistió en aplicar el concreto polimérico en la tubería:



Figura 3.10- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (1)



Figura 3.11- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (2)



Figura 3.12- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (3)



Figura 3.13- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (4)



Figura 3.14- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (5)



Figura 3.15- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (6)



Figura 3.16- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (7)



Figura 3.17- Aplicación del concreto polimérico en la tubería (8)

3.2.- PRUEBAS Y RESULTADOS.

Aquí se abarcaran las pruebas que se realizaron para comprobar la resistencia de este composite a los ataques químicos, a así demostrar la eficacia de este diseño de fórmula.

Este subcapítulo se divide en dos partes, procedimiento de las pruebas y el resultado de las mismas, con la finalidad de detallar en cada parte para lograr la mejor comprensión del lector.

3.2.1.- PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS.

Primeramente se necesita un tubo como el siguiente, en donde se aplicarán las pruebas de este composite para comprobar la eficacia.

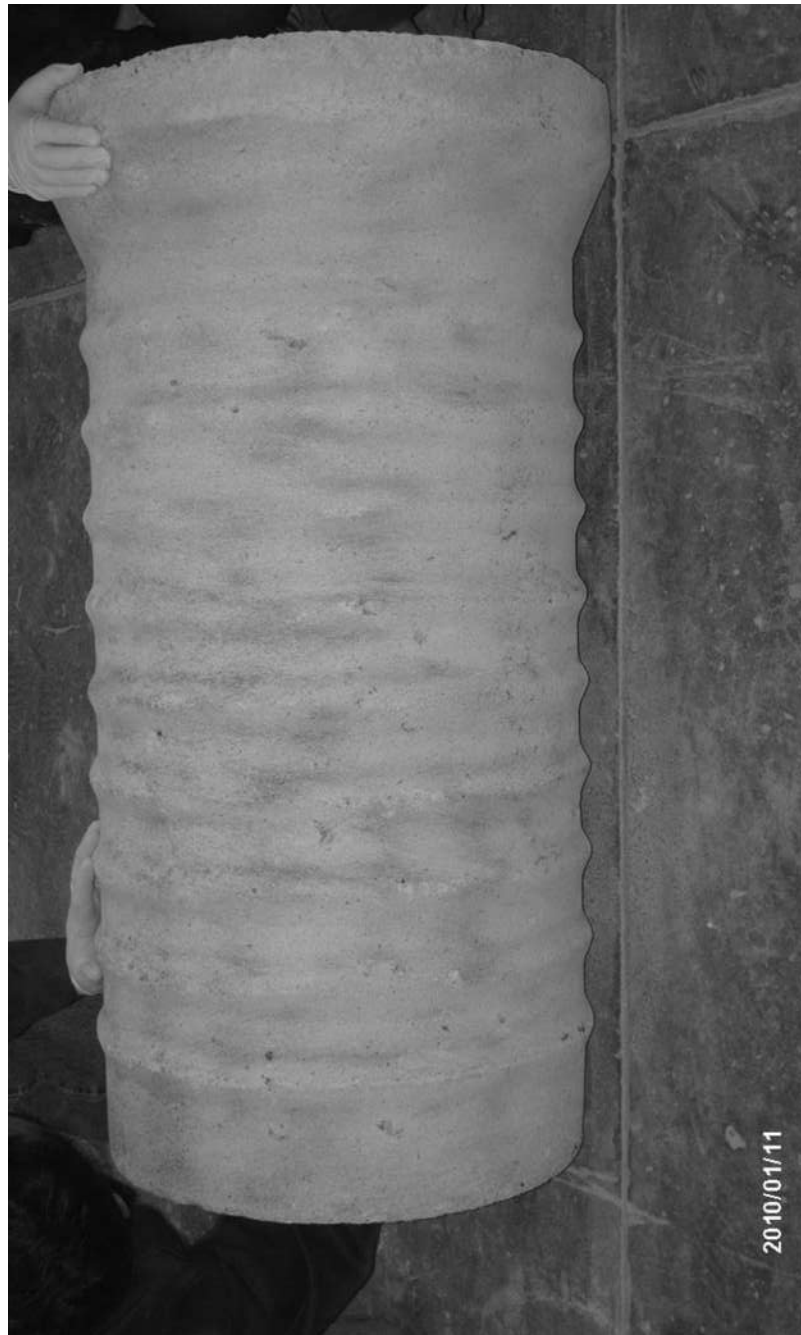


Figura 3.18- Tubo de concreto.

Es este tubo se le aplicó una limpieza para mejorar su apariencia, a continuación se muestran las imágenes:



Figura 3.19- Limpieza de tubo de concreto (1)



Figura 3.20- Limpieza de tubo de concreto (2)

Según el procedimiento antes descrito de cómo se aplican cada uno de los elementos que conforman a esta fórmula de composites diseñada, se muestran las imágenes de cómo queda al final el tubo con dicha aplicación finiquitada:



Figura 3.21- Aplicación del composite en la tubería (1)

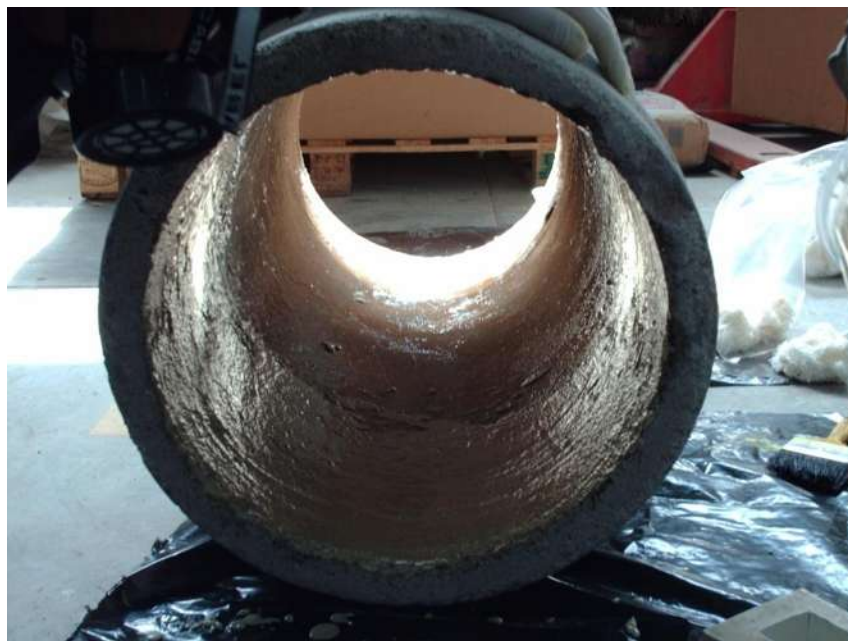


Figura 3.22- Aplicación del composite en la tubería (2)

Después de haber aplicado el composites en todo el interior de la tubería, se le hace una primera prueba. Cabe mencionar que hay dos pruebas que le dan cierta mejoría a las características de la tubería las cuales son:

- Mejora de la impermeabilidad.
- Resistencia a ataques químicos por cristalización de sulfatos.

Para demostrar la mejoría de la permeabilidad, se muestran las siguientes imágenes, donde se lleno de agua al tubo, y no mostró ninguna percolación de agua por los costados, para esto, es bien sabido que los tubo de asbesto-cemento son muy permeables, sabiendo esto, se puede ver la mejoría de este aspecto que el composite diseñado le aporta a dicha tubería.



Figura 3.23- Tubería con agua en el interior, visto por fuera, demostrando que no existe percolación de agua en los costados.



