



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
*ZARAGOZA***

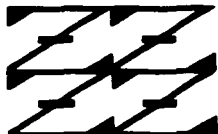
**ESTUDIO DE MATERIALES
ALTERNATIVOS AL ACERO AL CARBÓN, PARA
EVITAR LA CORROSIÓN EN SISTEMAS DE TUBERÍAS
DE REDES DE AGUA CONTRA INCENDIO EN UNA
PLATAFORMA MARINA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A :

JANETE LÓPEZ MENDOZA

ASESOR: I.Q.I. CARLOS GALVEZ RAMIREZ



**LO HUMANO EJE
DE NUESTRA REFLEXION**

MÉXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/082/02

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: LOPEZ MENDOZA JANETE

P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	I.Q. Miguel José Flores Galaz
Vocal:	I.Q.I. Carlos Galvez Ramírez
Secretario:	I.Q. René de la Mora Medina
Suplente:	I.Q. Hugo Héctor Martínez Rojas
Suplente:	I.Q. Ana Lilia Maldonado Arellano

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

México, D. F., 16 de Octubre de 2002

EL JEFE DE LA CARRERA

**ZARAGOZA,
INGENIERIA QUIMICA,
SECRETARIA TECNICA**

M. en C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

AGRADECIMIENTOS

A mis errores, por aprender de ellos

A mis padres:

Monica Mendoza

Juan López Reyes

Por su paciencia y apoyo en mis ideas

A mis hermanas:

Anabel

Alina

Joanna

Por ayudarme a comprender que no todo es perfecto

A mis amigos:

Que no necesito mencionar siempre los tengo presentes, ellos me han brindado su ayuda y su comprensión, ellos son como tréboles de cuatro hojas, difíciles de encontrar y una gran suerte tenerlos.

A mi asesor:

El Ing. Carlos Gálvez Ramírez del Instituto Mexicano del Petróleo que me dedico su tiempo y su experiencia para realizar este trabajo

A la FES Zaragoza donde pase parte de mi vida y aprendí muchas cosas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Todo mundo se Equivoca

*Los que triunfan no son los que se equivocan,
sino los que aprenden de sus errores;
haciendo errores es casi la única manera
de aprender algo.*

*Los que fracasan son aquellos
que se desaniman por sus errores.
de nada sirve desesperarnos o llorar.
Progresamos sencillamente por vigilar
nuestros errores y corregirlos.*

*Andar es nada más una sucesión de caídas.
Si caemos, caigamos hacia delante
y después levantémonos
y probemos otra vez.*

FRANK CRANE

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
I.- GENERALIDADES	
1.1 Plataformas marinas	4
1.2 Incendios en plataformas marinas	8
1.2.1 El fuego	8
1.2.1.1 Agentes extintores	10
1.2.2 Sistema de agua contra incendio	11
1.2.3 Corrosión	14
II.- MATERIALES PARA EL SISTEMA DE TUBERÍAS DE AGUA CONTRA INCENDIO	
2.1 Hierros colados	22
2.2 Acero	23
2.2.1 Aceros al carbón	24
2.2.1.1 Tratamiento térmico	24
2.2.1.2 Recubrimientos metálicos	25
2.2.2 Aceros inoxidables	27
2.2.2.1 Ferríticos	28
2.2.2.2 Austeníticos	29
2.2.2.3 Martensíticos	29
2.2.2.4 Otros	29
2.3 Polímeros	33
2.3.1 Propiedades	37
2.3.1.1 Resistencia a disolventes	38
2.3.1.2 Resistencia a la intemperie	39
2.3.1.3 Fragilidad	40
2.3.1.4 Tipos de degradación	40
2.4 Materiales compuestos	41
2.4.1 Resinas termoestables	42
2.4.2 Fibras	43
2.4.2.1 Fibras de carbón	43
2.4.2.2 Kevlar	44
2.4.2.3 Fibra de vidrio	45
2.4.3 Fabricación	46

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4.4 Fibra de vidrio/resina epoxi	48
III.- HIDRAÚLICA DE TUBERÍAS	
3.1 Flujo de agua	52
3.2 Cálculo del factor de fricción	53
3.3 Pérdida de carga en tuberías	55
3.4 Velocidad de flujo	56
3.5 Diámetros de la tubería	58
3.6 Accesorios para unir tuberías	60
3.6.1 Adhesivos	61
IV.- NORMATIVIDAD	
4.1 ASTM	64
4.2 ASME	65
4.3 API	65
4.4 AWWA	65
4.5 ISA	66
4.6 BOCA	66
4.7 PPI	66
4.8 NFPA	67
4.9 Normatividad aplicada a los sistemas contra incendio	67
4.10 Normatividad aplicada a la tubería de fibra de vidrio	69
V.- ANÁLISIS DE LOS MATERIALES	
5.1 Acero	72
5.2 Acero galvanizado	74
5.3 Acero inoxidable	76
5.4 Fibra de vidrio/resina epoxi	78
5.5 Costos	81
CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFIA	86

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

RESUMEN

De acuerdo con la última clasificación de América Economía (Julio 27 de 2000) sobre las empresas más importantes de Latinoamérica, las tres primeras son del sector petrolero. En orden descendente y de acuerdo con sus ventas anuales en 1999, las empresas latinas más grandes son PEMEX de México, PDVSA de Venezuela y PetroBras de Brasil. Los precios del barril de petróleo, principal indicador económico de este sector han venido mostrando índices históricamente altos, desde mediados de 1998 el precio del crudo ha sobrepasado US\$20/barril y cierra el año 2002 con precios cercanos a US\$29.97/barril, las empresas petroleras que en muchos casos son estatales, proveen fondos importantes en un porcentaje desproporcionado al presupuesto de los gobiernos nacionales. De ahí que estas empresas sean "motores" de la economía de los países mencionados, por lo que su operación segura y continua es de importancia nacional.

No es entonces una sorpresa el hecho que muchas de estas corporaciones petroleras destinen importantes sumas de dinero para su protección contra incendios y seguridad. Siempre ha sido una preocupación el tener las instalaciones en perfectas condiciones, un buen funcionamiento y como proponer soluciones efectivas para mantenerlas así a un costo razonable.

Los sistemas de seguridad ayudan a salvaguardar la integridad física del personal, evitan daños a los equipos, al medio ambiente y áreas circunvecinas de una instalación, permitiendo la detección oportuna de los riesgos inherentes en todas las áreas.

En una plataforma marina el sistema de tuberías de agua contra incendio utiliza agua de mar que es altamente corrosiva, por eso la selección del material para dicho sistema es un proceso en el cuál se requiere que el material seleccionado cumpla con ciertos requisitos tales como: si va a resistir las condiciones a las que se va a someter, el costo, así como el cumplimiento de normas y códigos establecidos por la ASME, ASTM, NFPA y API por mencionar algunas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las exigencias que la industria petrolera plantea con respecto a los materiales son muy grandes, es fácil comprender que no puede pensarse en un material universal y que una finalidad determinada sólo puede alcanzarse disponiendo de una multiplicidad de materiales o bien el adaptar los ya existentes para las condiciones que se requieren. Por consiguiente, es esencial tener conocimientos sobre las características y el comportamiento general de los materiales cuando transportan ciertos fluidos, como el agua de mar.

El objetivo de este trabajo es el análisis de varios materiales alternativos para las tuberías de acero al carbón, para solucionar un problema real que se tiene en las instalaciones marítimas de PEMEX: la corrosión de tuberías de acero al carbón que conducen agua de mar utilizadas en el sistema contra incendio.

Entre las principales problemáticas que presentan estas tuberías están:

- La corrosión debida al agua de mar, además de existir taponamiento de los aspersores
- La ineficiencia en el transporte para el agua de mar
- La sustitución con frecuencia de las tuberías
- El incremento del riesgo para las instalaciones así como para el personal que las opera

Todas estas se abordarán en el desarrollo de este trabajo y se propondrán alternativas de solución en cada caso.

INTRODUCCIÓN

El hombre en su afán de lograr mejores condiciones de vida ha usado constantemente su ingenio durante su larga historia, para lograrlo ha hecho uso de materiales que ahora forman parte de la vida cotidiana e inevitablemente se ha creado una dependencia tal que sería imposible hablar del desarrollo y avance de la civilización moderna sin la utilización de dichos materiales.

Las instalaciones de la Industria Química están constituidas de diversos materiales metálicos; grandes reactores donde ocurren transformaciones, tuberías que transportan materias primas, productos o algún otro fluido de utilidad, tanques de almacenamiento y bombas entre otros. Por todo esto se puede decir que se vive en una civilización basada en el metal y que por lo tanto se requiere que los materiales metálicos en los cuales está basada dicha civilización industrial sean estables en el medio o que al menos duren en uso varios años.

Las plataformas marinas de PEMEX-Exploración-Perforación (PEP) deben contar con una red de tubería que forme un anillo en la plataforma para conducir exclusivamente agua contra incendio, cuya finalidad es suministrar a los siguientes equipos: hidrantes, hidrantes-monitor, sistemas de aspersión y otros dispositivos mediante un sistema automático de bombeo, de manera que el sistema esté disponible las 24hrs. del día para cualquier evento no deseado. En la tubería del sistema de red de agua contra incendio se emplea agua de mar y los materiales para su construcción deberán tener alta resistencia a la corrosión.

En el capítulo I se da una introducción de las plataformas marinas, el sistema de seguridad y la corrosión que es el problema que se quiere evitar, mientras que en el capítulo II se detallan los materiales de construcción que posteriormente se analizarán para el sistema de tuberías de agua contra incendio.

A continuación en el capítulo III se describirá la hidráulica de las tuberías, y en el capítulo IV se explica la normatividad que se aplica a los sistemas contra incendio y la fibra de vidrio. Finalmente en el capítulo V se analizarán y compararán los materiales para poder emitir una recomendación respecto al o los mejores materiales de construcción para tuberías en términos de:

- Manejo adecuado del agua de mar
- Evitar la corrosión interna y externa
- Facilidad de construcción y de realizar reparaciones
- Adecuado comportamiento mecánico-estructural
- Resistencia a la luz solar
- Normatividad e Integración Nacional
- El costo de la tubería

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I. GENERALIDADES

1.1 Plataformas Marinas

En la actualidad la industria Petrolera es manejada por un organismo llamado Petróleos Mexicanos (PEMEX). Las actividades de PEMEX abarcan la exploración y explotación de hidrocarburos, así como la producción, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petrolíferos y petroquímicos.

Los recursos petrolíferos no solo se limitan a superficies terrestres, sino también a superficies marinas, que se han comprobado que son unos de los más ricos yacimientos de esta empresa, aunque son lugares más difíciles de explotar que los terrestres. A este tipo de instalaciones se les conoce como plataformas marinas (offshore). Existen en la actualidad cinco tipos de torres para hacer trabajos de explotación en el mar.

La primera clase de plataformas es aquella que se encuentra fija en el fondo del mar, y es utilizada en aguas poco profundas (hasta 400 metros). Esta estructura se denomina plataforma fija y fue desarrollada en la década de los setenta.

La otra clase de estructura marina, denominada torre flexible y anclada al fondo del mar, soporta las corrientes marinas y los vientos. Se empezó a desarrollar en los años ochenta, debido a que se requería llegar a mayor profundidad en exploración y explotación. Esta estructura es utilizada en profundidades de hasta 1,100 metros.

La tercera clase de plataforma es la TLP (Tension Leg Platform) que a diferencia de las estructuras anteriores, está anclada al fondo del mar sólo por cables, en su mayoría de acero o de poliéster. Se emplean en profundidades de hasta 1,500 metros (aguas profundas) y se empezaron a desarrollar a mediados de los años ochenta e inicios de la década del noventa.

La cuarta plataforma que existe es la SCF (Single Column Floater), que también se considera una plataforma flotante. Es una estructura que reduce el peso total de la construcción, lo que hace que su instalación sea más sencilla, lo más interesante es que puede ser fabricada verticalmente, como una sola unidad, y ser transportada directamente al punto de instalación.

La característica principal de la SCF es su capacidad para adaptar las condiciones del movimiento hidrodinámico de la plataforma a las diferentes cargas y a los cambios ambientales.

La última clase de plataforma, y quizá la más avanzada, es el FPSO (Floating Production Storage and Offloading), nombre que se da al tipo de embarcación que produce, almacena y transfiere petróleo, una opción actualmente muy utilizada para producir en campos de aguas profundas y ultraprofundas. Esta estructura es muy versátil debido a su capacidad de producir en volúmenes cercanos a los 150,000 barriles por día y casi 4 millones de metros cúbicos de gas. Esta embarcación se ha desarrollado desde finales de la década de los noventa y tiene capacidad para explorar en profundidades de hasta 3,000 metros de lámina de agua.

En la actualidad se están haciendo investigaciones para el desarrollo de una nueva plataforma denominada ETLP (Extended Tension Leg Platform), una variación de la TLP (Tension Leg Platform). Una de sus cualidades es su base más amplia y además, puede disponer de tres o cuatro pilares que están en función de la carga superior. Sus características principales son menor peso de la estructura metálica de cubierta, menor carga de las olas y de las corrientes en el casco, menor respuesta de los amarres en estados de fatiga o desgaste y una mayor flexibilidad.

En la actualidad, el Golfo de México ostenta el récord en número de plataformas, ya que a la fecha cuenta con muchas estructuras marinas, lo que lo convierte en el principal protagonista en este mercado, tanto por los volúmenes producidos como por las tecnologías aplicadas. Las plataformas marinas se clasifican según la función que cumplen, y de esta manera pueden ser:

- Plataformas de Producción Permanente de Petróleo y Gas
- Plataformas de Producción Temporal
- Plataformas de Perforación
- Plataformas de Enlace o de telecomunicaciones
- Plataformas de Compresión
- Plataformas de Almacenamiento
- Plataformas de Inyección de agua y gas
- Plataformas de Tratamiento de agua o gas
- Plataformas Habitacionales

A continuación se describen brevemente algunos de estos tipos de plataformas:

Plataforma de Perforación.- La perforación es la fase inicial de explotación de un yacimiento, éste tipo de unidades son las que participan en mayor número, en éstas se realiza la perforación de los pozos, ya sean exploratorios o de producción.

Plataformas de Producción.- En éstas el objetivo es separar de la corriente del pozo al crudo, el gas y agua así como algunos sólidos en suspensión, transportando el crudo y gas independiente a una estación en el mar o la costa. El crudo o gas pasan por los módulos adecuados para recibir algún tratamiento si lo requieren, para después distribuirse a centros de consumo, plantas o complejos petroquímicos.

Plataformas de Compresión de gas.- Debido a que las plataformas de producción y los complejos petroquímicos están muy distantes, normalmente se requiere instalar este tipo de plataforma con el fin de aumentar la eficiencia en la transportación. También si por las características del gas se requiere deshidratarlo y endulzarlo, en esta plataforma se instalarán módulos de deshidratación y endulzamiento.

Plataformas de Inyección de agua o gas.- Dada la larga vida de producción de un pozo la extracción del hidrocarburo es cada vez más difícil, una manera de recuperación de hidrocarburos es por medio de la inyección de agua o gas al pozo productor, operación que se realiza en este tipo de plataforma.

Plataformas Habitacionales.- Para alojar al personal de operación y mantenimiento de cualquier plataforma se requiere contar con este tipo de plataforma la cuál cuenta con los servicios de energía eléctrica, agua potable, módulos de recreación, etc.

En una plataforma existen servicios auxiliares, que son fluidos o dispositivos generados dentro y fuera de la misma y se aplican al proceso para: operación normal, emergencia, arranque y paro, o de mantenimiento. Los servicios auxiliares constituyen la fuente de energía de la planta y una interrupción en su suministro puede causar múltiples problemas, por lo que su diseño se debe realizar en forma segura y flexible. Estos se pueden clasificar en:

-
- Primarios.- se caracterizan por ser vitales para la operación de la planta y pueden ser:
 - ✓ Agua: para calderas, de enfriamiento, de servicios, contra incendio, de proceso, potable, uso sanitario
 - ✓ Vapor: de proceso, calentamiento, generación
 - ✓ Combustible: líquido, sólido, gaseoso
 - ✓ Energía eléctrica: fuerza, alumbrado, control
 - ✓ Almacenamiento: materias primas, productos
 - Secundarios.- complementan a los primarios dentro del funcionamiento de la planta
 - ✓ Protección contra incendio: ropa e instrumentos adecuados
 - ✓ Gas inerte
 - ✓ Drenaje: químico, aceitoso, pluvial, sanitario
 - ✓ Aire de planta e instrumentos
 - ✓ Edificios: mantenimiento
 - ✓ Vías de acceso

1.2 Incendios en plataformas

1.2.1 El Fuego

El fuego puede definirse como un fenómeno químico donde se realiza la oxidación rápida de materiales combustibles con oxígeno del aire para formar óxidos, CO_2 , CO y vapor de agua con fuerte desprendimiento de energía en forma de luz y calor. Para que el fuego exista se requiere que existan tres componentes básicos, como lo son:

- Combustible.- Es un material que al oxidarse desprende luz y calor, es el elemento de propagación del fuego, existe una enorme variedad de combustibles como; madera, carbón, alcohol, petróleo y sus derivados.
- Comburente.- Son las sustancias que no arden, pero que ayudan a que otras si lo hagan y en este caso es el oxígeno del aire.