Figura 3.24- Vista en el interior del tubo antes de colocar el agua (1)

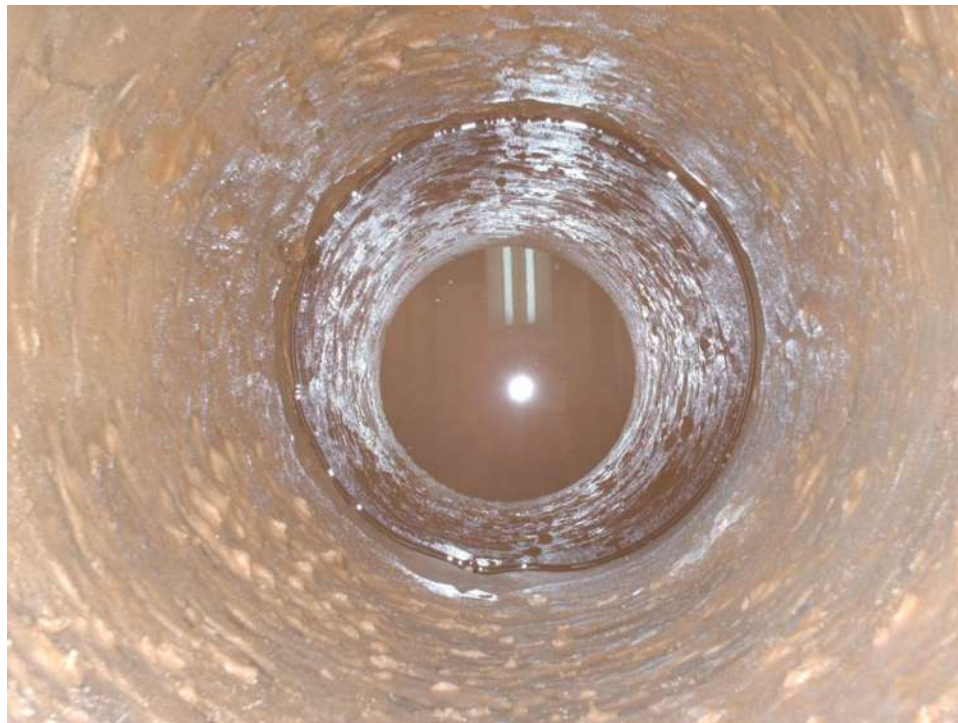


Figura 3.25- Vista en el interior del tubo antes de colocar el agua (2)



Figura 3.26- Sello en la parte del fondo del tubo y la cubeta, para que no se tire el agua (1)



Figura 3.27- Sello en la parte del fondo del tubo y la cubeta, para que no se tire el agua (2)



Figura 3.28- Interior del tubo con agua



Figura 3.29- Nivel del agua al que está lleno el tubo.



Figura 3.30- Tubo sin percolación de agua en los costados (agua en el interior del tubo)

Al mismo tiempo que se hizo esta prueba de permeabilidad, también se trabajó con un tubo del mismo material que el anterior pero sin el recubrimiento diseñado, con la finalidad de comparar las diferentes permeabilidades. En las siguientes imágenes se muestran los resultados de esta prueba aplicada a la tubería sin recubrimiento:



Figura 3.31- Tubería de concreto sin composite (lleno de agua)



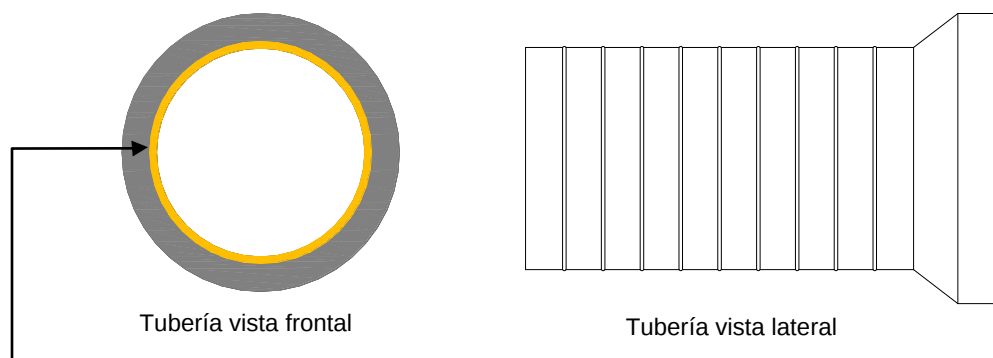
Figura 3.32- Percolación de agua en la Tubería de concreto sin composite



Figura 3.33- Tubería de concreto sin composite

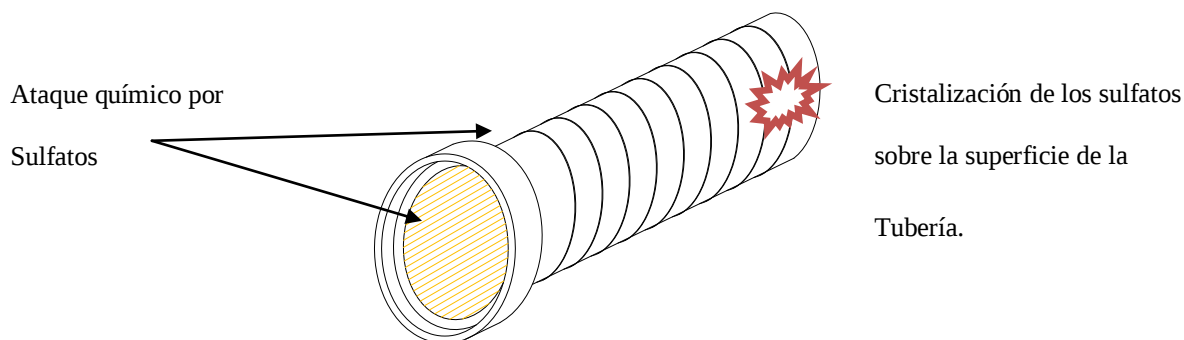
Se puede notar que la infiltración de agua es evidente y el composite que se diseño hace la diferencia en la prueba de permeabilidad.

El esquema de cómo queda la tubería al final se describe así:



Recubrimiento de composite resistente a la corrosión (capa de 0.5 cm)

Aproximadamente este es el espesor con el que se le da el acabado a la tubería, y por fuera solamente se queda la tubería como originalmente estaba, la idea es que al momento de probarla ante el ataque químico de sulfatos, se pueda afectar tanto en el interior de la tubería como en su exterior para que se vea la comparación entre lo que resiste el composite diseñado y la tubería.



Para la demostración de ataques químicos por sulfatos, es necesario colocar a la tubería en estas condiciones para poder observar la degradación del concreto y compararlo con la mezcla de composite diseñada. Para hacer la prueba es necesario destruir a la tubería para probarla por pedazos, y cada pedazo se someterá a estas pruebas.

Para hacer estas pruebas de una manera más demostrativa, se utilizaron los métodos descritos por las normas **ASTM: D5240-04** y **ASTM: C88-99a** donde el diseño de la mezcla agua-sulfatos es la referencia principal que se tomó en cuenta para ejecutar esta prueba.

La idea es mezclar totalmente las sales de sulfatos en el agua, hasta que se disuelva totalmente, para esto se recurre a un proceso de batido de agua con un aparato especial.

El proporcionamiento agua-sulfato que se usó es el siguiente:

Por cada kilogramo de agua se adicionan 350 gramos de sulfato de sodio anhidro, y en base a esta proporción se diseñan las mezclas para cantidad que se ocupan. Una vez pesada el agua y mezclada la primer cantidad de sulfato de sodio anhidro, se adicionan 50 gramos

cada 10 minutos de mezclado después la primer mezcla. Solo se vuelve a mezclar otros 50 gramos si la mezcla anterior se disolvió totalmente, la idea es hacer una mezcla sobresaturada de sulfato de sodio.

En la siguiente imagen se muestra el proceso de mezclado:



Figura 3.34.- Preparación de la solución química para la evaluación de la durabilidad.

La tubería se fracturó en varios pedazos para colocarlos en la mezcla de agua-sulfato de sodio anhidro. De todas las piezas que se obtuvieron, se seleccionan las más representativas y deben tener el tamaño ideal, tanto para colocarlos en el recipiente para saturarlos con la mezcla de agua-sulfato, como para poderlos meter al horno.

Este proceso se repite varias veces, es decir, primero se colocan las piezas seleccionadas en la mezcla de agua-sulfato, se dejan saturando las piezas por 24 horas, después se colocan en

el horno a una temperatura de 50 °C, y se dejan secando las piezas por 24 horas. Después de este proceso, se cumple el primer ciclo, después se repite el proceso para dar comienzo al segundo ciclo, se vuelven a colocar las piezas en la mezcla de sulfatos y se deja saturando por 24 horas, y después al horno y así se llevaran a cabo varios ciclos hasta que se destruyan por completo las piezas del tubo.



Figura 3.35.- Fragmentos del tubo-composite en proceso de prueba (ataque químico)

Para poder fragmentar el tubo, se corto uno de los extremos con la finalidad de retirar el tapón que tenía en el fondo de la cubeta donde se hicieron las pruebas de permeabilidad. En las siguientes imágenes se muestra este proceso:



Figura 3.36- Colocación del tubo en la cortadora



Figura 3.37- Corte del tubo (1)



Figura 3.38- Corte del tubo (2)



Figura 3.39- Fondo o tapón del tubo, vista completa



Figura 3.40- Parte del fondo o tapón del tubo



Figura 3.41- Parte del fondo o tapón del tubo midiendo el espesor del tubo



Figura 3.42- espesor de la tubería sin el tapón o fondo

Una vez fragmentada la tubería, se procede a seleccionar las piezas que se van a someter a las pruebas, para esto se hizo una recopilación de todas las piezas que son aceptables para dicha prueba y se les clasificó asignándoseles un código y pesándolas, con la finalidad de conocer sus pesos iniciales y ver cuánto peso van perdiendo conforme se van haciendo las pruebas de saturado y secado de las piezas por varios ciclos de pruebas. En cada ciclo de prueba se van determinando los nuevos pesos registrados y se hace la comparativa de cuanto peso pierden o ganan. En la siguiente tabla se muestran los pesos y códigos de todas las piezas aceptables para las pruebas:

Muestra	Yeso	Peso Inicial (gr)
M1SY	Sin yeso	629
M2SY	Sin yeso	1246
M3SY	Sin yeso	1387
M4SY	Sin yeso	672
M5SY	Sin yeso	1067
M6SY	Sin yeso	1288
M7SY	Sin yeso	1429
M8SY	Sin yeso	376
M9SY	Sin yeso	1006
M10SY	Sin yeso	1025
M1CY	Con yeso	1349
M2CY	Con yeso	1198
M3CY	Con yeso	1381
M4SCY	Con yeso	1425
M5CY	Con yeso	468
M6CY	Con yeso	1071
M7CY	Con yeso	992

Tabla 3.1- Piezas aceptables para pruebas

De estas piezas, se eligieron cuatro para realizar la prueba de sulfatos. Estas piezas son: M1SY, M4SY, M6SY, M9SY. A continuación se muestran las imágenes de dichas muestras:



Figura 3.43.- Composite sin ataque químico.

Estas piezas fueron las más indicadas para la prueba de sulfatos por su tamaño. Se provocó la degradación de estas piezas y en los resultados de esta prueba se demuestra como el diseño del composite para protección de tuberías a la corrosión es muy eficaz.

3.2.2.- ANÁLISIS POR SULFATOS.

Los resultados de estas pruebas están separados por ciclos de prueba, como ya se explicó anteriormente. Se tomó nota de los pesos que se registraban anteriormente y el peso final que obtenían dichas piezas sometidas a los ataques químicos por los sulfatos. A continuación se muestran las tablas de los resultados obtenidos con sus respectivos procedimientos de obtención de los datos.

Fechas: 13-sep-2010 – 15-sep-2010. Primer ciclo de pruebas

El 13 de septiembre se colocaron las piezas antes mencionadas en la mezcla de agua-sulfato para saturarlas, el 14 de septiembre se retiraron de la mezcla y se colocaron en el horno para iniciar el proceso de secado, y se retiraron del horno el 15 de septiembre, cumpliendo con 24 horas en cada paso, con esto se concluyó el primer ciclo y estos son los resultados:

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Observaciones
M6SY	1288	1339.04	Incremento del peso, posible adherencia de sulfatos
M9SY	1006	1041.05	Incremento del peso, posible adherencia de sulfatos
M1SY	629	643.33	Incremento del peso, posible adherencia de sulfatos
M4SY	672	689.86	Incremento del peso, posible adherencia de sulfatos

Tabla 3.2- Pruebas y resultados 1er ciclo

A continuación se observa el estado de las piezas de la tubería, después del primer ciclo:

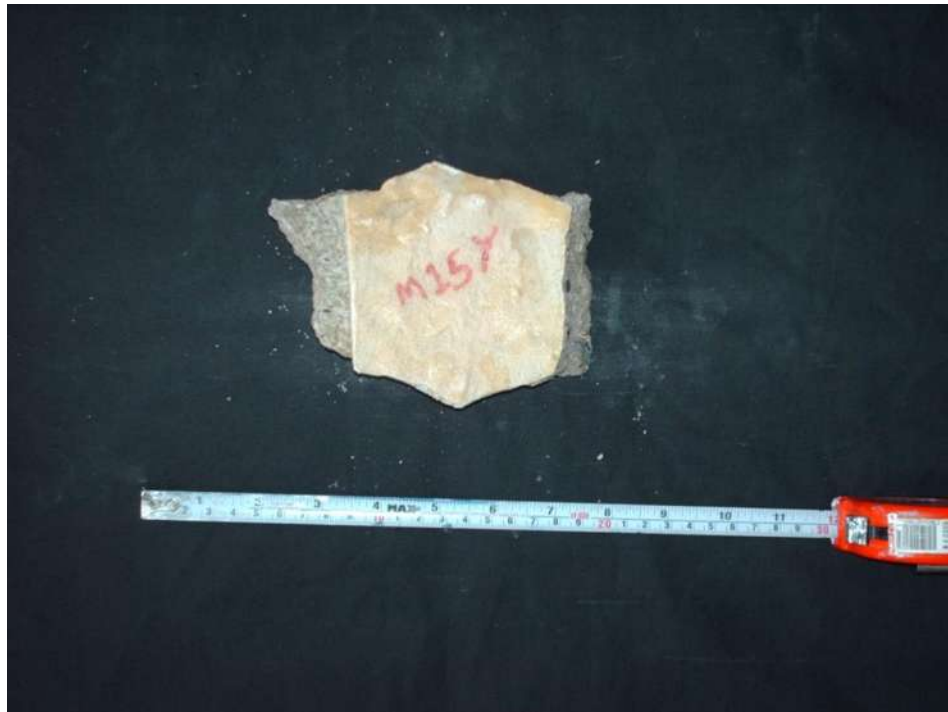


Figura 3.44.- Resultados 1er ciclo (1)



Figura 3.45.- Resultados 1er ciclo (2)



Figura 3.46.- Resultados 1er ciclo (3)

Fechas: 5-oct-2010 – 7-oct-2010. Segundo ciclo de pruebas

Continuando con este proceso, las piezas se colocaron en la mezcla de agua-sulfato el 5 de octubre. El 6 de octubre se retiraron y se colocaron en el horno, finalizando el segundo ciclo el 7 de octubre con el registro de pesos. En la tabla se muestran los nuevos pesos:

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Observaciones
M6SY	1339.04	1322	Decremento del peso, comienza degradación de tubería
M9SY	1041.05	1035	Decremento del peso, comienza degradación de tubería
M1SY	643.33	631	Decremento del peso, comienza degradación de tubería
M4SY	689.86	685	Decremento del peso, comienza degradación de tubería