-
- Energía calorífica.- Se requiere de esta energía adicional y se llevará a cabo la reacción.

La unión de los tres factores producirá fuego y se representa mediante la figura 1.1. Es posible encontrar una clasificación del fuego, la cual es:

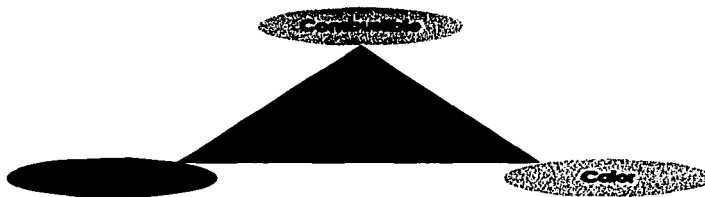


Figura 1.1 Triángulo del fuego

- Fuego clase A.- Es el que ocurre en materiales sólidos como madera, hule, basura, etc. Cuando se produce este fuego al quemarse el material sólido se agrieta generando cenizas y brasas, el enfriamiento logrado por el agua es lo más adecuado para controlar estos fuegos.
- Fuego clase B.- Es el que se produce en la mezcla de un gas, tales como butano, propano, etc., con el aire o bien de la mezcla de los vapores que se desprenden de la superficie de los líquidos inflamables, tales como gasolina, aceites, grasas, solventes, etc. La reducción de la cantidad de aire o la acción de inhibir o evitar la combustión es de vital importancia para apagar fuegos de esta clase.
- Fuego clase C.- Es aquel que ocurre en o cerca de equipo eléctrico. En este tipo de fuego la conductividad eléctrica del medio de extinción es de suma importancia a fin de evitar daños mayores.
- Fuego clase D.- Es el que se presenta por la combustión de metales, tales como magnesio, titanio, sodio, litio, potasio, aluminio, o zinc en polvo.

El incendio puede tener varias fuentes de ignición como:

- Flama abierta.- que se encuentra en hogares de calentadores, calderas, sopletes, quemadores, etc.
- Chispas por fricción.- al frotar metales se pueden producir chispas
- Energía eléctrica.- los circuitos eléctricos están siempre expuestos a producir chispas
- Electricidad estática.- al fluir líquidos o gases por tuberías, bombas, etc., generan electricidad que se va acumulando hasta llegar a cantidades tales que al disiparse produce chispas, por lo que todos los equipos deben estar conectados a tierra

La extinción del fuego se basa en la eliminación de uno de los tres factores necesarios para que exista, teniéndose tres métodos los cuáles son:

- Enfriamiento.- Este método se basa en la eliminación del calor para evitar que continúe la combustión, un agente que absorbe gran cantidad de calor enfriando en forma muy eficiente es el agua, que correctamente bien aplicada es muy útil.
- Sofocamiento.- Consiste en evitar que entren en contacto el oxígeno del aire y los vapores combustibles; esto se logra en dos formas, la primera se basa en crear una atmósfera inerte por medio de agentes extintores como el bióxido de carbono, los polvos químicos secos y líquidos vaporizantes, la otra forma es aislar el combustible del aire por medio de una capa intermedia, que es el caso de la espuma química y el agua.
- Eliminación del combustible.- La eliminación de éste trae como consecuencia la extinción del fuego, en algunos casos como en los gases, es preferible eliminar el combustible para no formar atmósferas explosivas.

1.2.1.1 Agentes extintores

A pesar de todas las medidas de prevención de incendios que se tomen, siempre es posible que se presenten y es entonces cuando se deben practicar sin demora todos los conocimientos sobre equipos y materiales contraincendio y su empleo adecuado. Los agentes extintores utilizados con mayor frecuencia son los siguientes:

-
- Espuma química.- Es un producto más ligero que el agua, obtenido de una reacción química entre soluciones conocidas como "A" o sulfato de amonio en agua al 13% y "B" o bicarbonato de sodio al 8%, con aproximadamente 3% de un agente estabilizador llamado crozús que da mayor resistencia a la espuma. El anhídrido carbónico que se forma queda atrapado por los otros productos de la reacción y la espuma formada es muy resistente al calor.
 - Agua.- El agua es uno de los agentes extintores más empleados para atacar el fuego, es un líquido fundamental para controlar un incendio, es necesario que las instalaciones a proteger cuenten con alguna fuente de agua cercana, en donde puedan alimentarse fácilmente, puede ser empleada en forma de chorro para mayor penetración o en forma de niebla.
 - Polvos químicos.- El más común es el formado por la mezcla de bicarbonato de sodio con algunos aditivos como estearatos metálicos, fosfato tricálcico, silicones, etc., que le dan la facilidad de fluir y de prevenir la absorción de humedad otro, pero con mayor efectividad que el sódico es el potásico llegando a ser considerado de un valor doble al del polvo sódico en su acción extintora.

1.2.2 Sistema de agua contra incendio

La Industria del petróleo trata con grandes volúmenes de material flamable, así como la ejecución de operaciones a presiones y temperaturas variables, por lo tanto los riesgos son grandes. Un sistema de protección contra incendio se define como un conjunto de bombas, tuberías, accesorios, hidrantes, monitores y sistemas de aspersión localizados en puntos estratégicos en una planta o instalación que lo requiera. Los sistemas de agua contra incendio se componen normalmente de los siguientes elementos:

- a) Una fuente de abastecimiento de agua con un volumen tal que pueda satisfacer las necesidades de la demanda en caso de emergencia. Esta fuente puede ser primaria como ríos, lagos, pozos o servicios municipales. o secundarias como tanques o cisternas.
- b) Un equipo de bombeo, el cuál proporcionará el agua en cantidad y con la presión necesaria de acuerdo a las necesidades y riesgos a proteger en cada caso.

-
- c) Una red de distribución de agua intercomunicada, que generalmente forme circuitos cerrados en las áreas y zonas a proteger, de tal modo que puedan aislarse por medio de válvulas, contando además con sus respectivas salidas para hidrantes, monitores y sistemas de aspersión.

Una red de agua contra incendio es un conjunto de líneas de tuberías con sus respectivos equipos y accesorios, así como sus dispositivos de control y monitoreo que permitirán que estos actúen para mitigar un incendio mediante la salida de agua que formando anillos o circuitos servirán exclusivamente para distribuir y conducir respectivamente el agua contra incendio. La red de agua contra incendio en una plataforma marina transporta agua de mar que es de la que se dispone para combatir los incendios. El agua de mar puede resultar altamente corrosiva, es por eso que se deben conocer sus propiedades como lo muestra la tabla 1.11.

El agua se puede aplicar por medio de:

- Manguera.- Se definen como tubos flexibles de hule natural o sintético con forro, en uno de sus extremos está provisto de una boquilla para dirigir un chorro de agua compacto o en forma de neblina, en el otro una conexión roscada.
- Hidrante.- Es el dispositivo de la red de agua contra incendio conectado a la misma con un tubo, del cual salen dos tomas perpendiculares al mismo y opuestas entre sí, su función es abastecer a las mangueras que se conecten a él.
- Aspersores de agua.- Estos deben tener un patrón predeterminado, tamaño de partícula, velocidad y densidad respecto al área protegida definida por el tipo de orificio de boquillas o dispositivos especialmente diseñados. son comúnmente usados para proteger equipos de proceso, estructuras, recipientes para gases y líquidos inflamables

PARÁMETRO	VALOR PROMEDIO
Fluido	Agua amarga salino aceitosa
Densidad, g/cm ³	1.059
Viscosidad, mPa·s	6.5
Temperatura, °C	30
Materia sólida	Ausente
Gravedad específica	116
Gravedad específica	56.5 ^o
Gravedad específica	89419
Gravedad específica	156380
Gravedad específica	35450
Gravedad específica	31450
Gravedad específica	464
Gravedad específica	0
Gravedad específica	54262
Gravedad específica	1.5
Gravedad específica	0
Gravedad específica	566
Gravedad específica	0
Gravedad específica	752
Gravedad específica	12580
Gravedad específica	976
Gravedad específica	19008
Gravedad específica	0.59
Potasio, K, mg/lit	1817

Tabla 1.1 Características del agua de mar

¹ Tabla tomada de Reporte técnico del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP, Abril de 1996)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Bario Ba ⁺⁺ , mg/l ¹	19.2
Estroncio Sr ⁺⁺ , mg/l ¹	748
Índice de estabilidad (Stiff-Davis)	+0.75
Tendencia del agua	incrustante
GASES DISUELTOS	
Óxido de carbono CO ₂ , mg/l ¹	182
Aire disueltos, mg/l ¹	175
Oxígeno disueltos, mg/l ¹	0
Sólidos volátiles, mg/l ¹	0
Sólidos totales, mg/l ¹	124192
Sólidos orgánicos, mg/l ¹	632 ^b
Sólidos inorgánicos, mg/l ¹	124824
Alcalinidad, mg/l ¹	No disponible
Cloruro, mg/l ¹	415
Sulfato, mg/l ¹	1425
Sulfato de magnesio, mg/l ¹	14000
Sulfato de calcio, mg/l ¹	Ausente
Fluoruro, mg/l ¹	>1.79
Acidez, mg/l ¹	22.4
Clasificación	PET ^d

continuación de la Tabla 1.1 Características del agua de mar

1.2.3 Corrosión

La corrosión puede definirse como la destrucción de un material por interacción química, electroquímica o metalúrgica entre el medio y el material, generalmente es lenta pero persistente.

- ^a mpy milésimas de pulgada por año
- ^b el valor incluye sal cristalizada sobre el medio poroso
- ^c Clasificación de acuerdo a C.C. Wright
- ^d PET: agua con problemas excesivos de taponamiento
- ^e se obtuvieron valores entre 25 y 135 mg/l.

En general la corrosión afecta más a los metales, por ello se debe de tener un amplio conocimiento de este fenómeno, ya que influye en los aspectos económicos, tales como los costos de reponer estructuras o maquinaria corroída, o sus partes componentes tales como tubos condensadores, conductos y tuberías, etc., además de la mano de obra necesaria. Otro factor económico serían las interrupciones en la producción, pérdidas del producto, pérdidas del rendimiento, etc. Algunas formas de la corrosión son las que se describen a continuación:

- a) Picaduras.- Se denomina así al tipo de ataque local que se forma debido a que la velocidad de la corrosión es mayor en unas zonas que en otras. Si se produce un ataque apreciable confinado en un área fija del metal relativamente pequeña, que actúa como ánodo las picaduras que resultan se definen como profundas. Si el área de ataque es relativamente grande y no tan profunda las picaduras se consideran superficiales. En ambos casos existen diferencias de potencial en sitios determinados que producen huecos profundos y aislados Fig. 1.1. La forma del agujero es frecuentemente responsable de que este siga creciendo. El picado es un proceso lento, tomando varios meses o años para ser visible, aunque causa fallas inesperadas. El pequeño tamaño del agujero y la pequeña cantidad de metal disuelto que se forma hace difícil su detección en etapas tempranas.



Figura 1.2 Corrosión por picado

- b) Corrosión por grietas (agrietamiento).- Es un ataque acelerado en el punto de unión de dos metales o en superficies ásperas que se encuentran expuestas a un ambiente corrosivo por experiencia se sabe que debido a esto es más probable que se formen grietas que retienen las soluciones o almacenan depósitos de lodos por lo que les toma más tiempo secarse.

El ataque acelerado puede ocurrir debido a una diferencia en la concentración de oxígeno. El oxígeno tiene un acceso relativamente fácil al exterior de la unión (que es catódica), el metal en la unión es anódico y el depósito de producto insoluble de corrosión (alrededor del centro anódico), excluye oxígeno rápidamente obteniéndose un área de baja concentración en oxígeno y un potencial eléctrico incrementado. Si la acción continua, se forma en el centro un agujero superficial.

- c) Corrosión intergranular.- Es un tipo de ataque localizado que ocurre en los espacios que limitan los granos de un metal y que produce pérdida de la resistencia mecánica y de la ductilidad. El material de área limitada que forma los espacios intergranulares y que actúa como ánodo está en contacto con las superficies de los granos que son más grandes y que actúan como cátodos. Este ataque suele ser con frecuencia rápido, penetra con profundidad en el metal y algunas veces causa averías catastróficas. Entre las aleaciones sujetas a la corrosión intergranular se cuentan los aceros inoxidables 18-8 que han sufrido un tratamiento térmico inadecuado. Como se muestra en la Fig. 1.2.

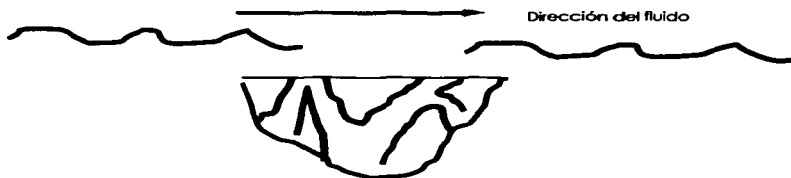


Figura 1.2 Corrosión Intergranular

- d) Corrosión por erosión.- Cuando el movimiento de un agente corrosivo sobre la superficie de un metal aumenta la velocidad de ataque por el uso mecánico así como la corrosión, se presenta la corrosión por erosión. Aparece generalmente en forma de pequeños huecos bajo la superficie como se muestra en la Fig. 1.3. El ataque puede tener un patrón direccional, relacionado con la trayectoria del agente corrosivo y su movimiento sobre la superficie del metal. Este tipo de corrosión prospera en condiciones de alta velocidad, tales como la turbulencia.

Así es frecuente observar en impulsores de bombas, agitadores, tuberías y particularmente en desviaciones y codos un movimiento rápido de partículas, las cuales son probablemente la causa del problema. La cavitación y el rozamiento son formas especiales de la corrosión por erosión.

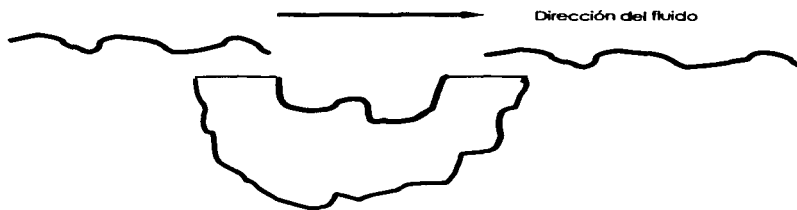


Figura 1.3 Corrosión por erosión

- e) Cavitación.- La corrosión por cavitación, ilustrada en la Fig. 1.4 se produce por el choque de burbujas y cavidades dentro de un líquido. El movimiento de vibración entre una superficie y un líquido es tal que se aplican repetidas cargas a la superficie, produciendo esfuerzos muy altos cuando se forman estas burbujas y chocan regularmente. Estos choques producen impactos de alto esfuerzo que eliminan gradualmente partículas de la superficie, formando de manera eventual profundos agujeros sobre la superficie

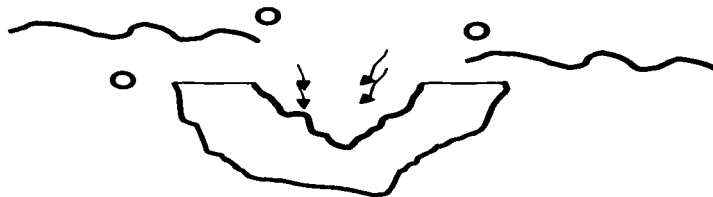


Figura 1.4 Corrosión por cavitación

- f) Corrosión por Rozamiento.- Es un tipo común de daño a la superficie, producido por una vibración la cual causa choques o rozamientos en superficies sujetas a presión (ranuras de cuña, llaves y otras piezas estrechamente ajustadas sujetas a un pequeño movimiento), aquí los metales se deslizan juntos causando daños mecánicos en la superficie. Este tipo de corrosión es un fenómeno mecánico-químico. Cuando hay rozamiento fuerzas adhesivas hacen que pequeñas partículas se adhieran con continuos y ligeros movimientos así las partículas soldadas se desprendan de las superficies opuestas y reaccionen químicamente con la atmósfera formando escoria o polvo en la unión.
- g) Corrosión Galvánica.- Durante el proceso de corrosión galvánica una pequeña corriente fluye en el circuito que se establece entre el ánodo y el cátodo, en este proceso el electrólito proporciona el camino para el flujo de corriente. La corrosión galvánica ocurre cuando dos metales diferentes se encuentran en contacto (o conectados por un conductor eléctrico) y son expuestos a una solución conductiva (electrólito). La tabla 1.2² muestra una serie en donde la solución conductiva es el agua de mar. El metal más activo en las series galvánicas es el ánodo y se corroe a una velocidad mayor de la que debiera ser, esto es proporcionar más fácilmente los electrones. El metal más noble es el cátodo y se corroe a una velocidad mínima. Al analizar la serie galvánica se observa que los metales nobles o catódicos no son fáciles de oxidar, mientras que los anódicos son fácilmente oxidables. La corrosión galvánica aumenta si los metales (unidos o aleados) se encuentran muy separados en la serie, esto es porque la diferencia de potencial es mayor. Si los metales se encuentran muy cerca, la diferencia de potencial sería menor y el ataque por un ambiente determinado disminuiría.
- h) Corrosión Biológica.- Este tipo de corrosión es el resultado de la actividad de organismos vivos, principalmente bacterias aeróbicas, anaeróbicas y algas, las cuales en su proceso de alimentación y eliminación de desechos producen corrosión. El mecanismo se presenta cuando entre los puntos en los que el metal presenta imperfecciones se forman diferencias de potencial las cuales provocan el paso de corriente a través del líquido que se encuentra entre esas diferentes partes del metal. En las zonas anódicas, la corriente pasa del metal al líquido y por el contrario, en las zonas catódicas la corriente pasa del líquido al metal. De este modo se observa una disolución del metal en el ánodo y la formación de hidrógeno en el cátodo.