Tabla 3.3- Pruebas y resultados 2do ciclo

A continuación se observa el estado de las piezas de la tubería, después del segundo ciclo:



Figura 3.47.- Resultados 2do ciclo (1)



Figura 3.48.- Resultados 2do ciclo (2)

Fechas: 9-oct-2010 – 11-oct-2010. Tercer ciclo de pruebas

Nuevamente se realizan los procedimientos antes realizados y cuando se obtienen los pesos finales del tercer ciclo, estos fueron los resultados:

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Observaciones
M6SY	1322	1324	Incremento del peso, posible adherencia de sulfatos
M9SY	1035	1044	Incremento del peso, posible adherencia de sulfatos
M1SY	631	626	Decremento del peso, comienza degradación de tubería. Se despegó el composite de la tubería
M4SY	685	688	Incremento del peso, posible adherencia de sulfatos. Se despegó el composite de la tubería

Tabla 3.4- Pruebas y resultados 3er ciclo

A continuación se observa el estado de las piezas de la tubería, después del tercer ciclo:



Figura 3.49.- Resultados 3er ciclo (1)



Figura 3.50.- Resultados 3er ciclo (2)

Fechas: 14-oct-2010 – 16-oct-2010. Cuarto ciclo de pruebas

Estos son los resultados para el cuarto ciclo:

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Observaciones
M6SY	1324	1324	El peso se mantiene, surgen cristales
M9SY	1044	1051	Incremento del peso, surgen cristales
M1SY	626	626	El peso se mantiene. Composite despegado de la tubería
M4SY	688	689	Incremento del peso, surgen cristales. Composite despegado de la tubería

Tabla 3.5- Pruebas y resultados 4to ciclo

A continuación se observa el estado de las piezas de la tubería, después del cuarto ciclo:



Figura 3.51.- Resultados 4to ciclo (1)



Figura 3.52.- Resultados 4to ciclo (2)



Figura 3.53.- Resultados 4to ciclo (3)

Fechas: 27-oct-2010 – 29-oct-2010. Quinto ciclo de pruebas

Estos son los resultados para el quinto ciclo:

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Observaciones
M6SY	1324	1261	Decremento del peso, surgen mas cristales
M9SY	1051	993	Decremento del peso, surgen mas cristales
M1SY	626	592	Decremento del peso, surgen cristales
M4SY	689	651	Decremento del peso, surgen mas cristales

Tabla 3.6- Pruebas y resultados 5to ciclo

A continuación se observa el estado de las piezas de la tubería, después del quinto ciclo:

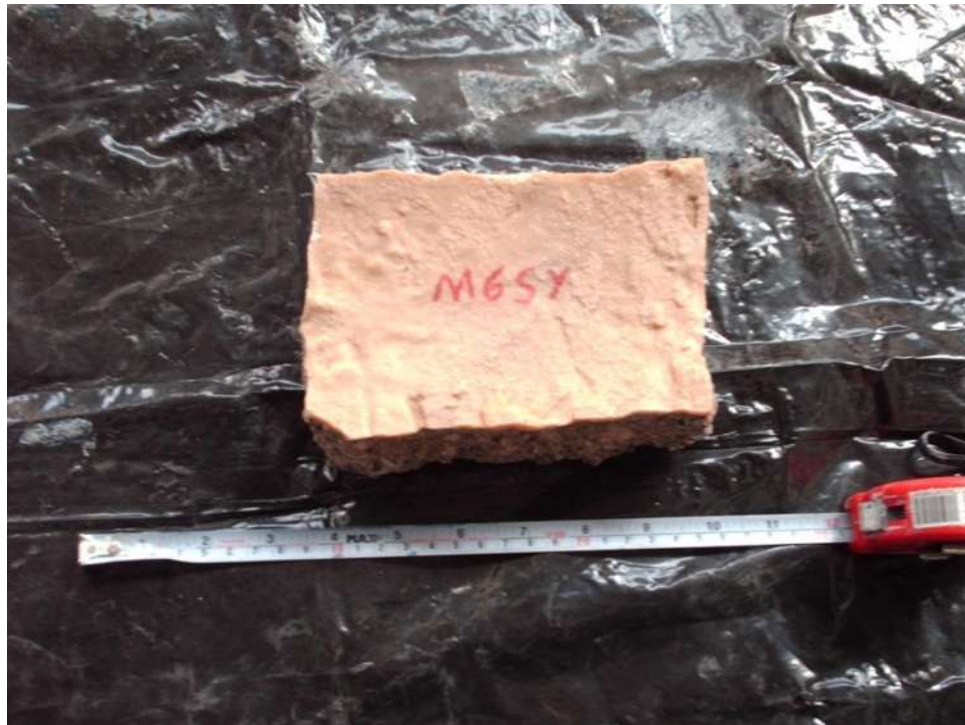


Figura 3.54.- Resultados 5to ciclo (1)



Figura 3.55.- Resultados 5to ciclo (2)



Figura 3.56.- Resultados 5to ciclo (3)

Fechas: 12-nov-2010 – 14-nov-2010. Sexto ciclo de pruebas

Estos son los resultados para el sexto ciclo:

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Observaciones
M6SY	1261	1255	Decremento del peso, surgen mas cristales
M9SY	993	987	Decremento del peso, surgen mas cristales
M1SY	592	584	Decremento del peso, surgen mas cristales
M4SY	651	649	Decremento del peso, surgen mas cristales

Tabla 3.7- Pruebas y resultados 6to ciclo

A continuación se observa el estado de las piezas de la tubería, después del sexto ciclo:



Figura 3.57.- Resultados 6to ciclo.

Se puede ver como el concreto sufre una destrucción total de su composición original, ya que el ataque de sulfatos tiene el efecto de cristalización antes mencionado y además, como ya se había dicho, la resistencia a la tensión del concreto es muchísimo menor a la resistencia a compresión, por lo que se ve como gradualmente se va desfragmentando la tubería. Pero si se observa el comportamiento que tiene el composite diseñado, este es mucho mejor, ya que se puede observar como no sufrió ninguna alteración en su composición estructural que tenía desde un principio, cuando se aplicó a la tubería, por lo que esta protección es bastante resistente a la degradación química y garantiza la total conservación del concreto cuando esté trabajando en condiciones agresivas.



CAPÍTULO IV:

DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN COMPOSITE TIPO SÁNDWICH PARA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS DE ACERO A PRESIÓN

CAPÍTULO 4.- DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN COMPOSITE TIPO SÁNDWICH PARA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS DE ACERO A PRESIÓN.

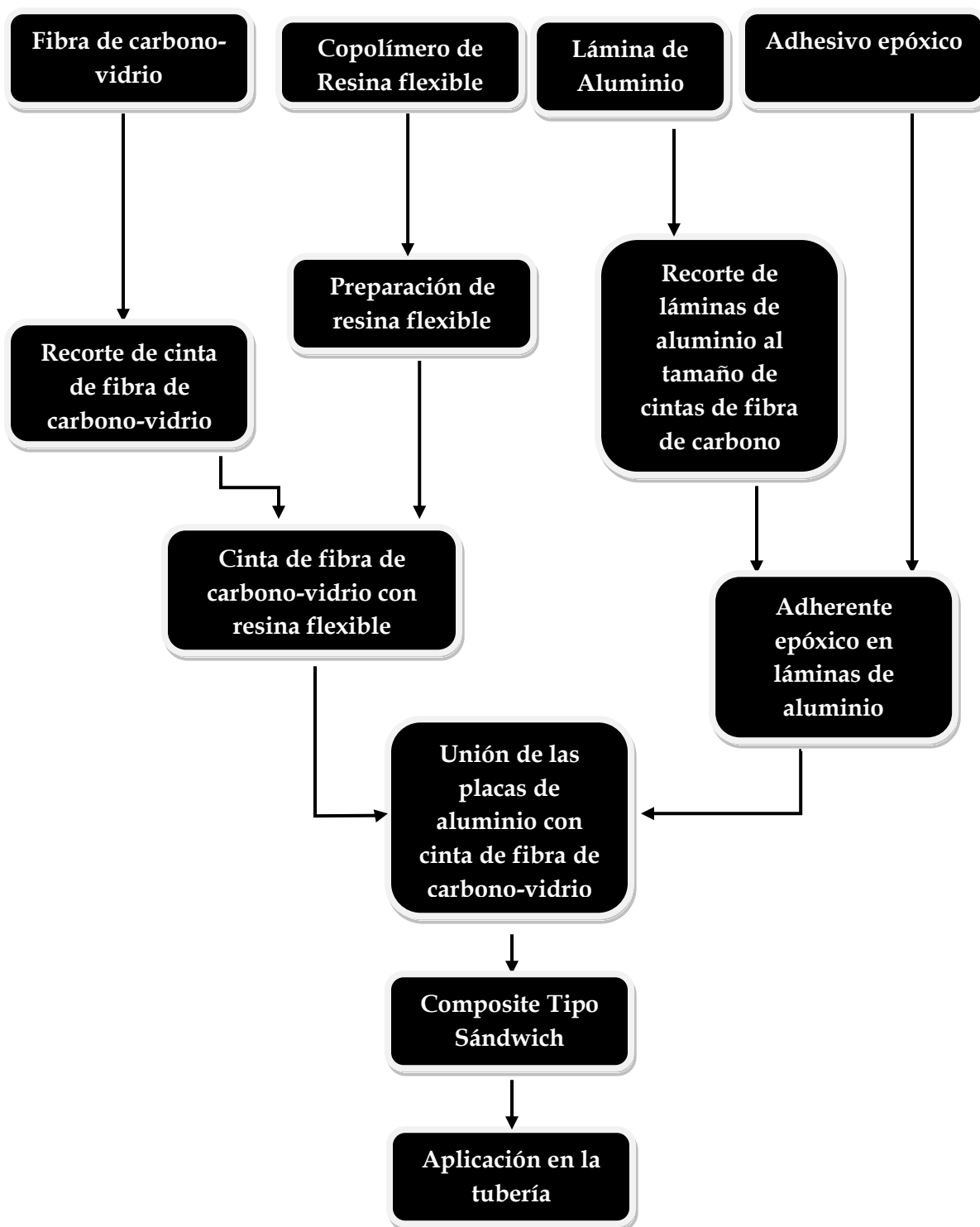
En este capítulo se describe a detalle el proceso de la preparación del “composite” tipo sándwich para la reparación de tuberías a presión. Este fue un proceso repetitivo, ya que cada prueba que se hizo tuvo el mismo procedimiento. Lo que realmente fue cambiando fue la forma de aplicar el adherente epóxico que era necesario para la unión correcta ente el acero y el aluminio que protege a la fibra de carbono, núcleo de resistencia del composite tipo sándwich diseñado.

El rehabilitar a las tuberías de acero, cuando estas están trabajando o están en uso, es un tanto complicado, ya que la presión a la que trabajan es bastante alta, y además el fluido que conducen es motivo de que la trabajabilidad para reparar a dicha tubería sea más complicada.

Esta propuesta de composite tipo sándwich eta pensada para que se repare de inmediato la zona donde está dañada dicha tubería, haciendo el trabajo de un “parche”, el pegado será fácil y rápido, y debe soportar la presión de trabajo del conducto.

4.1.- PROCESO EXPERIMENTAL DEL COMPOSITE TIPO SÁNDWICH PARA LA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS DE ACERO A PRESIÓN.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra como se fueron realizando los pasos para preparar y realizar este nuevo diseño. Cada componente de la fórmula tiene una participación impórtate y es necesario su cuidadosa realización de los pasos para el éxito total de esta fórmula, y la aplicación en la tubería es también bastante importante, de ahí depende mucho el éxito de la reparación de la tubería en su totalidad.



4.1.1.- FIBRA DE CARBONO-VIDRIO.

Estos dos tipos de fibras, como ya se había mencionado, cuentan con características bastante importantes, que por sí solas, pueden dar unos resultados en su aplicación bastante buena, pero la pregunta que surge es: ¿Qué pasaría si las combinamos?, la respuesta es sencilla, se mejorarían aún mas las características con las que ya cuentan, convirtiéndose esta combinación en un compuesto bastante interesante.

La resistencia a la tensión de estas fibras es bastante buena, de hecho es para lo que fueron creadas, y en combinación, es aún mejor. En el diseño de esta composite tipo sándwich, el núcleo principal resistente de este son las fibras de carbono-vidrio, así que es el material con el que se debe de contar indiscutiblemente para la elaboración de este composite.

4.1.2.- COPOLÍMERO DE RESINA FLEXIBLE.

La resina flexible es primordial en este composite tipo sándwich, su papel es importante, de este componente depende la salud mucha gente, ya que las fibras de carbono y las fibras de vidrio son muy volátiles, y son de dimensiones muy pequeñas, tan pequeñas que pueden incrustarse en el cuerpo humano con bastante facilidad, y para retirar dichas fibras, son necesarias las intervenciones medicas.

La función principal de la resina flexible es retener y cubrir a las cintas de fibra de vidrio y de carbono, para que no se desprendan partículas tanto al exterior como al interior de la tubería en reparación, y así proteger la salud de la gente que queda expuesta a estas fibras.

4.1.3.- LÁMINA DE ALUMINIO.

La aportación de este componente en la fórmula no va en el sentido de brindar más resistencia, sino mas bien, de dar protección a las fibras para que estas no sufran algún daño por estar expuestas al sol o también a los agentes externos que se puedan encontrar en la tierra, cuando la tubería vuelva a ser enterrada al momento de habersele reparado, ya que la resina flexible por sí sola no le aporta ninguna protección adicional por agentes externos.

4.1.4.- ADHESIVO EPÓXICO.

Durante el desarrollo de este composite, el adherente epóxico fue un problema, por fue un tanto complicado lograr una adhesión correcta entre el aluminio y la tubería de acero, pero al final de tantas pruebas, se logró encontrar el adhesivo epóxico que cumplía con estos requisitos.

Estas son las imágenes correspondientes al adhesivo epóxico que funcionó:

4.1.5.- RECORTE DE CINTA DE FIBRA DE CARBONO-VIDRIO.

Como la forma que tiene este tipo de composite diseñado es la de tiras de aproximadamente 1.5 veces el diámetro de la tubería en la que se aplica, depende mucho de la tubería misma la longitud que va a tomar, pero tiene un ancho de aproximadamente 15 cm, eso no varía mucho, ya que la finalidad de este composite tipo sándwich es hacer la función de un parche, para la perforación que haya sufrido la tubería en reparación.

Es por esto que tanto la fibra de carbono como la fibra de vidrio es necesario recortarlas en tiras de aproximadamente 15 cm de espesor y la longitud es variable.

4.1.6.- PREPARACIÓN DE RESINA FLEXIBLE.

Al igual que el Polifumarato Bisfenólico, la resina flexible requiere de aceleradores y catalizadores para que esta empiece a gelificarse. Así que la preparación consiste en hacer las mediciones respectivas de las fórmulas que provocan la polimerización y una vez pesados los componentes, se procede a agregarlos a la resina y empezar a aplicarlos en la fibra de carbono y también la fibra de vidrio.

4.1.7.- RECORTE DE LÁMINAS DE ALUMINIO AL TAMAÑO DE CINTAS DE FIBRA DE CARBONO.

Este paso es relativamente fácil, ya que solo en las placas hay que hacer el trazo del tamaño que tienen las cintas de fibra de carbono-vidrio. El recorte se realiza con tijeras para cortar aluminio.

4.1.8.- CINTA DE FIBRA DE CARBONO-VIDRIO CON RESINA FLEXIBLE.