De esta manera al principio se produce una ligera corrosión anódica con disolución del hierro en forma de sales ferrosas que pronto se oxidan en sales férricas por efecto del oxígeno del agua. En esta etapa del proceso se observa una ligera capa de herrumbre que no afecta al metal y dicho estado puede durar mucho tiempo, en tanto que el oxígeno no movilice el hidrógeno catódico. Es al llegar esta etapa cuando intervienen las ferrobacterias y sulfatoredutoras. En la parte correspondiente al ánodo las ferrobacterias obtienen su energía de la transformación de sales ferrosas en sales férricas y provocan la formación acelerada de herrumbre. Este proceso produce la disolución continua del metal y llega hasta la perforación del mismo.

La corrosión se puede evitar en un período más prolongado de tiempo o se puede controlar por medio de la selección de otros materiales, el empleo de inhibidores o la protección galvánica (ánodo de sacrificio, voltaje aplicado).

Catódico (se lee de abajo hacia arriba)	
Grafito	Niquel-A
Plata	Estaño
Acero 12% Ni, 18% Cr, 3% Mo-P	Plomo
Acero 20% Ni, 25% Cr-P	Soldaduras Plomo-Estaño
Acero 23 a 30% Cr-P	Acero 12% Ni, 18% Cr, 3% Mo-A
Acero 14% Ni, 23% Cr-P	Acero 20% Ni, 25% Cr-A
Acero 8% Ni, 18% Cr-P	Acero 14% Ni, 23% Cr-A
Acero 7% Ni, 17% Cr-P	Acero 8% Ni, 18% Cr-A
Acero 16 a 18% Cr-P	Acero 7% Ni, 17% Cr-A
Acero 12 a 14% Cr-P	Ni-resist
80% Ni, 20% Cr-P	Acero 23 a 30% de Cr-A
Inconel-P	Acero 16 a 18% de Cr-A
60% Ni, 15% Cr-P	Acero 12 a 14% de Cr-A
Niquel-P	Acero 4 a 6% de Cr-A
Metales Ni-Cr	Hierro fundido
Cobre-Niquel	Acero al cobre
Niquel-Plata	Acero al carbono
Bronces	Aleación de Aluminio
Cobre	Cadmio
Lalones	Zinc
80% Ni, 20% Cr-A	Aleaciones de magnesio
Inconel-A	Magnesio
60% Ni, 15% Cr-A	

Anódico (se lee de arriba hacia abajo)

Tabla 1.2 Series galvánicas (A-activo P-pasivo)

² Tabla tomada de Felio Sebastián, Corrosión y protección de los metales en la atmósfera

II. MATERIALES PARA EL SISTEMA DE TUBERIAS DE AGUA CONTRA INCENDIO

Debido a su amplia gama de propiedades utilizables y a su general disponibilidad, los metales constituyen una clase de materiales que son de primera importancia en las necesidades de la sociedad moderna. Entre todos, el campo de mayor aplicación de los metales es como materiales estructurales. Pero hoy en día los materiales de construcción no solo abarcan a los metales, están siendo utilizados los plásticos, los materiales compuestos etc.

Una clasificación de los materiales puede ser:

- Metálicos
 - a) Ferrosos
 - i. hierro colado
 - ii. acero
 - * aceros al carbón
 - * aceros inoxidables ó aleados
 - b) No ferrosos
 - i. cobre
 - ii. níquel
 - iii. aluminio
 - iv. Titanio
- Polímeros
 - a) termoplásticos
 - b) termofijos
 - c) elastómeros
- Compuestos
 - a) Resinas termoestables con fibras de vidrio, carbono, etc.
 - b) concreto
 - c) asfalto
- Cerámicos
 - a) óxidos de metal
 - b) carburos de metal
 - c) nitruros de metal

2.1 Hierros colados

En general, el hierro colado no es un material estructural particularmente resistente, aún cuando se trata de uno de los más económicos y se utiliza mucho en la industria, algunos son:

- Hierro colado gris: es de un bajo costo, tiene capacidad para absorber la vibración y resistencia al desgaste; sin embargo es frágil y tiene baja resistencia a los choques e impactos.
- Hierro colado blando: es resistente a la abrasión y al desgaste, se emplea para recubrimientos, hélices de bombas, dados y bolas de molinos. El hierro maleable tiene similitud con el blando.
- Hierro colado dúctil: tiene buena dureza, resistencia al desgaste.

En la tabla 2.1¹ se analizan algunas propiedades mecánicas de los hierros descritos.

Aleación	Composición %	Resistencia a la tracción MPa	Resistencia a la tracción MPa
Hierro colado gris	3.1-3.4C, 0.6-0.9Mn, 1.9-2.3Si	—	207
Hierro colado maleable	2.2-2.9C, 0.15-1.25Mn, 0.9-1.9Si	227	345
Hierro colado dúctil	Sin especificar	276	414
Hierro colado	3.0C, 1.5-2.5Cr, 5.5-7.5Cu, 0.5-1.5Mn, 13.5-17.5Ni, 1.0-2.8Si	—	172

Tabla 2.1 Propiedades de hierro colado

¹ Tabla tomada de Perry H. Robert, Manual del Ingeniero Químico.

2.2 Acero

De la aleación de hierro y carbono se obtiene el acero, es la más común, barata y aplicable de las aleaciones metálicas que se emplean. En la tabla 2.2² se muestran algunos tipos de aceros y sus propiedades. Las propiedades mecánicas de un acero dependen de su estructura cristalina que a su vez es función de su composición química y de los tratamientos térmicos a los que ha sido sometido.

Acero	Resistencia a la tensión MPa		% de elongación	Características
AISI 1020	138		Nada	Bueno en secciones delgadas y en fundiciones con bajo esfuerzo.
AISI 1035	241		Nada	Para partes estructurales, bombas, tuberías, etc.
AISI 1045	276		Nada	Para fundiciones de esfuerzo mediano.
AISI 1581	455		18	Excelentes propiedades mecánicas, tolera dobles.
AISI 5050	551		6	Es dúctil y soporta altos esfuerzos, muy resistente.
AISI 5210	345		10	Ferfítico, fundiciones libres de presión
AISI 5210	551		3	Ferfítico
AISI 5210	310		Nada	Resistente a la abrasión externa, para molinos de bolas y bombas.

Tabla 2.2 Propiedades de algunos aceros

² Tabla tomada de Perry H. Robert, Manual del Ingeniero Químico, Tomo IV

2.2.1 Aceros al carbón

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbón y contienen diversas cantidades de carbón, estos son fáciles de conseguir, muy baratos y su fabricación es sencilla, presentan una resistencia a la corrosión limitada por lo que se necesita agregar un cierto espesor para su resistencia. Consisten en hierro combinado con el carbono clasificados como:

- a) Acero de bajo carbono (de 0.05-0.25% de carbón); se procesan enormes tonelajes de estos aceros en formas estructurales tales como hojas, cintas, barras, placas, tubos y alambre. Tiene un esfuerzo a la tensión arriba de 30 ton/pulg² y una elongación del 25%.
- b) Acero de medio carbono (0.25-0.5% de carbón); éste es usado para piezas que están sometidas a esfuerzos. Su resistencia a la tensión puede ser arriba de 45 ton/pulg² y su elongación del 12%.
- c) Acero de alto carbono (0.5% de carbón); es usado para herramientas.
- d) Acero suave (menos de 0.1% de carbón); es usado para herramientas

2.2.1.1 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico es una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento en tiempos determinados y aplicados a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá propiedades deseadas. El calor puede ser aplicado en muchas formas hacia el acero al carbono para modificar sus cualidades. La forma, la velocidad y método de enfriamiento, tienen importantes efectos en las propiedades de los aceros. Estos tratamientos térmicos son los siguientes:

- Recocido.- El metal es calentado lentamente alrededor de 40°C sobre su punto crítico superior 800°C y permanece uniforme a esta temperatura para luego ser enfriado tan lentamente como sea posible. Esto se logra simplemente reduciendo la temperatura del horno paulatinamente o enterrando el metal en arena seca, cenizas o cal.

- Normalizado.- El metal es calentado del mismo modo que para el recocido, pero la pieza es entonces sacada del horno y dejada enfriar al aire. Las propiedades mecánicas obtenidas por el normalizado son mejores que las obtenidas por el recocido y se obtiene una mejor superficie. Algunos aceros cuando son normalizados presentan dificultades al maquinado y entonces deben ser recocidos.
- Templado.- Este procedimiento es necesario porque el acero completamente endurecido es extremadamente quebradizo y tiene baja resistencia al impacto. El metal es recalentado a una temperatura baja y luego enfriado (varían de 220°C a 300°C).

2.2.1.2 Recubrimientos metálicos

Por medio de recubrimientos de metales no ferrosos se protegen otros metales, especialmente el acero y el hierro, que son materiales baratos, de varios ambientes corrosivos. En la actualidad se dispone de una gran variedad de recubrimientos metálicos para una gran variedad de usos, entre ellos la conservación de grandes estructuras expuestas a la acción de agentes atmosféricos, la protección de equipo empleado en tratamientos químicos, etc.

La elección del recubrimiento depende de que ambiente de exposición tenga, la estructura a recubrir y del procedimiento empleado para aplicar el recubrimiento. Son materiales de uso común para recubrimientos el zinc, aluminio, níquel, cromo, estaño, plomo, cobre, cadmio. Los recubrimientos se pueden obtener por una variedad de técnicas que pueden ser:

- Electrodeposición.- Todos los metales se pueden electrodepositar a partir de un electrólito. Los requisitos para efectuar dicha electrodeposición incluyen dos electrodos, un electrólito y una fuente de poder. En la práctica comercial los electrones son suministrados por una corriente directa; sin embargo vienen de un segundo electrodo y se lleva a cabo la reacción:



La deposición procede a medida que esta reacción continua, el electrodo de la izquierda o ánodo suministra los electrones al circuito externo a través de la batería o fuente de poder.

Los electrones vienen de los átomos metálicos del electrodo izquierdo, que están siendo oxidados a un nivel de número de oxidación más alto, el ánodo sufre corrosión. Los metales como el aluminio o el titanio no pueden ser utilizados en este método, el cual puede ser continuo o discontinuo.

- Depósito químico o sin corriente.- Para realizar el depósito sobre una superficie metálica se puede utilizar un proceso de reducción acuosa, en el cual el metal se deposita a partir de la solución generalmente bajo una acción catalítica. La velocidad del depósito puede ser lento o invariable, lo que hace que el proceso sea inflexible. El níquel es el metal que más se deposita por este método.
- Inmersión en caliente.- Como su nombre lo indica el recubrimiento metálico se aplica al componente o metal base en forma de líquido y puede hacerse de manera continua o por un proceso discontinuo. Este se adapta mejor a metales de bajo punto de fusión tales como el estaño, plomo, zinc y aluminio además cuando se requieren espesores relativamente gruesos ($>0.01\text{mm}$). La desventaja del proceso es que el control del espesor es deficiente y no se pueden obtener satisfactoriamente depósitos delgados.
- Metalización por proyección (rociado).- La aplicación de un recubrimiento metálico por rociado es particularmente valiosa para estructuras de acero ya que la pistola de metalizar puede ser portátil y puede recubrirse in situ una gran estructura. La técnica es más adecuada para metales de punto de fusión bajo como el zinc y el aluminio. Para el recubrimiento de estructuras exteriores el espesor puede ser de 0.1mm y la mitad de este valor será suficiente para muchas aplicaciones interiores, a menos que prevalezcan atmósferas industriales corrosivas. En esta técnica se introduce el metal que va a recubrir en la pistola, en forma de alambre, cinta o polvo y se funde con la ayuda de una flama de gas a presión que al mismo tiempo pulveriza el metal fundido. Algunos inconvenientes es la porosidad de la capa aplicada

Se puede decir que la función principal de los recubrimientos es la de proporcionar un período de vida más largo al material base en ambientes de corrosividad, en la tabla 2.3³ se muestran algunas propiedades mecánicas de los recubrimientos más utilizados.

Los recubrimientos que se aplican tienen cierto espesor, por ejemplo los decorativos tienen frecuentemente un espesor de 10^{-4} a 10^{-5} mm., porque las condiciones corrosivas en las que se encuentran son suaves (por ejemplo la oxidación atmosférica), en condiciones que no son decorativas, el espesor será de 10^{-1} a 10^{-2} mm.

Depósito	Carga de Rotura (kg/mm ²)	Deformación %	Tensiones Internas (kg/mm ²)
Ag	25-35	10-15	5-10 de tracción
Cd	—	10-15	5-10 de compresión
Cr	10-15	10-15	20-60 de tracción
Cu	10-40	10-15	20-50 de tracción
Fe	20-50	10-15	10-20 de tracción
Ni	35-150	10-15	15-35 de tracción
Zn	3-25	10-15	10-20 de tracción y de compresión

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas de algunos depósitos

2.2.2 Aceros Inoxidables

Los aceros inoxidables son aleaciones base hierro que contienen como mínimo un 12% de cromo, bajo contenido en carbono y porcentajes variables de níquel, litanio, vanadio, etc., mientras mayor sea el contenido de cromo aumentan su resistencia a la corrosión. Dichos elementos de aleación se añaden a los aceros para muchos propósitos, como mejorar la resistencia a la temperatura, mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas y aumentar la resistencia a la corrosión. Comercialmente es frecuente clasificar a los aceros inoxidables en:

1. Ferríticos
2. Austeníticos
3. Martensíticos
4. Otros

³Tabla tomada de Askeland Donald. La ciencia e Ingeniería de los materiales

2.2.2.1 Ferríticos

Los aceros inoxidables ferríticos son esencialmente aleaciones de hierro-cromo (del 11- 30% de cromo) y carbono ocasionalmente con leve aporte de otros elementos como el molibdeno, que puede llegar al 4%, son magnéticos y presentan buena ductilidad, por ejemplo el acero inoxidable AISI 405, que también contiene aluminio en aleación además de cromo, ha sido estudiado para permitir la obtención de buenas características de tenacidad en las estructuras soldadas que se emplean a temperaturas bastante elevadas, como por ejemplo para fabricar tubos para intercambiadores de calor, platos y campanas para torres de destilación. En la tabla 2.4⁴ se muestran los tipos de acero ferríticos y su composición, así como algunas de sus propiedades mecánicas.

Tipo	Composición %					Temperatura de tratamiento MPa	Resistencia a la tracción MPa	Temperatura de tratamiento °C
	Cr	C	Mn	Si	P			
405	11.5-14.5	0.04	1.0	1.0	0.04	0.005	276	30
407	10.5-11.75	0.03	1.0	1.0	0.045	0.005	241	25
429	14-16	0.02	1.0	1.0	0.04	0.005	276	30
430	16-18	0.02	1.0	1.0	0.04	0.005	276	30
438	16-18	0.02	1.25	1.0	0.06	0.005	379	25
439	16-18	0.02	1.25	1.0	0.06	0.005	379	25
441	16-18	0.02	1.0	1.0	0.04	0.005	365	23
442	16-18	0.02	1.0	1.0	0.04	0.005	365	23
444	18-23	0.02	1.0	1.0	0.04	0.005	310	20
446	23-27	0.02	1.5	1.0	0.04	0.005	379	25

Tabla 2.4 Aceros inoxidables ferríticos

⁴Tabla tomada de Perry H. Robert. Manual del Ingeniero Químico. Tomo IV

2.2.2.2 Austeníticos

Los aceros inoxidable más empleados son los austeníticos, además de su gran resistencia a la corrosión, la temperatura, sus propiedades mecánicas son convenientes y su facilidad a la soldadura satisfactoria, si están estabilizados con el titanio o niobio. Conforme aumenta el níquel tienen características mecánicas no muy elevadas a temperatura ambiente y óptima a temperaturas muy bajas, además de elevada resistencia a la fatiga, la tracción, con escasa sensibilidad a las entalladuras. En la tabla 2.5⁵ se muestran las composiciones y algunas propiedades mecánicas de estos aceros.

2.2.2.3 Martensíticos

Son esencialmente aceros al cromo (contienen de un 11-18%) contienen otras pequeñas cantidades de otros elementos de aleación como níquel, pero en este caso en cantidad nunca superior al 2.5%. Los contenidos de carbón pueden variar entre un mínimo del 0.08% hasta un máximo de 1.20%. Las composiciones de estos aceros se muestran en la tabla 2.6⁶.