La aplicación de la resina flexible a las cintas de fibra de carbono y de vidrio no es un proceso complejo, pero si hay que cuidar que no queden burbujas de aire atrapado, ya que se corre el riesgo de que las fibras de carbono o de vidrio volatilicen por que la resina flexible no logra sujetarlas a causa la burbuja de aire atrapado.

4.1.9.- ADHERENTE EPÓXICO EN LÁMINAS DE ALUMINIO.

En este paso, la idea es colocar y distribuir uniformemente el adhesivo epóxico sobre la lámina de aluminio ya cortada, para que se coloque encima las cintas de fibra de carbono y vidrio.

4.1.10.- UNIÓN DE LAS PLACAS DE ALUMINIO CON CINTA DE FIBRA DE CARBONO-VIDRIO. COMPOSITE TIPO SÁNDWICH.

Como ya se esparció el adherente epóxico por toda la superficie de la lamina de aluminio, solo hay que colocar encima de esta, las cintas de fibra de carbono y de vidrio, para esto, debe estar preparada la otra lamina de aluminio con el adherente para colocarlo encima de las fibras de carbono y vidrio para completar la composición del sándwich en su totalidad.

COMPOSITE TIPO SANDWICH

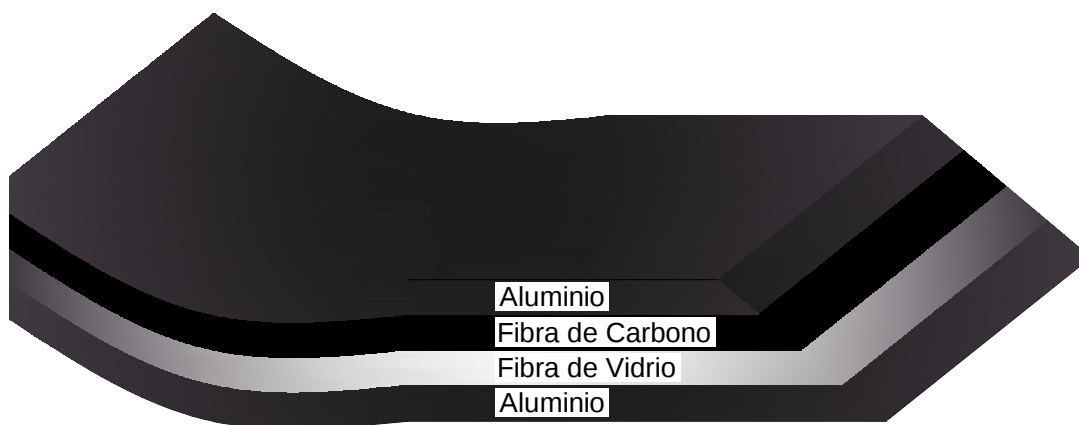


Figura 4.1.- Esquema de materiales del composite.

En las siguientes imágenes se muestra el composite tipo sándwich:

4.1.11.- APLICACIÓN EN LA TUBERÍA.

Para aplicar el composite tipo sándwich a la tubería, es necesario el adhesivo epóxico ideal para que se adhiera el aluminio y el acero de la tubería, para lograr la reparación total de la tubería.

En las siguientes imágenes se muestra la aplicación del composite tipo sándwich en la tubería:

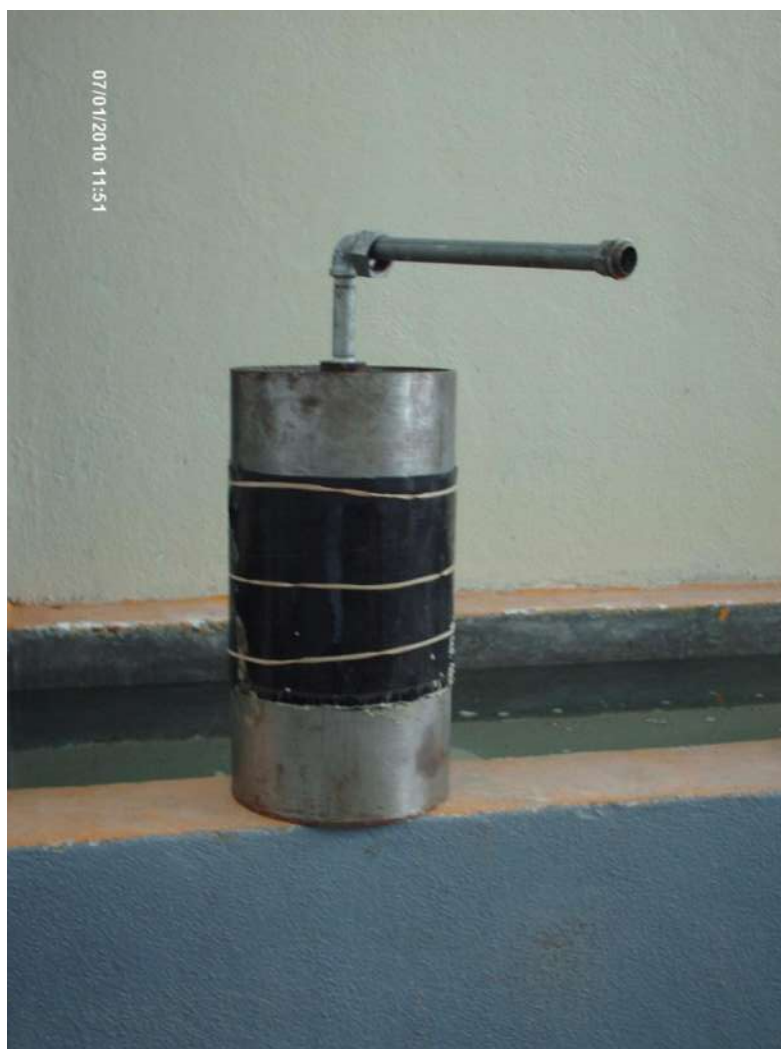


Figura 4.2- Aplicación de la cinta de fibra de carbono (antes del composite)

4.2.- PROCEDIMIENTOS DE LAS PRUEBAS.

Como este composite tipo sándwich está diseñado para la reparación de tuberías a presión, se requiere de una tubería que esté sometida a presiones altas para comprobar la resistencia de este composite diseñado. Las tuberías de acero son las que están sometidas a las presiones mas criticas, ya que este material es bastante resistente. Las tuberías de acero se diseñan para conducir diferentes tipos de fluidos, en este caso solo se diseño el composite tipo sándwich para la reparación de tuberías que conducen agua potable. Es por eso que se debe tener cuidado en los procedimientos de fabricación de este composite, ya que si se descuida cualquier detalle, se corre el riesgo de dañar la salud de los usuarios que están directamente relacionados con la tubería que se reparó de esta forma.

Se utilizó un tramo de tubo de aproximadamente 60 centímetros de 10 pulgadas de diámetro nominal, en la cual se le hicieron dos perforaciones, de aproximadamente 1 pulgada de diámetro, esto para simular la tubería dañada a reparar con este composite tipo sándwich.

A continuación se muestra dicha tubería:



Figura 4.3- Tubo para pruebas de presión hidrostática, con dos agujeros simulando la tubería dañada

Primeramente, se debe tener listo el composite tipo sándwich (la combinación de las fibras con el aluminio), y una vez que ya está listo este paso, se le coloca el adhesivo epóxico que puede pegar al acero y el aluminio que cubre al composite, rodeando por completo a la tubería. Como la longitud del composite diseñado debe de ser aproximadamente de 1.5 veces el diámetro del tubo, se espera que se le dé una vuelta completa al tubo con el sándwich, y aparte media vuelta mas, donde esta queda traslapada y se le coloca el adhesivo epóxico también en esta zona de traslape, obteniendo una adherencia entre placas de aluminios. Lo anteriormente explicado se puede observar en las imágenes siguientes:



Figura 4.4.- Colocación del adherente para pegar la placa de aluminio sobre la fibra de carbono-vidrio.