2.2.2.4 Otros

Entre otras aleaciones de acero inoxidable podemos mencionar a:

- Aceros Inoxidables endurecidos por precipitación (PH).- Son aleaciones hierro-cromo-níquel, con bajo porcentaje en carbono y porcentajes variables de cobre, aluminio, etc.
- Aceros Inoxidables Duplex.- Los aceros Inoxidables duplex son una mezcla de austeníticos y ferríticos. La tenacidad de estos aceros es superior a la de los aceros ferríticos, pero la resistencia a la corrosión es inferior a la de los otros dos tipos de aceros. Su composición de estos dos tipos de aceros se muestra en la tabla 2.7⁷

Tipo AISI	Composición %						Resistencia a la corrosión MPa	Resistencia a la tracción MPa	Elongación %
	Cr	Ni	Mo	C	Si	Mn			
201	16-18	3.5-5.5	—	0.15	1.0	5.5-7.5	379	773	55
202	17-19	4-6	—	0.15	1.0	7.5-10	379	724	55
301	16-18	4-8	—	0.15	1.0	2.0	276	724	55
302	17-19	6-10	—	0.15	1.0	2.0	241	724	60
302B	17-19	6-10	—	0.15	2-3	2.0	276	724	50
303	17-19	6-10	0.6	0.15	1.0	2.0	241	724	50
303Se	17-19	6-10	—	0.15	1.0	2.0	241	724	50
304	18-20	8-10.5	—	0.08	1.0	2.0	241	724	60
304L	18-20	8-10	—	0.03	1.0	2.0	228	724	60
304N	18-20	8-10.5	—	0.03	1.0	2.0	331	724	50
308	19-21	10-12	—	0.03	1.0	2.0	207	724	55
309	22-24	12-15	—	0.03	1.0	2.0	276	724	45
309S	22-24	12-15	—	0.03	1.0	2.6	276	724	45
310	24-26	19-22	—	0.05	1.5	2.0	310	724	50
310S	24-26	19-22	—	0.03	1.5	2.0	310	724	50
312	23-26	19-22	—	0.05	1.5-3	2.0	345	724	45
316	16-18	10-13	2-3	0.03	1.0	2.0	248	724	55
316L	16-18	10-13	2-3	0.03	1.0	2.0	234	724	55
316N	16-18	10-13	2-3	0.03	1.0	2.0	290	724	55
317	18-20	11-13	3-4	0.03	1.0	2.0	276	724	50
317L	18-20	11-13	3-4	0.03	1.0	2.0	241	724	55
321	17-19	7-9	—	0.03	1.0	2.0	207	724	55
329	25-30	2-3	1-2	0.03	1.0	2.0	552	724	25
347	17-19	2-3	—	0.03	1.0	2.0	241	724	50
348	17-19	2-3	—	0.03	1.0	2.0	241	724	50

Tabla 2.5 Aceros inoxidables austeníticos

⁵ Tabla tomada de Perry H. Robert, Manual del Ingeniero Químico, Tomo IV

Tipo AISI	Composición				Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tracción MPa	Elongación %
	Cr	C	Mo	Ni			
403	11.5-13	0.15	—	—	276	517	35
410	11.5-3.5	0.15	—	—	241	485	30
414	11.5-3.5	0.15	—	1.25-2.5	621	793	20
416	12-14	0.15	0.6	—	276	517	30
416S	12-14	0.15	—	—	276	517	30
420	12-14	0.15	—	—	345	659	20
420F	12-14	0.15	0.6	—	379	659	22
422	11-13	0.22-0.25	0.75-1.25	0.5-1	862	1000	18
431	15-17	0.1	—	1.5-2	665	824	20
440	16-18	0.5-0.75	0.75	—	414	775	20
440B	16-18	0.75-1.25	0.75	—	427	675	18
440C	16-18	0.95-1.2	0.75	—	448	775	14
501	4-6	0.1	0.4-0.65	—	207	485	28
502	4-6	0.1	0.4-0.65	—	172	448	30

Tabla 2.6 Aceros inoxidables martensíticos

⁶ Tabla tomada de Perry H. Robert, Manual del Ingeniero Químico, Torno IV

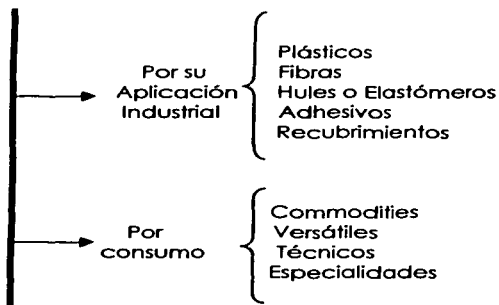
Tipo ACI ⁷	Composición					Resistencia a la resistencia MPa	Resistencia a la tracción MPa	Elongación %
	Cr	Ni	Mo	C	Mn			
	14-16		1-1.5		2.0		970	
	19-21		2-3		2.0		676	
	21-23		4-6		2.5		579	
	12-13		2-2.5		0.2		1100	
	13-15		2-3		1.0		860-1540	
	14-16		—		1.0		1100	
	14-16		2-3		1.0		99-1520	
	16-18		—		1.0		1100	
	16-18		—		1.0		930-1450	
	18-22		—		1.0		710	
	16-18		2-3		7.5-9		790	
	18-21		—		7-9		710	
	16-17		—		8-10		710	
	15-16		2.5-3		0.5-1.25		1000-1420	
	14-15		2.5-3		0.5-1.25		1490	
	17-19		—		0.5		827-1300	
	18-20		—		2.0		550	
	25-28		1.75-2		1.0		414	
	25-27		0.75-2		0.4		480	
	28-30		0.75-2		0.75		480	
	28-30		3.5-4		0.3		620	
	28-30		3.5-4		0.3		650	
	14-16		0.5-1		1.0		990-1350	
	11-13		0.5		0.5		970-1600	

Tabla 2.7 Aceros inoxidables duplex y PH

⁷ Tabla tomada de Perry H. Robert, Manual del Ingeniero Químico, Tomo IV

2.3 Polímeros

Los polímeros son un grupo fascinante de materiales, esto no solo se debe a la creciente importancia que tienen en la ingeniería sino también a que las estructuras pueden alterarse de diversas maneras. Etimológicamente polímero es una palabra compuesta de las raíces griegas poli-muchos y meros-partes. Los polímeros usados en la ingeniería incluyen materiales sintéticos como plásticos, fibras y elastómeros y los materiales naturales como el caucho y la celulosa, entre otros. Los plásticos y muchos adhesivos se producen creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas obtenidas del petróleo, en un proceso conocido como polimerización. Las propiedades de las macromoléculas o polímeros no son función del enlace, sino dependen de su constitución, es decir, compuestas por unidades químicas y estereoquímicas iguales, en cuyo caso se les denomina homopolímeros y por unidades diferentes reciben el nombre de copolímeros. Hay diversas formas de clasificar a los polímeros entre ellas se tiene la del Instituto Mexicano del Plástico (IMPI).



Esquema 2.1 Clasificación por aplicación Industrial y consumo (IMPI 1990)

Los commodities son de bajo precio comercial y se consumen altos volúmenes, son de fácil integración en su proceso y son mínimos los requerimientos de asistencia técnica en cuanto a procesamiento y equipo.

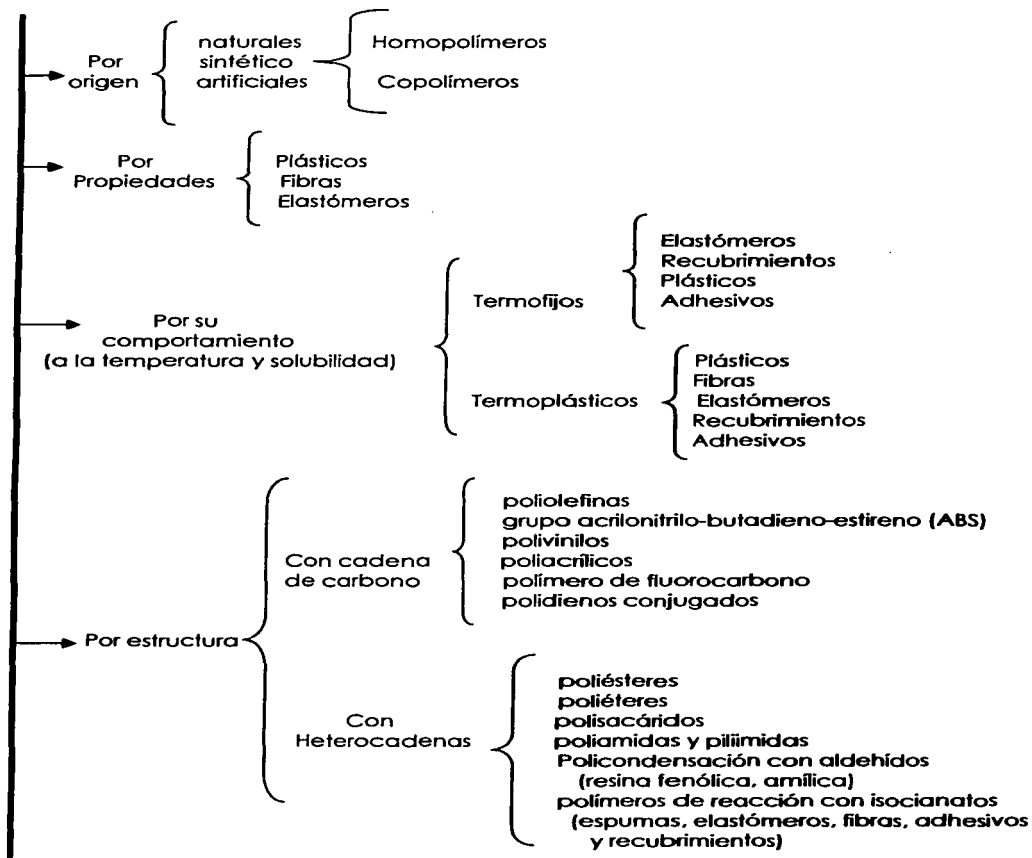
Los versátiles se consumen en volúmenes medios, hay poca tecnología en producción, transformación y la clave para su desarrollo son la creatividad y el diseño.

Los técnicos se consumen en bajos volúmenes, requieren de procesamiento y equipo especializado y se venden con asistencia técnica. Satisfacen el mercado automotor, eléctrico y electrónico principalmente.

Los de especialidades se consumen en volúmenes mínimos y en México son casi desconocidos, presentan excelentes propiedades y se transforman arriba de 300°C requieren equipo especial y su venta requiere asistencia técnica, los márgenes de ganancia son elevados. Satisfacen mercados como el automotor y el aeroespacial. Algunos ejemplos se muestran a continuación:

- Commodities
 - i. polietileno
 - ii. PVC (cloruro de polivinilo)
 - iii. polipropileno
 - iv. poliestireno
- Versátiles
 - i. poliuretano
 - ii. resinas; fenólica, epóxica, ureicas
 - iii. PMMA (polimetilmetacrilato)
- Ingeniería
 - i. ABS (terpolímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno)
 - ii. PET (polietilentereftalato)
 - iii. PBT (politereftalato de butilo)
 - iv. poliamidas
 - v. acetales
 - vi. PC (policarbonato)
- Alto desempeño
 - i. PPS (polisulfuro de fenileno)
 - ii. PEEK (polieteretercetona)
 - iii. poliimida
 - iv. poliéter imida
 - v. PAI (copolímeros poliamida-imida)

Otra manera de clasificación se muestra en el esquema 2.2



Esquema 2.2 Clasificación de los polímeros en forma Integral.

Una de las características de las estructuras termoplásticas son la existencia de fuerzas de Van der Waals entre las cadenas moleculares, que son similares a las fuerzas electrostáticas y pueden esquematizarse en la Fig. 2.1. Los polímeros termoplásticos son polímeros que pueden fundirse o reblandecerse en su forma polimérica. El efecto del calor es vencer las fuerzas de Van der Waals entre las moléculas por medio de la agitación térmica haciendo posible el flujo. Además los termoplásticos pueden soldarse y sus desechos son reciclables.

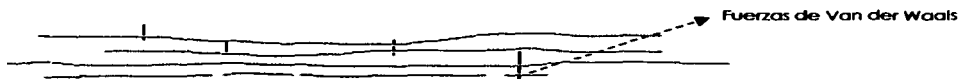


Figura 2.1 Estructura Termoplástica

Una estructura termofija tiene un alto grado de entrecruzamiento y tiene como propiedad ser relativamente estable a los efectos del calor cuando no alcanza su temperatura de descomposición y se muestra en la Fig.2.2. Los polímeros termofijos al calentarlos por primera vez se forman entrecruzamientos, transformándolos en insolubles. Estos enlaces no se rompen fácilmente con el calor y por tanto tenemos materiales más fuertes y duros. Por otro lado, estos materiales no son tan moldeables como los termoplásticos. No son reciclables.

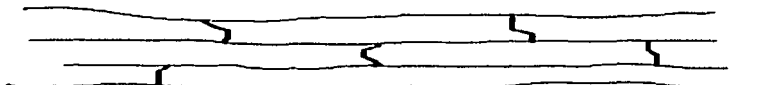


Figura 2.2 Estructura termofija

Las estructuras elastoméricas ya sean naturales o sintéticas tienen cadenas moleculares que se mantienen unidas por medio de unos cuantos enlaces químicos llamados de entrecruzamiento como se observa en la Fig. 2.3 Este tipo de estructura permite que los materiales se vuelvan elásticos con el calor sin fundirse.

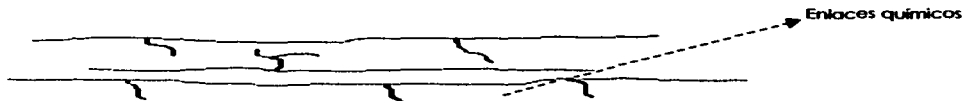


Figura 2.3 Estructura del caucho

En la tabla 2.8 se hace una comparación entre los polímeros termoplásticos y termofijos.

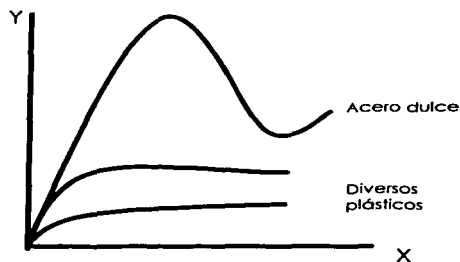
Termoplásticos	Termoestables
Endurecen físicamente el material líquido	Endurecen por reacción química, con frecuencia por formación de enlaces cruzados de las cadenas
Estados sólido líquido y líquido	El líquido se convierte irreversiblemente en un sólido
Es posible recuperarlos después de haberlos fundido	No pueden directamente recuperarse los desperdicios
No hay una temperatura crítica	Muchas veces pueden soportar altas temperaturas

Tabla 2.8 Comparación de termoplásticos y termoestables

2.3.1 Propiedades

Las propiedades de los polímeros no solamente se relacionan con la naturaleza química de los monómeros sino que también habrá que considerar algunos elementos: distribución y extensión de la cristalinidad, distribución de la longitud de la cadena, naturaleza y cantidad de aditivos, agentes de refuerzo y plastificantes. Los anteriores elementos, entre otros influyen esencialmente en todas las propiedades poliméricas, tales como la dureza, resistencia al rasgado, a la degradación, apariencia, color y vida útil. Quizá la propiedad más importante y característica de los polímeros es que sus propiedades físicas dependen del tiempo. Esto es muy importante cuando se diseña un producto o material que soportará carga. Si un material está sujeto a una carga, se generarán esfuerzos en él y se deformará o flexionará. En la mayoría de los materiales comunes, como el concreto o los metales, estas características se manejan fácilmente ya que los materiales se comportan linealmente.

Sin embargo los polímeros se comportan de manera diferente, se deforman mucho y su respuesta no es lineal, si se conserva el esfuerzo, se incrementa gradualmente la deformación. Estos diferentes tipos de comportamiento se muestran en las gráficas 2.1 y 2.2



Gráfica 2.1 Comportamiento esfuerzo (Y)- deformación (X) de materiales tradicionales



Gráfica 2.2 Curvas deformación (Y)-tiempo(X) a carga constante

2.3.1.1 Resistencia a los disolventes

Los disolventes afectan a los termoplásticos, al caucho y a los termofijos de diferente manera, como se muestra en las Figs. 2.4, 2.5 y 2.6. Por lo general los termoplásticos son solubles en disolventes ya que las moléculas del disolvente separan las cadenas y estas entran en solución. El secado hace regresar al termoplástico a su estado normal.

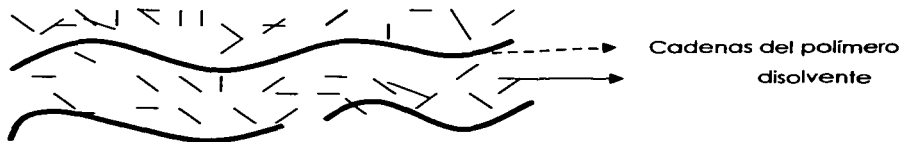


Figura 2.4 Termoplásticos en solución

El caucho se hincha a medida que el disolvente penetra entre las cadenas. Por lo común los enlaces químicos entre las cadenas de polímero no se rompen. Al extraer el disolvente el caucho suele recuperar su tamaño y resistencia originales.



Figura 2.5 Caucho saturado con disolvente

Los plásticos con un alto grado de entrecruzamiento son poco afectados por los disolventes. Este tipo de polímeros no puede disolverse a menos que se rompan las uniones de entrecruzamiento



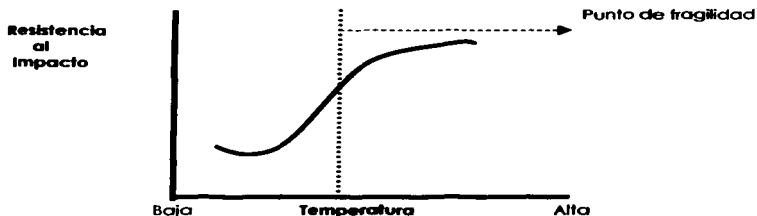
Figura 2.6 Plástico entrecruzado

2.3.1.2 Resistencia a la Intemperie

La resistencia a la intemperie depende de una combinación de factores ambientales que incluyen la luz ultravioleta UV, el agua y las variaciones de la temperatura. Algunos plásticos absorben UV en su superficie lo que produce los efectos ambientales más pronunciados en los plásticos, la degradación del material toma varias formas en los diferentes plásticos como: fragilidad o rasgaduras, manchas blancas superficiales, cambios de color o la variación de sus propiedades eléctricas. Unos cuantos plásticos, tales como los acrílicos, transmiten los rayos UV sin sufrir casi ningún daño. Para aumentar la resistencia a la intemperie se pueden usar cargas y absorbentes UV.

2.3.1.3 Fragilidad

Es la pérdida de la capacidad del plástico a soportar la aplicación de una fuerza. Se correlaciona con la temperatura y con la resistencia al impacto, como se muestra en la Gráfica 2.3. Los plásticos con un alto grado de entrecruzamiento, son frágiles a temperatura ambiente y mantienen sus propiedades casi sin variar hasta temperaturas criogénicas.



Gráfica 2.3 Curva de Resistencia al Impacto-Temperatura

2.3.1.4 Tipos de degradación

La degradación de un polímero es causada principalmente por una ruptura en la molécula, modificando la estructura del polímero y su peso molecular. Se distinguen varios tipos de acuerdo a los agentes de inicio:

- Foto-degradación producida por la luz
- Foto-degradación oxidativa por luz y oxígeno
- Degradación térmica por calor
- Degradación termoxidativa por calor y oxígeno
- Degradación oxidativa por agentes atmosféricos
- Degradación mecánica por agentes físicos con fricción
- Degradación hidrolítica por humedad
- Degradación foto-hidrolítica por humedad y luz
- Biodegradación por hongos y microorganismos
- Degradación química por agentes químicos

La degradación mecánica de polímeros cubre los fenómenos de fractura así como los cambios químicos inducidos por esfuerzos mecánicos. Sin embargo existen límites de carga y de hecho bajo un esfuerzo mecánico permanente, los materiales plásticos pueden exhibir un comportamiento completamente diferente de los encontrados con los metales. La degradación se puede dar por medio de un proceso ambiental el cual involucra simultáneamente la acción de la luz UV, oxígeno y emisiones atmosféricas o por deterioro oxidativo durante su procesamiento, el cual se basa en la acción simultánea de calor, fuerzas mecánicas y oxígeno.

Las consecuencias de estos procesos pueden ser:

- Cambios físicos como la decoloración, pérdida de brillo superficial, formación de grietas, superficies pegajosas, erosión superficial.
- Pérdida de propiedades tales como la resistencia a la tracción y alargamiento.

2.4 Materiales compuestos

Los materiales compuestos tienen dos o más constituyentes combinados de una forma que resulta en una unión mecánica o adhesiva entre los materiales. Para formar un material compuesto se distribuye un material de relleno en una matriz, de forma que el relleno refuerce la matriz. Típicamente el relleno es un material fuerte y rígido, en tanto que la matriz tiene una densidad relativamente baja, cuando los dos materiales se unen entre sí, gran parte de la capacidad de soporte de carga del compuesto es producida por el material de relleno. La matriz sirve para sostener el relleno en una orientación favorable en relación con la forma de carga y para distribuir las cargas al relleno. La matriz por lo general es una resina termoestable y los rellenos son fibras orgánicas e inorgánicas. Algunas de sus aplicaciones en la Industria en general se dan en la tabla 2.9.

	Ejemplos
Estructuras de satélites y transportadores	Estructuras de satélites y transportadores
Tuberías, tanques, estructuras petrolíferas	Tuberías, tanques, estructuras petrolíferas
Paneles, aislantes, cajas de interruptores	Paneles, aislantes, cajas de interruptores

Tabla 2.9 Algunas aplicaciones de materiales compuestos

2.4.1 Resinas termoestables

Las resinas termoestables se convierten en sólidos duros y frágiles por uniones químicas cruzadas que llevan a la formación de una red tridimensional fuertemente unida de cadenas de polímeros. Las propiedades mecánicas dependen de las unidades moleculares que forman la red y de la extensión así como la densidad de los enlaces cruzados. La baja viscosidad inicial de estas resinas permite la incorporación de grandes cantidades de rellenos o fibras, esto ha conducido al desarrollo de una gran cantidad de compuestos y de diversos procesos de fabricación. En la tabla 2.10⁶ se resumen algunas principales características de algunas resinas genéricas (diferente reactivo) y en la tabla 2.11 características en general

	Comentarios	
Epoxy	Generalmente no es usada en servicios químicos con mucha humedad	
Phenolic	Buena resistencia química en varios ambientes	
Vinyl Ester	Excelente resistencia química	
Epoxy Novolac	Excelente resistencia química en ambientes severos	
Vinyl Ester	Excelente resistencia química, álcalis y componentes con cloro	
Epoxy	Provee buena resistencia química	
Epoxy	Excelente resistencia química a los solventes	

Tabla 2.10 Tipos de resinas genéricas

⁶Tabla tomada de Mallinson H. John. Corrosion-resistant Plastic composites in Chemical plant Design

		Resinas termoestables	
		Fenólicas	Aminas
		Excelente resistencia a humedad, ácidos y aceites, no resiste a oxidantes fuertes	Excelente resistencia a las grasas, aceites y ceras
		Excelentes propiedades eléctricas	Excelentes propiedades eléctricas
		Baja flamabilidad y baja generación de humos	Baja flamabilidad
		Requiere calor y presión	Requiere calor y presión
		Madera, mica, hojuelas de vidrio, fibras	Celulosa, fibra de vidrio

Tabla 2.11 Características generales de algunas resinas

2.4.2 Fibras

2.4.2.1 Fibras de Carbón

Las fibras de carbono de alta resistencia y alto módulo tienen un diámetro de 7 a 8 μ m se están volviendo cada vez más populares debido a que se ha ido reduciendo su costo. Se producen actualmente varios tipos con diferentes materiales iniciales. Las primeras fibras de grafito se hicieron con rayón, otras a partir de alquitrán de petróleo. Se puede utilizar con una resina, pero su costo es muy alto en comparación con otros materiales compuestos. Es muy utilizada en la aeronáutica. En la tabla 2.12⁹ se muestran las propiedades de algunas de estas fibras.

Propiedades	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Contenido de carbono %	92-94	97	>99.9
Grado de oxidación	1.7-1.8		1.9-2.1
Densidad (g/cm ³)	7-8		8-9
Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	220-250		520-550
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	2.5-3.5		1.8-1.9
Resistencia al impacto (kg/cm ²)	20		3
Resistencia a la abrasión (mm)	15-18		6-7

Tabla 2.12 Propiedades de algunas fibras de carbón

2.4.2.2 Kevlar

La fibra orgánica con mayor éxito comercial ha sido desarrollada por DuPont con la marca registrada Kevlar. Se dispone de muy pocos detalles sobre los procesos de fabricación. Kevlar es una poliamida aromática, resistente a la abrasión y aunque tiene usos limitados por su costo, sus aplicaciones en la industria pueden ser de gran interés pero a medida que baje su costo su aplicación será mayor. En la tabla 2.13¹⁰ se muestran algunas propiedades de esta fibra.

	Kevlar 29	Kevlar 49 Mejorada
	1.44	1.44
	13	11
	62	124
	2.8 3.8	4.1
	87	68

Tabla 2.13 Propiedades de fibras Kevlar

9, 10. Tabla tomada de Enciclopedia of Polymer Science and Engineering

2.4.2.3 Fibra de Vidrio

Se han usado muchas composiciones diferentes de vidrios minerales para producir fibras. Las composiciones típicas de los tres vidrios mejor conocidos se dan en la tabla 2.14¹¹. El vidrio E (E de eléctrico) es el más comúnmente usado porque se estira bien, el vidrio C (C de corrosión) tiene una excelente resistencia a la corrosión química que el vidrio E, pero es más caro y de propiedades de resistencia inferiores. El vidrio S es más caro que el vidrio E y más resistente a la temperatura, se usa en la aeronáutica. Las propiedades algunas fibras de vidrio se muestran en la tabla 2.15¹².

	SiO ₂	CaO, MgO	Na ₂ O	Módulo de elasticidad GPa
E	52.4	21.8	0.8	724
C	64.4	16.6	9.1	517
S	64.4	10	0	855

Tabla 2.14 Composición de varios tipos de vidrio

Fibra	E
1	2.60
2	9
3	72
4	3.45
5	83
6	1260
7	600

Tabla 2.15 Propiedades de algunas fibras de vidrio

11, 12 Tabla tomada de Enciclopedia of Polymer Science and Engineering

2.4.3 Fabricación

Hay muchos procesos de fabricación para los materiales compuestos, es importante reconocer el profundo efecto que el proceso de fabricación tiene sobre las propiedades finales. En la tabla 2.16¹³ se resumen algunos procesos de fabricación.








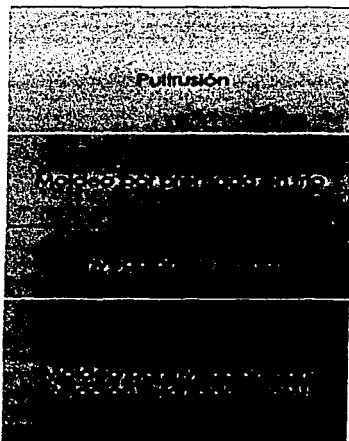
Resumen del proceso	
	Se colocan sobre el molde fieltros de fibra enrollada, mechas trenzadas y otros tejidos hechos de fibras y se impregnan con resina a brocha y pasando un rodillo, se ponen capas hasta que se llegue al espesor de diseño. El moldeado cura sin calor ni presión.
	Se proyectan simultáneamente hilos cortados y resina a un molde preparado y se pasa el rodillo antes de que la resina endurezca.
	Se impregnan capas de fibras, normalmente hojas unidireccionales, con resina y se curan parcialmente para formar un pre-impregnado. Las hojas de pre-impregnado se colocan en la superficie del molde en orientaciones determinadas, se cubren con un saco flexible, y se consolidan usando otro de vacío o de presión en autoclave a la temperatura de curado requerida.
	Mechas o hilos continuos de fibras se pasan sobre rodillos y guías para pasar por un baño de resina y se van enrollando después usando una máquina controlada por programa sobre un mandril con ángulos preestablecidos. La resina cura parcial o totalmente antes de sacar el componente, normalmente un tubo del mandril.
	Se introducen mezclas de fibras y resinas en un molde rotatorio y se dejan curar in situ.
	Las matrices calientes y acopladas se cargan con materia prima (compuestos de hojas continuas, tejido o pre-impregnado unidireccional) y se comprimen para que se adapten a la cavidad y curen.
	Se inyectan polímeros fundidos o en estado plástico mezclado con fibras cortas, normalmente a alta presión, en la cavidad de un molde rasurado y se deja solidificar o curar.

Tabla 2.16 Procedimientos de fabricación

¹³ Tabla tomada de Mallinson H. John, Corrosion-resistant Plastic composites in Chemical plant Design



Una alimentación continua de fibras en una orientación preseleccionada se impregna con resina y se comprime a través de un útil calentado (trefila) para darle la forma de la sección final. (por ejemplo tubos o perfiles en I). Durante el paso por la matriz se produce un curado parcial o total.

Es un proceso a baja presión y baja temperatura en el que las fibras se impregnan con resina y se comprimen entre dos útiles macho y hembra. El calor se genera durante el curado.

Se ponen fibras en forma de tejido en el útil, el cual se cierra después, entonces se inyecta la resina a baja presión en la cavidad y fluye entre las fibras hasta llenar el espacio del molde.

Un sistema de resina de curado rápido que consta de dos componentes que se mezclan inmediatamente antes de la inyección. Las fibras, o se ponen en el molde cerrado antes de inyectar la resina o se añaden cortadas a trozos y desordenadas a uno de los componentes de la resina para formar una mezcla antes de la inyección.

continuación de la Tabla 2.16 Procedimientos de fabricación

La forma en que las fibras se orienten determinaran las propiedades finales del producto como muestran las figuras siguientes

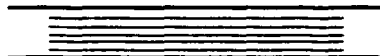


Figura 2.7 Fibras en 0° o unidireccionales



Figura 2.8 Fibras en 90°

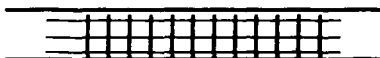


Figura 2.9 Fibras bidireccionales



Figura 2.10 Fibras en $+45^\circ$



Figura 2.11 Fibras en -45°

2.4.4 Fibra de vidrio/resina epoxi

La fibra de vidrio/resina epoxi es considerado un material nuevo, ya que sólo es ocupado cuando los metales no pueden emplearse en servicios corrosivos. Es un material compuesto que tiene una capa fibrosa formada por las fibras de vidrio C, las cuales definen las propiedades mecánicas y la resina epoxi, es la que le da la protección a la corrosión. En la tabla 2.17¹⁴ se muestra el porcentaje de resina y de fibra que se agrega para evitar la corrosión.





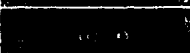
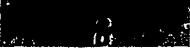
		% Resina epoxi
		
		80-90
		75
		90
		
		

Tabla 2.17 Porcentajes de resina epoxi y de fibra de vidrio

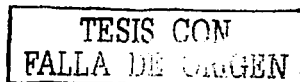
La resina epoxi comercial se hace a partir del bisfenol A (obtenido a partir del fenol y de la acetona) y la epoclorhidrina (producida a partir del alcohol alílico). Algunas de sus propiedades son su elevada adherencia a superficies metálicas y excelente resistencia a los productos químicos, puede transportar los siguientes fluidos a una temperatura no mayor de 93°C .

Ácidos:

- ácido acético, 10% a 65°C
- ácido benzoico
- algunos ácidos grasos
- ácido sulfúrico, 20% a 82°C

Bases:

- hidróxido de sodio, 50% a 82°C
- hidróxido de calcio
- Hidróxido de Magnesio



¹⁴Tabla tomada de Sixsmith Thomas, Handbook of thermoplastic Piping System Design

Sales:

- metálicas: aluminio, bario, calcio, magnesio, potasio, sodio.

Solventes:

- alcoholes: metílico, etílico e isopropílico a 65°C
- benceno a 65°C
- tolueno
- xileno

Otros

- agua destilada
- agua de mar
- gasolina y aceite

Las capas constitutivas del tubo son las siguientes:

- Capa interior (químico-resistente).- Es la que está en contacto directo con el fluido transportado y cuya función es garantizar la máxima resistencia al ataque químico de dicho fluido, una superficie interna suficientemente lisa, exenta de defectos, grietas o rugosidades. Generalmente está reforzada con una lámina de vidrio C y otras veces se le agrega un fieltro de vidrio E de 375g/m².
- Capa intermedia (mecánico-resistente).- Su función es garantizar la resistencia mecánica de las paredes del tubo contra todos los esfuerzos a los que será sometido durante el servicio y las operaciones previas de transporte y puesta en obra. Está capa estratifica sobre la anterior, una vez que ésta ha alcanzado una consistencia suficiente, su contenido de refuerzo es alto.
- Capa externa (o de gel).- Tiene un espesor del orden de algunas décimas de mm, está constituida por resina pura sin refuerzo y cuya función es garantizar la completa impregnación de las fibras de vidrio periféricas, así como conseguir una superficie externa del tubo exenta de fibras que afloren al exterior, aumentando la resistencia del tubo a agentes externos.