Figura 4.5.- Tubería reparada con composite tipo sándwich

Una vez que se logró colocar el sándwich, solo queda aplicarle presión a la tubería para poder ver si la reparación fue exitosa. Para lograr hacer trabajar a la tubería a la presión deseada, se utiliza una bomba manual, la cual ingresa agua al tramo de tubería, y al momento de que se llena el tubo, se sigue bombeando para que empiece a marcar la presión el manómetro. La idea es que se alcancen las altas presiones a las que trabajan las tuberías que conducen agua, para evaluar la resistencia del composite tipo sándwich.

Cabe mencionar que se hicieron dos pruebas diferentes, donde la primer prueba sirvió para definir la composición final del composite tipo sándwich, ya que esta primer prueba falló. La composición del primer diseño es el siguiente:

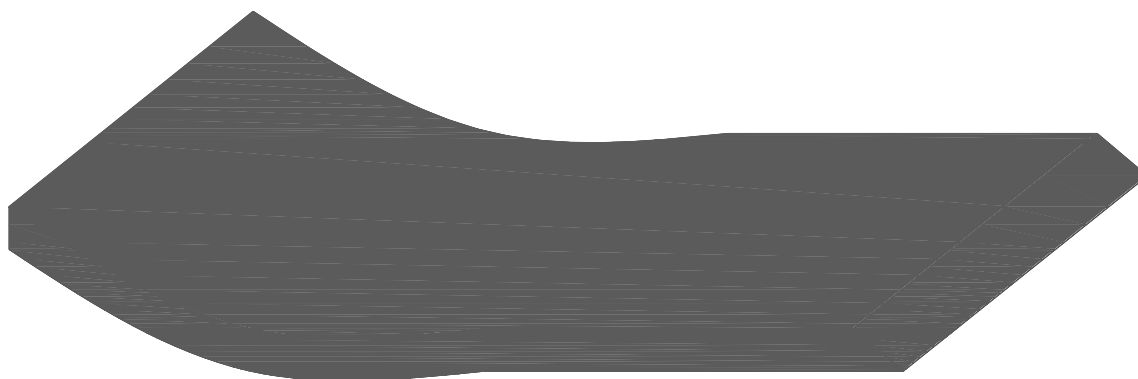


Figura 4.6.- Esquema de primer diseño (tela de fibra de carbono cubierto con resina flexible)

Se pudo observar que el diseño solo consiste de la fibra de carbono protegida con la resina flexible para que se queden fijas las fibras y no ingresen en el interior de la tubería. Cabe mencionar que este primer diseño no se puede considerar un composite tipo sándwich porque solo está compuesto de fibra de carbono, no hay combinación de materiales, por lo tanto no se considera un compuesto, a pesar de que si se combinaron dos materiales distintos (la resina flexible y la fibra de carbono), pero aún así, no entraría dentro de la definición de composite. Además la tubería en la que se iban a realizar las pruebas hidrostáticas está contaminada de cierta manera con la pintura que tiene alrededor. Solo

se limpio la zona donde se iba a procurar realizar la reparación con la cinta de fibra de carbono.

En las siguientes imágenes se muestran el procedimiento de esta primer prueba:



Figura 4.7.- preparación de tubería para prueba hidrostática con el primer diseño



Figura 4.8.- tubería reparada con primer diseño instalada para comenzar la prueba de presión hidrostática

A continuación se muestran las imágenes que demuestran la segunda y definitiva prueba:



Figura 4.9.- Instalación de tubería reparada con composite tipo sándwich para prueba hidrostática

Después de haber acomodado la tubería en la bomba, lo que sigue es aplicarle presión, para ver la resistencia que puede lograr el composite tipo sándwich, en el siguiente capítulo se puede ver el resultado que arrojaron las dos pruebas antes mencionadas.



CAPÍTULO V:

EVALUACIÓN A PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE TUBERÍAS DE ACERO REHABILITADAS CON COMPOSITES TIPO SÁNDWICH

CAPÍTULO 5.- EVALUACIÓN A PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE TUBERÍAS DE ACERO REHABILITADAS CON COMPOSITES TIPO SÁNDWICH.

Para evaluar la presión hidrostática en la tubería reparada con este composite, se usó la norma que evalúa dicho caso.

5.1.- PRUEBA HIDROSTÁTICA DE TUBERÍA DE ACERO.

Por prueba hidrostática de la tubería de acero, se entenderá a todas las maniobras que se realicen en un tramo de línea de conducción para probar la tubería mediante inyección de agua a presión hasta la indicada en el proyecto.

La tubería se llenará lentamente de agua y se purgará al aire atrapado, mediante la inserción de válvulas de admisión y expulsión de aire en la parte más alta de la tubería, una vez que haya escapado el aire se procederá a cerrar las válvulas de admisión y expulsión de aire, y se aplicará la presión de prueba mediante una bomba adecuada de alta presión que se conectará a la tubería. Una vez alcanzada la presión de prueba se sostendrá ésta continuamente durante el tiempo necesario para revisar cada tubo, las juntas, válvulas y piezas especiales a fin de localizar posibles fugas, las cuales no deberán existir a lo largo de la línea.

En el caso de que las fallas o fugas se deban al junteo de mala calidad en las tuberías y a la mala calidad y/o colocación de los empaques de las juntas bridadas, estas serán reparadas, suministradas e instaladas por el contratista no recibiendo compensación alguna.

El seccionamiento de cada tramo se llevará a cabo a través de tapones de prueba o válvulas de seccionamiento que estarán ubicados en función de las condiciones topográficas o de acuerdo a las indicaciones de la Residencia.

En caso de que se requiera atraques u obras de apoyo para prueba hidrostática, éstos deberán ser contruidos por el Contratista, suministrando todos los materiales para ello hasta el lugar de su utilización, asimismo, el Contratista está obligado a demolerlos y retirar todos los materiales resultantes de dicha demolición.

La Comisión proporcionará al Contratista el o los sitios de la fuente de abastecimiento de agua para la prueba de la tubería, quedando a cargo del Contratista el bombeo. ^[17]

5.2.- RESULTADOS.

Como ya se mencionó anteriormente, la prueba hidrostática se realizó dos veces, donde primero se probó una cinta de fibra de carbono protegida con resina flexible y después se trabajó con el diseño definitivo del composite tipo sándwich.

Realizar la primera prueba, fue de gran ayuda, porque ayudó a determinar la presión tan baja a la que llega a fallar la fibra de carbono, cuando la manera de pegar el composite en la tubería no es la adecuada.

A continuación se muestra la imagen de la falla de la primera prueba, en el momento en que el agua se empieza a fugar:



Figura 5.1.- Falla de la primera prueba, fuga de agua a una presión de trabajo baja

Como la resistencia de la tubería a las presiones es bastante elevada, es necesario que la reparación que se va a aplicar a dicha tubería soporte de manera aproximada dichas presiones. En la prueba anterior se demuestra que la fibra de carbono por sí sola no soporta la presión, y no es que haya fallado estructuralmente o mecánicamente, simplemente, fue la manera de cómo se adhirió la tubería a la fibra de carbono mediante el adherente epóxico. Lo que sucedió fue que el agua se fugó por los orificios y encontró espacios entre las zonas donde el adherente epóxico no logro buena unión y con la presión que se alcanzó, falló la reparación, tirándose el agua como se mostró en la imagen anterior.

La presión hidrostática que soportó la reparación con fibra de carbono, fue de aproximadamente 20 metros columna de agua, esto quiere decir que la tubería trabajando a 2 kg/cm^2 de presión (una presión de trabajo no muy alta para las tuberías de acero) fue suficiente para lograr hacer fallar la reparación hecha en dicha tubería. Como se mencionó anteriormente, la falla por la mala adherencia de la fibra con la tubería, fue la evidente causa de que la reparación no fuera exitosa.