Como todo material tiene sus ventajas y desventajas, como se describen a continuación:

Ventajas

- Es resistente a la corrosión interna y externa, utilizándose con fluidos químicos corrosivos y teniendo un tiempo de vida más largo que los materiales metálicos.
- Es un material muy ligero por lo que puede ser fácilmente instalado por poco personal reduciendo los costos de instalación.
- Su disponibilidad en el mercado, ya que conforme se ha ido aplicando en la industria en general existen más productores.
- Es fácil de reparar cuando existen fugas entre sus uniones, ya que se repara en el mismo sitio usando herramientas sencillas y no se requiere de equipo de soldar como en las estructuras metálicas.
- Debido a que su superficie es lisa le ofrece poca resistencia al fluido y menor poder de bombeo, lo que contribuye a un ahorro de energía.
- Se puede pintar y sus propiedades no se alteran.
- Presenta baja conductividad eléctrica.
- Puede transportar a un fluido a una velocidad mayor de 10ft/seg. (ver Sismith Thomas. Handbook of Thermoplastic Piping System Design)

Desventajas

- No puede utilizarse en temperaturas mayores de 260°C.
- No soportan presiones de operación arriba de 300psi.
- Requiere de más soportería

Sus propiedades se pueden ver en la tabla 2.18¹⁵

Propiedades	Valores	Pruebas
Resistencia a la tracción	1.6-2.0	ASTM D 2202
Resistencia a la compresión	1.75	ASTM D 2202
Resistencia a la flexión	2.50	ASTM D 2202
Resistencia a la torsión	2.80	ASTM D 2202
Resistencia a la fatiga	2.9	ASTM D 2202
Resistencia al impacto	14200	ASTM D 2202
Resistencia a la abrasión	4	ASTM D 2202
Resistencia a la corrosión	150-260	ASTM D 2202

Tabla 2.18 Propiedades de la Fibra de vidrio/resina epoxi

¹⁵Tabla tomada de Conley Corporation GRP Piping System

III. HIDRAÚLICA DE TUBERIAS DE AGUA CONTRA INCENDIO

3.1 Flujo de Agua

El diseño de tuberías de agua contra incendio es semejante al que se utiliza para determinar las condiciones hidráulicas de cualquier tubería de una planta de proceso. Además se aplica el mismo principio teórico para varios materiales. En el cálculo es importante establecer los principios teóricos fundamentales.

En una tubería lisa a velocidad baja, se produce muy poca turbulencia y el flujo es llamado laminar, con esta condición todas las partículas de agua se mueven a lo largo de la tubería en patrones definidos que son esencialmente líneas rectas. El flujo permanece laminar en tuberías lisas o rugosas hasta que la velocidad aumenta, en este punto existe un rango de inestabilidad del flujo, el cual no es laminar ni turbulento. Esta es llamada la zona de transición, a medida que el flujo se incrementa llega la turbulencia. En el flujo turbulento el fluido se mueve en remolinos y las partículas individuales del agua se mueven rápidamente al azar en cualquier punto más que en línea recta.

Reynolds demostró que para cualquier líquido el punto crítico al cual el flujo cambia de laminar a turbulento puede predecirse. En tuberías circulares el punto crítico ocurre cuando el parámetro adimensional llamado número de Reynolds, es aproximadamente 2100. La transición a la zona de completa turbulencia es cuando el número de Reynolds excede de 4000. La expresión para el cálculo del número de Reynolds se muestra en la ecuación 3.1

$$Re = 50.6 \frac{Q\rho}{D\mu} \dots\dots\dots 3.1$$

donde:

- Q = flujo volumétrico, GPM
- ρ = densidad del fluido, lb/ft³
- D = diámetro interno de la tubería, pulg.
- μ = viscosidad, cp

3.2 Cálculo del factor de fricción

En el caso de régimen laminar en un tubo cilíndrico se demuestra que para un fluido newtoniano (aquel fluido donde la viscosidad es constante a una temperatura independiente de la presión y el flujo), con una distribución parabólica de las velocidades de cada sección recta resulta la ecuación 3.2:

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \dots\dots\dots 3.2$$

donde:

- f = factor de fricción
- Re = número de Reynolds

En los regímenes turbulentos el factor de fricción (f) depende de las características de la corriente y de la rugosidad de la pared interior del tubo y se determina por experimentación. El factor de fricción es el punto de encuentro para concordar las fórmulas teóricas con los resultados experimentales. A partir de $\text{Re} > 2320$ y hasta valores de Re de 70,000 a 100,000 para el régimen turbulento liso la fórmula de Blasius (ecuación 3.3), presenta buena concordancia con experimentos realizados. En el régimen turbulento rugoso es necesario hacer intervenir la rugosidad de la pared interior de la tubería, Nikuradse, tras la experimentación con tubos de interior artificialmente rugoso obtenido con granos de arena de determinado diámetro, estableció la ecuación 3.4:

$$f = \frac{0.3164}{\text{Re}^{1/4}} \dots\dots\dots 3.3$$

$$\frac{1}{f} = 2 \log_{10} \left(\frac{D}{K} \right) + 1.14 \dots\dots\dots 3.4$$

donde:

- K = el tamaño de la rugosidad de la pared interior de la canalización
- D = el diámetro interno de la tubería.
- f = rugosidad

Vemos que en esta ecuación f no depende de Re sino solamente de la rugosidad relativa K/D . El envejecimiento de la tubería hace que cambie f ya que la rugosidad va aumentando con el tiempo de servicio de la tubería, por deposiciones y corrosiones. La ley de variación de la rugosidad en función de la "edad" de la tubería no es demasiado bien conocida. Se puede calcular la rugosidad K , correspondiente a la edad de t años de funcionamiento de la conducción mediante la ecuación 3.5:

$$K_f = K_0 + \alpha t \dots\dots\dots 3.5$$

El índice 0 corresponde a $t = 0$. El coeficiente de edad depende de un gran número de parámetros, como el material de la tubería, su revestimiento interior, las características del flujo (velocidad, diámetro, etc.). Como ejemplo se presentan en la tabla 3.1¹ los valores para el caso del agua y en la tabla 3.2² se muestra el valor de la rugosidad para el acero.

	Coeficiente de edad (α)	
	Mínimo	Máximo
Agua	0.005	0.055
Agua con arena	0.055	0.180
Agua con óxido de hierro	0.18	0.40
Agua con óxido de hierro y sulfuro de hidrógeno	0.40	0.60
Agua con sulfuro de hidrógeno	0.60	1.00

Tabla 3.1 Aumento de la rugosidad con el tiempo

1, 2 Tabla tomada de Mohinder L. Nayyar, Piping Handbook.

Material de la tubería	Estado de la pared	Rugosidad (μm)
Acero laminado	Nuevo, no almacenado	10-30
	Nuevo, almacenado, según la duración	30-50
	Revisado después de varios años de servicio	50-100

Tabla 3.2 Rugosidad de el acero

3.3 Pérdida de carga en tuberías

Al circular el agua por una tubería roza con la pared de la misma tubería y pierde parte de la velocidad por la fricción que se produce entre el material líquido contra el sólido de la pared. En tanto mayor es la velocidad mayor será el roce. La pérdida por fricción se define como la pérdida de energía producto de la resistencia que la tubería opone al paso del agua. La fórmula general tiene la siguiente expresión:

$$H_f = J \times L \dots\dots\dots 3.6$$

donde:

H_f = Pérdida de energía o carga producto de la fricción (m)

J = Pérdidas de carga por cada metro de tubería (m/m)

L = Longitud de la tubería de conducción (m)

Las pérdidas por carga pueden calcularse utilizando la ecuación de Hazen y Williams, la cual es más ampliamente utilizada.

$$J = \frac{Q^{1.85}}{(0.28 C)^{85} D^{4.86}} \dots\dots\dots 3.7$$

donde:

Q = Caudal a transportar (m^3/s).

D = Diámetro interior de la tubería (m).

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams (tabla 3.3)

Material	C
PVC	150
Acero	140
Aluminio	135
Hormigón	130
Plástico Común	125
Polietileno	120

Tabla 3.3 Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales

Las pérdidas de energía o cargas menores se producen cuando la tubería induce el agua a cambiar de dirección, estas se pueden producir por codos, reducciones de diámetro, válvulas o llaves, o cualquier obstrucción que encuentre el agua que le impida seguir circulando en línea recta. La ecuación 3.8 se utiliza para calcular estas pérdidas.

$$H_s = \sum \left(\frac{K * V^2}{2 * g} \right) \dots\dots\dots 3.8$$

donde:

H_s = Pérdidas singulares o menores (m).

V = Velocidad de circulación del agua (m/s).

g = Aceleración de gravedad (9.8 m/s²).

K = Constante adimensional de coeficiente de resistencia que depende de los accesorios que se contemplan en el diseño. (tabla 3.4)

3.4 Velocidad de flujo

Las tuberías pueden estar construidas por varios materiales. Poseen un diámetro que es aquel que define una sección o área para que circule el agua. Según sea el diámetro será la sección que dispone el agua para recorrer la tubería. Una tubería de diámetro menor tendrá también una menor sección que una de mayor diámetro. La relación que se utiliza para calcular el área disponible para que circule el agua por la tubería es la siguiente:

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \dots\dots\dots 3.9$$

donde:

A = área (m²)

π = 3.14159

D= Diámetro interno (m)

	Coefficiente K
Codo 90°	0.90
Manifold	2.50
Elbow	24.00
Tees	5.60
Van	1.15
Gate	0.19
Ball Valve	10.00
Check Valve	2.50
Diaphragm Valve	0.42
Plug Valve	0.32
Butterfly Valve	0.19
Control Valve	0.92
Control Valve	0.56
Control Valve	0.19
Control Valve	1.80
Control Valve	0.42
Control Valve	1.80

Tabla 3.4 Coeficientes de pérdida de carga K

A su vez la velocidad está en función del caudal y del diámetro. La ecuación que se utiliza para calcular el caudal que circula por una tubería es:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots 3.10$$

Por lo que la velocidad está dada por:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \dots\dots\dots 3.11$$

donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad (m/s)

A = área de la tubería

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La selección de la velocidad correcta es quizá la consideración más importante al dimensionar tuberías. Una velocidad excesiva originará elevadas pérdidas por rozamiento con el resultado de un aumento en el bombeo. En algunos casos se puede producir erosión en las curvas y en los asientos de las válvulas. La velocidad razonable del agua para redes de tuberías es de 1.83 a 3.66 m/seg. (6 a 12 ft/seg.), cuando se trate de agua dulce, para agua salada se recomienda una velocidad de 1.22 a 2.44 m/seg. (3 a 15 ft/seg.)

Para la fibra de vidrio los cálculos de la velocidad se hacen por medio de las siguientes ecuaciones 3.12³ y 3.13⁴ (reglas de Thumb) se pueden aplicar a diferentes tamaños de tubería.

- Máxima velocidad para fluidos no corrosivos

$$v = \frac{48}{\rho^{0.33}} \dots\dots\dots 3.12$$

- Máxima velocidad para fluidos corrosivos

$$v = \frac{24}{\rho^{0.33}} \dots\dots\dots 3.13$$

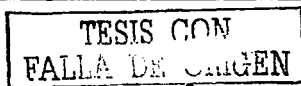
donde:

- v = velocidad ft/seg.
- ρ = densidad del fluido lb/ft

3.5 Diámetro de la tubería

Las tuberías se clasifican en función de su diámetro y del espesor de pared. En tuberías de acero los diámetros nominales normalizados están comprendidos en el intervalo de 1/8 a 30 in. En tuberías grandes de más de 12in de diámetro, el diámetro nominal es igual al diámetro externo real. Para tuberías de 3 a 12in el valor nominal es próximo al diámetro interno real, pero para tuberías más pequeñas esto no es cierto. Las tuberías de otros materiales se fabrican también con el mismo diámetro externo que las tuberías de acero, con el objeto de poder intercambiar las diversas partes de un sistema de conducción.

3, 4 Ecuaciones tomadas de Conley Corporation GRP Piping System



El espesor en tuberías metálicas se calcula por medio de la ecuación 3.14

$$t = \frac{PD}{2S} + C \dots\dots\dots 3.14$$

donde:

- t = espesor del tubo, en plg
- P = presión interna, lb/plg²
- D = diámetro exterior del tubo, en plg
- S = esfuerzo admisible, en plg
- C = tolerancia por corrosión, en plg

Para la fibra de vidrio se puede calcular por medio de las ecuaciones 3.15⁵ y 3.16⁶.

- Diámetro mínimo de tubería para fluidos no corrosivos

$$d = \frac{0.73 \left(\frac{Q}{SG} \right)^{0.5}}{\rho^{0.33}} \dots\dots\dots 3.15$$

- Diámetro mínimo de tubería para fluidos corrosivos

$$d = \frac{1.03 \left(\frac{Q}{SG} \right)^{0.5}}{\rho^{0.33}} \dots\dots\dots 3.16$$

donde:

- Q = rapidez de flujo gal/min. (gpm)
- d = diámetro interno de la tubería (ID) in
- SG = gravedad específica del fluido
- ρ = densidad del fluido lb/ft

Para tuberías de descarga el diámetro se calcula por la ecuación 3.17⁷.

$$d = 0.321 \left[\frac{Q}{(SG)^2} \right]^{0.434} \dots\dots\dots 3.17$$

5, 6, 7. Ecuaciones tomadas de Conley Corporation GRP Piping System

Y para tuberías de succión la ecuación 3.18*

$$d = 0.434 \left[\frac{Q}{(SG)^2} \right]^{0.434} \dots\dots\dots 3.18$$

donde:

- d = diámetro interno (ID) in
- Q = rapidez de flujo gal/min. (gpm)
- SG = gravedad específica

El espesor para la fibra de vidrio se calcula por medio de la ecuación 3.19* (fórmula de Barlow), aunque el espesor mínimo medio debe ser indicado por el fabricante y debe ser el adecuado para poder cumplir con las especificaciones de cálculo dadas en la norma ASTM D2996.

$$t = \frac{PD}{2S} \dots\dots\dots 3.19$$

donde:

- t = espesor de la pared, in
- P = presión interna, psi
- D = diámetro interno, in
- S = esfuerzo, psi

3.6 Accesorios para unir tuberías

Los accesorios pueden servir dependiendo su finalidad podemos encontrar los siguientes:

- I. Unir partes de tubería
- II. Para cambiar la dirección de la tubería
- III. Para cambiar el diámetro de la tubería
- IV. Para bloquear una línea

En los accesorios para conectar tuberías encontramos una clasificación de:

*. 9 Ecuaciones tomadas de Conley Corporation GRP Piping System

-
-
- ✓ Uniones por soldadura a tope.- Se emplean comúnmente para líneas de 2" y mayores, resultando al sistema más económico de unión para tuberías de gran diámetro. En el caso de diámetro de 1 1/2 y menores se emplean la unión roscada o la soldadura en hueco.
 - ✓ Uniones por soldadura-hueco.- Se emplean al igual que la roscada para tuberías de diámetro pequeño, pero tiene la ventaja de evitar la pérdida de fluido sobretodo cuando se manejan sustancias tóxicas o flamables.
 - ✓ Uniones por roscados.- Se emplean para diámetros menores o igual de 2"
 - ✓ Uniones Bridadas.- Son las más empleadas en la unión de tuberías, válvulas, accesorios y equipos, así como son más fáciles de desarmar en las labores de mantenimiento. Esta unión la constituyen 2 bridas con un empaque entre ella. Hay bridas de diversas formas según sean las condiciones de uso y para diversas presiones, la robustez de las bridas aumenta conforme aumenta la presión interna del tubo. Los tipos de bridas pueden ser clasificados según sea la forma de unirlos al tubo, algunos son:
 - Bridas de cuello soldable.- Se fijan por soldadura a tope o al casco, son elegidas cuando se requiere de inspección de radiografía y proporcionan una óptima distribución de la presión. Su uso es para condiciones de servicios severos, alta presión, temperatura criogénica.
 - Bridas corredizas.- Se deslizan sobre el tubo y se fijan con 2 soldaduras de filete, proporcionan fácil ensamblado y bajos costos. Se recomiendan para servicio moderado
 - Bridas de transape.- También se deslizan sobre el tubo y se usan más frecuentemente con casquillos de transape. Pueden hacerse de aleaciones o de materiales no ferrosos para servicios corrosivos. Su servicio es básicamente cuando se requiere de frecuente inspección y desmontaje. Se emplean para grandes diámetros.

-
- Bridas roscadas.- Se enroscan firmemente en el tubo a fijar y se usan cuando no es posible soldarlas, así como en tuberías pequeñas de 2" o menores. El servicio es para altas presiones y temperatura moderada.
 - Bridas de caja.- Se fijan insertando el extremo final de la tubería dentro de la caja de la brida aplicando soldadura de filete en el extremo del cuello. Se emplea para servicio en tuberías de diámetro pequeño.
 - Bridas de orificio.- Se emplea para medir la cantidad de líquidos y gases, mediciones de volumen o en donde otros factores hacen difícil la medición por desplazamiento.

3.6.1 Adhesivos

Por varios años los adhesivos han servido para unir materiales débiles como papel, madera, etc. Los descubrimientos de nuevos plásticos y elastómeros han hecho posible adhesivos más resistentes y adecuados para aplicaciones en diversos materiales. Hoy en día se utilizan adhesivos para unir metales con metales u otros materiales.

Las juntas adhesivas pueden hacerse suficientemente resistentes para varios propósitos como ahorrar peso, son baratos, pueden servir como sellos y aislantes, tienen resistencia a la corrosión, vibración y fatiga. Cualquiera que sea la junta debe seleccionarse un adhesivo adecuado a los materiales que se van a unir, a las temperaturas de exposición y otras condiciones bajo las cuales deba permanecer la junta.

Las caseínas y las gomas naturales tienen amplio uso, pero los plásticos termofraguados, termoplásticos y los elastómeros se vuelven más y más importantes en aplicaciones. Las resinas epóxicas tienen un uso creciente por la adhesión que tienen con muchos materiales. Algunos adhesivos son mezclas de polímeros diferentes para obtener propiedades deseadas para aplicaciones particulares, por ejemplo los epoxinylon están entre los adhesivos adecuados para temperaturas de -240°C. Los silicones y poliimidias forman adhesivos que dan servicio para exposiciones cortas a 480°C.

Los adhesivos cerámicos frágiles basados en un baño de vidrio fundido soportan hasta 815°C. Las uniones adhesivas se hacen en varias formas, en cualquier caso las superficies que van a unirse deben estar limpias. Los adhesivos líquidos o pastas se aplican con brocha, espátula, pistola o rodillos. Algunas características comunes de los adhesivos se muestran en la tabla 3.5.

Ventajas	
	Uniones fuertes, resistencia al movimiento, mayor endurecimiento, resistencia a la temperatura, resistencia química, se mezcla muy bien con otros adhesivos, tolerancia a los huecos
	Sistema de un componente, curado rápido, es resistente
	Buen sellado, tolerancia a los huecos, buena resistencia al impacto, resistencia a la baja temperatura, pueden ser muy flexibles en las uniones, algunos son 100% sólidos
	Excelente pegado, resistente al impacto y no tan frágil, excelente adherencia a los metales, tolerante a superficies contaminadas, curado a temperatura ambiente

Tabla 3.5 Características comunes de algunos adhesivos

IV. NORMATIVIDAD

Mencionaremos a continuación los principales aspectos que rigen la normatividad de materiales a usar en las plataformas marinas. Por una parte sabemos que usualmente los códigos propuestos por diferentes asociaciones exponen los requerimientos mínimos de diseño, materiales, fabricación, erección, pruebas y la inspección de los sistemas de tuberías, mientras que las normas contienen reglas de diseño y construcción así como los componentes individuales de las tuberías tales como codos, tes, válvulas y otros. Los códigos y las normas que se utilizan para los sistemas de tuberías así como de los componentes son publicados por diferentes organizaciones., éstas tienen comités que representan asociaciones de la industria, productores, grupos profesionales, usuarios, agencias gubernamentales, compañías de seguros y otros grupos. Los comités son responsables de mantenerse actualizados y de revisar los códigos y normas en vista del desarrollo tecnológico. La revisión de varios códigos y normas son publicados periódicamente, por lo tanto es importante para Ingenieros, Diseñadores, personal técnico y otros profesionales tener conocimiento de estos cambios. En este capítulo mencionaremos los códigos y las normas que se especializan y relacionan con las tuberías. Algunos de estos códigos y normas son discutidos brevemente.

4.1 American Society for Testing and Materials (ASTM)

La ASTM es una organización científica y tecnológica que desarrolla y publica reglas, así como el rendimiento de materiales, productos, sistemas y servicios. Las normas publicadas por la ASTM incluyen pruebas para determinar y verificar características con respecto a la composición química, así como las propiedades de armado contra la resistencia a la tensión. Las normas cubren materiales purificados (metales) tales como el acero y productos básicos, la maquinaria y el equipo de fabricación. Muchas de estas normas tienen referencia obligatoria y aplicable en códigos de tuberías. Las normas de la ASTM son publicadas y asignadas en 67 volúmenes. Cada volumen es publicado anualmente e incorporado a las normas ya existentes revisando y eliminando las obsoletas.

4.2 American Society of Mechanical Engineers (ASME)

La ASME edita códigos que amparan diseño, materiales, pruebas, cálculo, soldadura, inspección, etc., de tuberías, calderas y recipientes a presión.

4.3 American Petroleum Institute (API)

La American Petroleum Institute publica especificaciones (Spec.), Boletines (Bull.), Prácticas recomendadas (RP), Normas (Std.) y otras publicaciones (Publ.). Algunas publicaciones principalmente son pretendidas para usarse en la industria del Petróleo. Los siguientes documentos están relacionados con las tuberías y son publicados por API:

- Spec. 2B-90 Specification for the fabrication of Structural Steel Pipe
- Spec. 5AR-81 Specification for Reinforced Thermosetting Resin Casing and Tubing
- Spec. 5L-90 Specification for Line Pipe
- Spec. 5LC-88 Specification for CRA Line Pipe
- Spec. 6D-91 Specification for Pipeline Valves
- Spec. 6FA-85 Specification for Fire Test for Valves
- Spec. 15AR-87 Specification for Fiberglass Casing and Tubing
- Spec. 15HR-88 Specification for High Pressure Fiberglass Line Pipe
- Spec. 15LE-87 Specification for Polyethylene Line Pipe
- Spec. 15LP-87 Specification for Thermoplastic Line Pipe
- Spec. 15LR-90 Specification for Low Pressure Fiberglass Line Pipe
- Bull. 5A2-88 Bulletin on Thread Compounds for Casing, Tubing, and Line Pipe
- Bull. 5C3-89 Bulletin on Formulas and Calculations for Casing, Tubing, Drill Pipe, and Line Pipe Properties

4.4 American Water Works Association (AWWA)

La AWWA publica normas y cubre los requisitos para los componentes de tubos y tuberías usados en conducción de agua o sistemas de distribución, también incluye artículos con respecto a hidrantes para incendios.

4.5 Instrument Society of America (ISA)

La ISA elabora y publica normas, prácticas recomendadas monografías y pruebas con respecto a los instrumentos y controles automáticos en las tuberías.

4.6 Building Officials Conference of America (BOCA)

La BOCA ha publicado una serie de códigos nacionales, manuales y otros documentos que contienen requerimientos tecnológicos y otra información relacionada con tubería. La siguiente lista son algunas publicaciones:

- National Building Code
- National Mechanical Code
- National Plumbing Code
- National Private Sewage Disposal Code
- National Fire Prevention Code
- National Energy Conservation Code
- BOCA National Code Interpretations
- Fire Protection Systems Workbook
- Plumbing Materials and Sizing Selector

4.7 Plastics Pipe Institute (PPI)

La gente interesada en la aplicación de los plásticos en sistemas de tuberías podrá encontrar las siguientes publicaciones de PPI como ayuda, además como complemento la PPI publica reportes técnicos, notas técnicas y recomendaciones para sistemas de tuberías plásticas.

- PPI Handbook of Polyethylene Piping
- Engineering Basics of Plastics Piping
- Plastic Piping Manual

4.8 National Fire Protection Association (NFPA)

La NFPA es una asociación voluntaria representada por miembros cuyo interés es proteger contra el fuego a sociedades profesionales, instituciones educativas, compañías de seguros, equipos de producción, construcción, contratistas y grupos de transportación. La NFPA publica códigos, normas, guías y prácticas recomendadas en 12 volúmenes y son llamados National Fire Codes. Desde el volumen 1 al 8 contienen textos y normas actuales del National Fire Codes.

Los volúmenes 9 al 11 contienen prácticas recomendadas y guías consideradas para la práctica de la Ingeniería. El volumen 12 contiene interpretaciones formales, rectificaciones provisionales, faltas cometidas en la impresión de documentos relacionados con los volúmenes 1 al 11. Algunas publicaciones son:

- Technical Committee Documentation and Reports
- Automatic Sprinkler Systems Handbook
- Flammable and Combustible Liquids Code Handbook
- Fire Litigation Handbook
- Fire Protection Handbook
- Liquefied Petroleum Gases Handbook
- Life Safety Code Handbook
- National Electrical Code
- National Fuel Gas Code Handbook
- National Fire Codes and Standards

4.9 Normatividad aplicada al sistema contra incendio

- PEMEX NO.01.0.13 Accesorios para el servicio contra incendio
- PEMEX AVII-1 Materiales para tubería de agua contra incendio
- PEMEX AVII-11 Materias primas contra incendio
- PEMEX AVII-18 Sistemas de aspersores para protección contra incendio
- PEMEX NO.01.0.26 Requisitos generales para el proyecto, construcción y equipamiento de las redes de agua contra incendio
- PEMEX PV.42 Manual de procedimientos en ingeniería de diseño

- PEMEX NO.01.2.01 Protección contra incendio de las instalaciones de proceso
- PEMEX NO.2.253.01 Requisitos generales para tableros de cuarto de control
- PEMEX NO.2.411.01 Sistemas de protección anticorrosivo a base de recubrimientos
- PEMEX NO.3.411.01 Aplicación e Inspección de recubrimientos para protección anticorrosivo
- PEMEX NO.4.411.01 Recubrimientos para protección anticorrosivo
- PEMEX NO.2.431.01 Sistemas para agua de servicio contra incendio

Especificaciones extranjeras

- NFPA No. 10 Standard for potable FIRE extinguisher
- NFPA No. 13 Standard for the installation on sprinkler systems
- NFPA No. 13D Standard for the installation on sprinkler systems in one-and-two-family dwellings and mobile homes
- NFPA No. 12 Standard for carbon dioxide extinguishing systems
- NFPA No. 14 Standard for the installation of standpipe and hose systems
- NFPA No. 15 Standard for water-spray fixed systems for fire protection
- NFPA No. 20 Standard for the installation of centrifugal fire pumps
- NFPA No. 22 Standard for the installation water tanks for private fire protection
- NFPA No. 24 Standard for the installation of private fire service mains and their appurtenances
- NFPA No. 72 Installation, maintains and use of protective signaling systems
- NFPA No. 72E Standard on automatic fire detectors
- NFPA No. 80 Standard of FIRE doors and windows, 1999
- NFPA No. 497A Recommended practice for classification of class I hazardous locations for electrical installation in chemical plants
- NFPA No. 497B Recommended practice for classification of class II hazardous (classified) locations for electrical installation in chemical processing plants
- API-RP-14C Recommended practice for analysis, design, installation and testing of basic surface safety system for offshore production platforms
- API-RP-14G Recommended practice for fire prevention and control on open type offshore production platform

-
- API-RP-750 Management of process hazards
 - API publication 2030 Guidelines for application of water spray systems for fire protection in the petroleum industry
 - ISA-S5.1 Instrumentation symbols and identification
 - ISA-S5.4 Instrument loop diagrams

4.10 Normatividad aplicada a la tubería de fibra de vidrio

Métodos de ensayo y control

- ASTM D1599 Short-time Hydraulic Failure Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings
- ASTM D2105 Longitudinal Tensile Properties of Reinforced Thermosetting Plastic Pipe and Tube
- ASTM D2290 Apparent Tensile Strength of Ring or Tubular Plastics by Split Disk Method
- ASTM D2412 External Loading Properties of Plastic Pipe by Parallel Plate Loading
- ASTM D2924 External Pressure Resistance of Reinforced Thermosetting Resin Pipe

Compressive Properties

- ASTM D695 Compressive Properties of Rigid Plastics

Bending Properties

- ASTM D2925 Measuring Beam Deflection of Reinforced Thermosetting Plastic Pipe under Full Bore Flow

Internal Pressure Strength long term

- ASTM D1598 Time to Failure of Plastic Pipe under Constant Internal Pressure
- ASTM D2143 Cyclic Pressure Strength of Reinforced Thermosetting Plastic Pipe
- ASTM D2992 Obtaining Hydrostatic Pressure Design Basis for Fiberglass

Otras

- ASTM C581 Standard Practice for Determining Chemical Resistance of Thermosetting Resins Used in Glass-fiber-reinforced Structures Intended for Liquid Service
- ASTM D618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing
- ASTM D635 Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Self-Supporting Plastics in a Horizontal Position
- ASTM D883 Terminology Relating to plastics
- ASTM D1141 Specification for Substitute ocean Water
- ASTM D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics
- ASTM D1898 Practice for Sampling of Plastics
- ASTM D2310 Classification for Machine-Made "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe
- ASTM D2863 Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics
- ASTM D2996 Specification for Filament-Wound "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe
- ASTM D3262 Standard Specification for "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Sewer Pipe
- ASTM D3517 Standard Specification for "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pressure Pipe
- ASTM D3754 Standard Specification for "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Sewer and Industrial Pressure Pipe
- ASTM D4161 Standard Specification for "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe Joints Using Flexible Elastomeric seals
- ASTM D2997 Specification for Centrifugally Cast "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe
- ASTM D23567 Practice for Determining Dimensions of "Fiberglass" (Glass-fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings
- ASTM D4024 Specification for Reinforced Thermosetting Resin (RTR) Flanges
- ASTM F412 Terminology Relating to plastic Piping Systems

Normas ANSI

- ANSI/AWWA C950-95 Standard for fiberglass pressure pipe

Otros documentos

- National Sanitation Foundation Standard 14 MIL-P-24608 (SH) Pipe, Fittings, and Adhesive Kits, Glass Reinforced Thermosetting Epoxy Resin For Shipboard piping Systems

Prácticas de Instalación Recomendadas

- ASTM D3839 Standard Practice for Underground Installation of Flexible Reinforced Thermosetting Resin Pipe and Reinforced Plastics Mortar Pipe
- AWWA C950 Appendix A. Design Requirements and Criteria for RTRP and RPM for Water Service
- API RP5L4 Recommended Practice for the Care and Use of Reinforced Thermosetting Resin Casing and Tubing
- API 1615 Installation of Underground Petroleum Storage Systems

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES

5.1 Acero

Debido a su amplia gama de propiedades utilizables y a su general disponibilidad, los metales constituyen una clase de materiales que son de primera importancia en las necesidades de la sociedad moderna. Aunque la corrosión es un factor importante a considerar en la duración de una estructura metálica.

México es un gran productor de acero por lo que gran parte de la tubería usada en plantas es de este material, es relativamente barato y de gran calidad, está completamente normatizado su uso, es disponible en nuestro mercado y se tiene la experiencia de varias instalaciones que han empleado aceros para el transporte de agua de diferentes calidades.

Para el sistema de tuberías de agua contra incendio el acero al carbón es un material que presenta una buena resistencia mecánica a la tensión, compresión e impacto e incluso temperaturas altas, pero para el transporte de agua salada, el acero al carbón es susceptible a ser corroído.

En el acero al carbón, la velocidad de corrosión se ve afectada básicamente por la velocidad del fluido durante su transporte, el pH de la solución, la cantidad de sales alcalinas, la concentración de CO_2 y O_2 . En la tabla 5.1¹ se ve el comportamiento que tienen algunos hierros y aceros con diversos fluidos incluyendo el agua de mar.

Se puede observar que el comportamiento que tiene el acero con el agua de mar turbulenta va de regular a bueno.

En las instalaciones PEMEX-Exploración-Producción (PEP) el sistema de agua contra incendio se transporta a través de acero al carbón, encontrándose que la velocidad de corrosión con base en la información del sistema y la base de datos de corrosión del Departamento de Sistemas, es del orden de 18mpy (milésimas de pulgada por año)².

² Datos proporcionados por el Instituto Mexicano del Petróleo IMP

Fluidos a transportar	Hierro colado aleación sencilla	Hierro dúctil	Acero dulce, aceros y Hierros de baja aleación
	1		1
	3		3
	5		5
	4		4
	0		0
Estática o con mov. lento Turbulenta		4	
Estática o con mov. lento Turbulenta		4	
		3	
	4		4
	4		4
	1		1

Tabla 5.1 Comportamiento de algunos hierros y aceros. 0-no apropiado, 1-malo a regular, 2-regular, para condiciones moderadas o cuando no sea posible la sustitución periódica. Usos restringidos, 3-regular a bueno, 4-bueno, apropiado cuando las alternativas superiores no sean económicas, 5-bueno a excelente, 6-normalmente excelente.

Algunas causas de que el sistema de tuberías presente corrosión es por:

- Falla en la evaluación del espesor por corrosión
- Empleo de aceros de baja calidad
- Falta de mantenimiento

TESIS CON
 FALLA DE CALIDAD

¹ Tabla tomada de Perry H. Robert, Manual del Ingeniero Químico, Tomo IV

5.2 Acero galvanizado

Una medida para que el sistema de tuberías prolongue su servicio con el agua de mar, es utilizar un recubrimiento sobre un metal base que puede ser acero o hierro.

El cadmio y el zinc protegen (actúan como ánodo de sacrificio) al acero y son útiles para la protección contra la corrosión. De los datos de velocidades de corrosión que se dan en la tabla 5.2³

Velocidad de corrosión (mm/año)	
Zinc	
0.005	
0.0018	
0.0025	

Tabla 5.2 Velocidades de corrosión relativas de cadmio y zinc

En la tabla 5.2 puede verse que en atmósferas marinas el cadmio es más resistente, pero en atmósferas industriales el zinc lo es más.

En una película de acero galvanizado la cubierta de zinc actúa como un ánodo y protege la estructura que está abajo, aún si la superficie no está totalmente cubierta por que la base expuesta es el cátodo y no se corroe, cualquier corrosión que ocurra se realiza en la superficie anódica del zinc, en tanto que el zinc permanezca suministrará protección al acero o hierro expuesto. El recubrimiento de zinc sirve como un ánodo de sacrificio que se corroe a si mismo en vez del acero que se está protegiendo.

³Tabla tomada de Feliu Sebastián. Corrosión y protección de los metales en la atmósfera.