Con esto se retomo el diseño y fue que se opto un composite tipo sándwich donde, además de mejorar la protección de la fibra de carbono, se mejoró la resistencia de este compuesto con fibra de vidrio y además, se favoreció la forma de aplicar el adherente para evitar el defecto que se obtuvo en el primer intento.



Figura 5.2.- Falla de reparación de la tubería por presiones de trabajo altas.

En la imagen anterior se puede ver como el agua está saliendo por la parte superior de el composite tipo sándwich, sin que se haya roto o fallado mecánicamente dicho composite, lo que quiere decir que el resultado de esta prueba fue aproximadamente igual al de la primer prueba, ya que la aplicación del adherente epóxico fue la clave para que el agua encontrara espacios de mala unión entre el aluminio y el tubo de acero y así, gracias a la presión hidrostática a la que estaba sometida la tubería, el agua se fugara y fallara la reparación de dicha tubería con el composite tipo sándwich diseñado para la segunda prueba.

La diferencia que hubo entre la falla de la primer prueba con respecto de la segunda, fue que, en esta segunda prueba, el composite tipo sándwich soportó una presión de trabajo muchísimo más alta que la prueba anterior, lo cual hace que se concluya que este tipo de reparación es exitosa y es aplicable para la práctica profesional, cuando se requiera de este tipo de solución rápida y directa.

Cabe mencionar que la resistencia a la presión hidrostática que soportó esta reparación fue de entre 50 a 100 metros columna de agua ó de 5 a 10 kg/cm² de presión, una presión bastante alta y común en las tuberías de acero.

Como se mencionó anteriormente, el composite tipo sándwich no falló por qué no soportara la alta presión de trabajo, sino más bien por la aplicación del adherente epóxico, lo que quiere decir que este composite puede aguantar mucha más presión de trabajo, ya que como se vio en capítulos anteriores, la fibra de carbono tiene una resistencia a la tensión bastante alta, incluso mayor que el acero. Lo que se logró demostrar con esta segunda prueba fue que el aluminio que se colocó de protección en el composite mejoró la adherencia entre el acero y el epóxico.



CAPÍTULO VI:

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES.

1. Por medio del presente trabajo de investigación se pudo proponer dos nuevas soluciones para tuberías de concreto y tuberías de acero. En las tuberías de concreto se propuso incrementar la durabilidad de las mismas utilizando un recubrimiento polimérico formando un composite concreto de cemento portland y concreto polimérico. La segunda propuesta se enfoca a la rehabilitación de tuberías de acero a presión utilizando material compuestos fibroreforzados.
2. En relación a la tubería de concreto para alcantarillado sanitario, la presente propuesta brinda una nueva ventaja competitiva en relación a las tuberías sanitarias de plástico, las cuales están reduciendo la venta y comercialización de éste tipo de productos al ser más resistentes las tuberías plásticas a productos químicos y son materiales de baja a nula absorción de agua. Los resultados obtenidos en la presente tesis muestran que un recubrimiento polimérico resistente a productos químicos además de sellar la porosidad del concreto hidráulico estándar, incrementa su resistencia química, disminuye considerablemente su permeabilidad y las fugas al terreno natural disminuyendo la contaminación de los suelos y los niveles freáticos del agua subterránea, adicionalmente mejora su resistencia mecánica a compresión simple. La presente propuesta es comercialmente viable, no requiere de infraestructura especializada ó de personal calificado para su elaboración.
3. Con la presente tecnología desarrollada se pretende dar una ventaja competitiva comercial a los empresarios e industriales de tuberías de concreto hidráulico prefabricada y se aplica con mayor ventaja a tuberías de concreto de diámetros mayores a 6 pulgadas.
4. En relación a la innovación en sistemas composite para rehabilitación de tuberías de acero a presión se obtuvieron resultados satisfactorios al obtener resistencias a presión hidrostática entre 50 y 100 kg/cm² (50 a 100 m columna de agua) lo cual brinda nuevas posibilidades de reparaciones rápidas y eficientes en las redes de distribución principales de agua potable y en una jornada de 8 h o en menor tiempo dependiendo de la temperatura y humedad ambiental.
5. Se recomienda continuar con estudios de investigación en el tema para determinar con mayor precisión las composiciones, configuraciones y sistemas hidráulicos y sanitarios más eficientes por medio del uso de materiales compuestos ó composites.



CAPÍTULO VII:

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS Y

ELECTRÓNICAS

CAPITULO 7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS.

Referencias electrónicas:

[1] Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>

Consultada el día: 12/05/2011

[2] http://manualidades.webcindario.com/los_materiales/marmolina.htm

Consultada el día: 12/05/2011

[3] http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_carbono

Consultada el día: 12/05/2011

[4] http://es.wikipedia.org/wiki/Resina_epoxi

Consultada el día: 12/05/2011

[5] Los composites-Informes de la construcción, Vol. 54, n° 484, marzo-abril 2003

Consultada el día: 12/05/2011

[6] http://www.villamarinmobiliario.cl/vista_noticias.php?not=73

Consultada el día: 12/09/2011

[7] www.metalactual.com

Consultada el día: 15/07/2011

[8] www.vemacero.com

Consultada el día: 12/09/2011

[9] http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_vidrio

Consultada el día: 10/08/2011

[10] <http://pr83.quiminet.com/Marmolina%2Bgrano%2B1.htm#info>

Consultada el día: 12/09/2011

[11] <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/16574-La-fibra-de-carbono-un-material-para-el-siglo-21.html>

Consultada el día: 10/08/2011

[12] http://colombia.acambiode.com/producto/fotos_perfileria-arquitectonica-de-aluminio-y-laminas-de-aluminio-liso-y-alfajor_152029

Consultada el día: 12/09/2011

[13] http://www.quiminet.com/pr6/Lamina%2Bde%2Baluminio.htm#t_prov

Consultada el día: 12/09/2011

[14] http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-64042691-resina-poliester-cristal-para-llaveros-y-diges-_JM

Consultada el día: 12/09/2011

[15] <http://spanish.alibaba.com/product-gs/epoxy-resin-sn-10-257224246.html>

Consultada el día: 12/09/2011

[16] <http://www.ipipsa.com.ar/resinasanticorrosivas-0.htm>

Consultada el día: 11/08/2011

[17] **Especificaciones generales para la construcción de sistemas de agua potable y alcantarillado. Comisión Nacional del Agua. Ed. 1993**

[18] http://www.holcimnews.cr/servicio/Catalogo_Tubos.pdf

Consultada el día: **06/09/2011**

[19] <http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=100&fdname=IRON+AND+STEEL&pagename=Planta+de+produccion+de+tubos+de+acero+inoxidable>

Consultada el día: **12/09/2011**

[20] <http://www.elese.cl/aplicaciones-especificas/tuberias.html>

Consultada el día: **12/09/2011**

[21] <http://polyken.com.mx/>

Consultada el día: **12/09/2011**

[22] <http://www.o-tek.com/rehabilitacion.asp>

Consultada el día: **06/11/2011**

[23] http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/flujoentuberias/corrosionentuberias_hidraulicas/corrosionentuberias_hidraulicas.html

Consultada el día: **06/11/2011**

[24] Imágenes satelitales del programa Google Earth.

Consultada el día: **12/11/2011**

Referencias bibliográficas:

[A] Ciencia e Ingeniería de materiales. William F. Smith. Editorial: Mc Graw Hill. Edición 2004.

[B] Abastecimiento de agua potable. Volumen 1. Enrique César Valdez. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma Nacional de México. Cuarta edición: enero de 1994.

[C] Especificaciones generales y técnicas de construcción de sistemas de agua potable y alcantarillado. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. Edición 1982.

[D] Información estadística proporcionada por las oficinas de operación y distribución del OOAPAS (Organismo Operador de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Morelia Michoacán)