En la Fig.5.1 se muestran algunos ejemplos, una ventaja de tal procedimiento es que el ánodo gastado puede ser reemplazado en forma bastante fácil

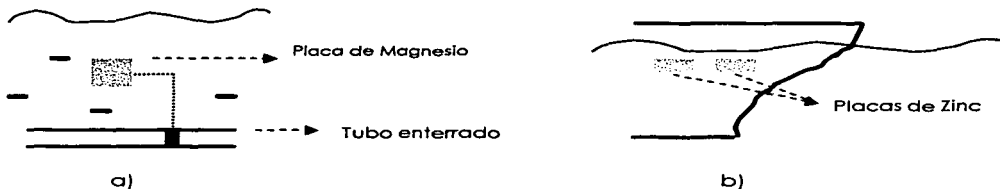


Figura 5.1 Ánodos de Sacrificio (a) Placas de Magnesio enterradas a lo largo de una tubería (b) Placas de zinc en el casco de un barco.

Un segundo método de protección galvánica es el de un voltaje aplicado en el metal. Esto está ilustrado en la Fig. 5.2. Tanto el método del ánodo de sacrificio como el del voltaje aplicado, implican el mismo principio de protección; esto es, se dan electrones extra de manera que el metal se transforme en cátodo y que las reacciones de corrosión no procedan.

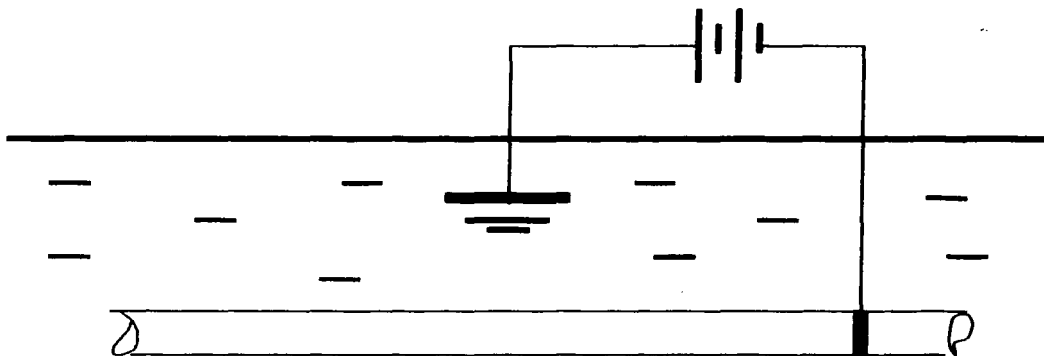


Figura 5.2 Voltaje Aplicado Un pequeño voltaje directo suministra electrones suficientes que transforman el equipo en un cátodo.

Las propiedades mecánicas de la estructura recubierta dependen del material base, si este es un acero sus propiedades serán similares.

Unas desventajas pueden ser:

- aumenta el peso en relación al acero
- La mayoría de los recubrimientos metálicos tienen que aplicarse en el taller, por lo que son poco aptos para la protección de grandes estructuras a menos que se decida y sea factible recubrir primero por separado las diferentes partes de la estructura que después serán ensambladas
- El ánodo de sacrificio puede ser favorable aunque se pueden requerir varias toneladas de ánodo de sacrificio dependiendo que velocidad de corrosión le afecte y el tamaño de la estructura a proteger

5.3 Acero inoxidable

Los aceros inoxidables reciben su nombre por la resistencia a la corrosión, el principal elemento de aleación en estos aceros es el cromo, pueden utilizarse para temperaturas de hasta 650°C con buena retención de sus propiedades. El comportamiento de estos aceros con diversos fluidos se puede observar en la tabla 5.3⁴.

Observándose que para el agua de mar sólo tres aceros presentan resistencia al agua de mar, como:

- Ferrítico.- 29-4
- Austenítico.- Nitronic 50
- Duplex.- 3RE60

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

Clase	Material	Cl ⁻	Cl ⁻ Neu.	Cl ⁻ Pos.	Br ⁻	OH ⁻	NO ₂ ⁻	H ₂ O + O ₂	Agua
Ferríticos	405		1			1	5	1	
	18-2		1			3			
	26-1		1			4	1		
	26-1S		1			4	1		
	29-4		1			4	1		
	430		1				1		
Martensíticos	434		1						
	431		5			4	1		
	410		2		5	2	2	2	
	Ca6NM		5						
	440ABC		5				1		
	PH15-7		4				1		
	17-4PH		4						
	PH13-8		4						
	17-7PH		5				1		
	Custom450		1			4	1		
	Custom455		1			4	1		
	202		5			4	1		
	216		5			4	1		
	216L		5			4	1		
Nitronic 60		4			4	1	1		
Austeníticos	Nitronic60		5			4	1		
	304		5			4	1	3	
	304L		5			4	1	3,4	
	309S		5			4	1	3	
	310S		5			4	1	3	
	316		5		4	4	1	3	
	316L		5			4	1	3,4	
	317		5			4	1	3	
	317L		5			4	1	3	
	321		5			4	1	1	
	347		5			4	1	1	
	329		5			4	1		
	Duplex	3RE40		1			3	1	3
	18-8-2		4			4	1		

Tabla 5.3 Medios acuosos que causan corrosión en aceros inoxidables. 1-Resistente, 2-Resistente a menos que sea forzado, 3-Resistente pero sensible, 4-Resistente excepto a altas temperaturas y concentraciones, 5-No resistente, X-no recomendada para este ambiente

⁴ Tabla tomada de Budinski Kenneth, Engineering Materials Properties and selection.

5.4 Fibra de vidrio/resina epoxi

La fibra de vidrio/resina epoxi se combina una fibra y una resina con excelentes propiedades físicas y mecánicas para dar un material con otras nuevas y superiores.

Las fibras tienen una resistencia y un módulo de elasticidad altos pero esto solo se desarrolla en fibras muy finas, con diámetros en el margen de 7 a 15 μ m y suelen ser muy frágiles. Las resinas normalmente tienen una resistencia considerable a los ambientes químicos. Combinando fibras y resinas se produce un material con una resistencia y una rigidez cercana a la de las fibras y con la resistencia química de las resinas. En las tablas 5.4⁵ y 5.5⁶ se muestran el comportamiento que tiene la fibra de vidrio con varios fluidos.

	Concentración %	
	50-75	
	5 10	
	10 100	
	25-43	
	10-50	
	25 50	
	—	

Tabla 5.4 Fluidos que puede transportar la fibra de vidrio/resina epoxi

⁵ Datos tomados de Conley Corporation GRP Piping Systems

Medio	Poliéster/fibra de vidrio	Epoxi/fibra de vidrio	Fenólica/amianto
H ₂ S (húmedo)	B		B
Cl ₂ (húmedo)	M		B
O ₂ (húmedo)	B		B
Gasolina	B		B
Benceno	R/B		B
Etanol	B		B
Acetona	M		M
Acido clorhídrico	B		B
Acido sulfúrico	B		B
Acido nítrico	R/B		B
Alcalis	B		B
Amoníaco	R/B		M/R
Alcalis fuertes	B		B
NaOH 10%	M/R		M
NaOH 50%	M		M
NaOH 100%	M/R		M
Alcalis débiles	B		B
Alcalis fuertes	B		B
Alcalis débiles	B		R/B

Tabla 5.5 Comportamiento de algunos materiales compuestos en medios químicos (<38°C)
 B-bueno, R-regular, M-malo.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

*Tabla tomada de Ramos Carpio, Ingeniería de los Materiales Plásticos.

En este tipo de tuberías de material compuesto (fibra de vidrio/resina epoxi) el acabado interno permite realizar un ahorro en la energía de bombeo del fluido, no requiere protección anódica, pesa un 40% menos que las tuberías de acero al carbón y acero inoxidable, lo que implica menores costos de transporte, manejo e instalación. La unión entre tramos puede ser por medio de adhesivos y son fáciles de aplicar como lo muestra la Fig.5.3⁷

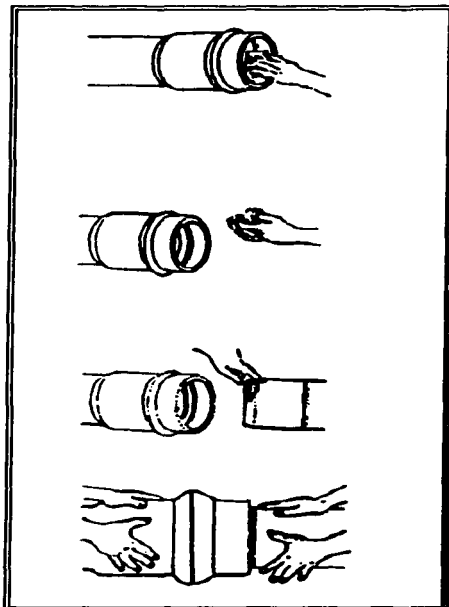


Figura 5.3 En las dos primeras figuras es la limpieza de la tubería, en la tercera es la aplicación del adhesivo y por último la unión de las partes

Este tipo de tuberías presenta generalmente menor resistencia al impacto que las tuberías de acero. Se puede fabricar en los mismos diámetros que el acero.

⁷ Figura tomada de Sixsmith Thomas. Handbook of thermoplastic Piping System Design

5.5 Costos

La fibra de vidrio/resina epóxi es un material que esta siendo utilizado en toda la Industria y puede sustituir al acero, en cuanto al costo que presentan los materiales se presentan en la tabla 5.6 se muestran los costos (precios vigentes del año 2002 peso/metro) que tienen diversas tuberías para transportar agua de mar.

mm	Galvanizada	Acero inoxidable
	C-40	C-80
13	14.82	34.20
19	21.0	40.0
25	33.79	45.5
32	46.29	62.90
38	55.28	76.10
51	74.51	85.50
64	123.89	130.40
76	161.91	174.60
89	—	213.0
101	235.23	250.50
127	—	332.60
152	—	457.0
203	—	694.20
254	—	1060
304	—	1459

Datos proporcionados por TAMSA (2002)

Datos proporcionados por Green Thread, Smith Barcast A Varco Company (2002)

Tabla 5.6 Costo de los materiales para transportar agua de mar del año 2002

8 Datos proporcionados por el Instituto Mexicano del Petróleo IMP

En la tabla 5.7 se hace una comparación de las propiedades con respecto al acero y la fibra de vidrio.

	Acero al carbón	
	0.284	
	30.0	
	66	
	33	
	—	
	—	
	290	
	400	
	—	

Tabla 5.7 comparación de acero al carbón y fibra de vidrio

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

La selección de los materiales que conforman un sistema de tuberías se realiza con un análisis técnico-económico, el cuál está basado en múltiples aspectos tales como el tipo de fluido a transportar, condiciones de operación, instalación, adquisición, transporte, equipo y mano de obra.

De las opciones analizadas los sistemas de tubería de materiales compuestos se han convertido en la solución ideal para una gran variedad de aplicaciones industriales, superando a los materiales tradicionales como el acero al carbón, por los costos de instalación y operación (ver ref. 5 de revistas).

El campo de aplicación de estos materiales es muy variado como:

- En la Industria
 - ✓ química
 - ✓ petroquímica
 - ✓ transporte de agua
 - ✓ alimenticia
 - ✓ papel
- Centrales eléctricas
- Construcción naval, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La fibra de vidrio se ha ido aplicando a la Industria Mexicana, por las ventajas que puede ofrecer, ya que no solo tuberías se pueden fabricar sino también tanques de almacenamiento, ductos de gases, válvulas, scrubbers, etc.

En el acero al carbón su limitación es la transportación de un fluido corrosivo como lo es el agua de mar, el precio de esta tubería es casi igual a la fibra de vidrio/resina epoxi (ver tabla 5.6 de costos de materiales), siendo más factible para su aplicación. La tubería de acero al carbón tiene propiedades mecánicas buenas, por eso es muy utilizado como material estructural y es utilizada en la Industria en general.

El sistema de tuberías de agua contra incendio debe ser de un material que soporte el transporte de agua de mar que por sus características es muy corrosiva, porque la finalidad del sistema es proporcionar seguridad para que a través de los aspersores, hidrantes, etc., descargue agua sobre una superficie específica, ya que el agua de mar está en abundancia para utilizarla en las plataformas y por ello su utilidad para los incendios.

La fibra de vidrio/resina epoxi tiene las siguientes características:

- Mínima rugosidad interna para el ahorro de energía de bombeo del fluido, así como utilizar un diámetro menor debido a una reducción en el factor de fricción
- Su resistencia a fluidos corrosivos como el agua de mar
- Facilidad de transporte de los tubos y el levantamiento, los cuales dependen del peso de los tubos
- La corrosión no la afecta en gran proporción como a las metálicas
- Proporciona seguridad al personal
- El agua de mar puede adquirir una velocidad mayor que con el acero (ver ref. 32)
- Facilidad de ser reparada en comparación con el acero por su peso y el costo que esto implica
- La fibra de vidrio/resina epoxi ha sido ampliamente instalada en la industria del petróleo y gas de países desarrollados, en servicios sin riesgo
- Su economía es otro aspecto importante

Sin embargo su poca resistencia mecánica, así como a los impactos son unas de sus desventajas. Teniendo en mente que también existe información más detallada en Normas y Códigos como el ASTM, API ASME, entre otros donde se discute la selección de materiales apropiados para el diseño de partes, herramientas, etc., así como las pruebas de evaluación para los mismos.

TUBERÍAS
FALLA DE ORIGEN

La tubería de acero inoxidable tiene un comportamiento mecánico parecido al acero al carbón, su costo es lo que lo hace inaccesible para la transportación de agua de mar, en este caso la tubería de acero inoxidable si puede transportar el agua de mar, pero como es un análisis estructural-económico la fibra de vidrio/resina epoxi es buena con respecto al costo y estructura.

En cuanto a los recubrimientos metálicos, la resina epoxi actúa en la fibra de vidrio como un recubrimiento y como se menciona en el análisis de los materiales compuestos, la resina y la fibra de vidrio se agregan en varios porcentajes dependiendo la función para la que se va a utilizar la tubería además de que el recubrimiento metálico es más pesado que la misma tubería de fibra de vidrio/resina epoxi.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

1. Agarwal Bhagwan and Broutman Lawrence Analysis and Performance of Fiber Composites Ed John Wiley and Sons, 1990
2. Anderson J.V. Ciencia de los Materiales, Ed. Limusa, México, 1988
3. Askeland Donald R, La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Grupo Editorial Iberoamérica, 1987.
4. Avner S.H. Introducción a la Metalurgia Física, 2ª edición, Ed. Mc. Graw-Hill, 1989.
5. Budinski Kenneth G., Michael K. Budinski, Engineering Materials Properties and Selection. Ed. Prentice Hall, 1999.
6. Caballero Domínguez Francisco Vidal, Criterios de Selección de material para el manejo de fluidos corrosivos, Lic. I.Q. UNAM, FES Zaragoza, 1989.
7. Colombier R., J. Hochmann. Aceros Inoxidables Ed. Urmo, 1988
8. C.P. Dillon. Corrosion Resistance of Stainless. 1995
9. Conley Corporation GRP Piping System, 2000.
10. Chantereau Jean. Corrosión Bacteriana. Ed. Limusa 1985.
11. D.H. Morton-Jones. Procesamiento de Plásticos. Ed. Limusa, 1993
12. D.N.W. Kentish. Tuberías Industriales. Diseño, selección, cálculo y accesorios. Ed. Urmo, 1989.
13. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, High performance Polymers and composites, Ed. John Wiley and Sons, 1991.
14. Feliu Sebastián, Manuel Morcillo. Corrosión y protección de los Metales en la Atmósfera. Ed. Bellaterra, Barcelona, 1982.
15. Flinn A. Richard, Paul K. Trojan, Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones, Ed. Mc. Graw-Hill, 1985
16. Foundation Nuffield, Química Avanzada. Metalurgia, Ed. Reverte, 1975.
17. Gómez Ulibarri María, Criterios y análisis básicos de los sistemas de seguridad de una plataforma, Lic. I.Q. UNAM, FES Zaragoza, 1991.
18. Helmut Thielsch. Defectos y Roturas en recipientes a presión y tuberías. Ed. Urmo, 1969.
19. Herbert H. Uhling and R. Winston Revie. Corrosion and corrosion control. An Introduction to corrosion Science and Engineering, 3ed., Ed. John Wiley and Sons, 1992.
20. Jones Robert M. Mechanics of Composite Materials, Ed. McGraw-Hill, 1975.
21. Mallinson H. John, Corrosion-Resistant Plastic composites in Chemical Plant Design, Ed. Marcel Dekker, New York, 1988.
22. Mohinder L. Nayyar, P.E. Gaed. Piping Handbook. Ed. McGraw-Hill, 1992

-
-
23. Moore D. Harry, Donald R. Kibbey. Materiales y Procesos de Fabricación. Industria Metalmeccánica y de plásticos. Ed. Limusa. 1987.
 24. Mott, Robert. Resistencia de Materiales Aplicada. Ed. Prentice-hall. 1996.
 25. Perry H. Robert, Green W. Don., Manual del Ingeniero Químico, 6a ed. Ed. Mc Graw-Hill, Tomo VI y Tomo II, 1992.
 26. Piatti, Luigi Feliz Peter, Materiales de la Ingeniería Química, Ed. Urmo, Barcelona, 1973.
 27. Ramos Carpio M.A., M.P. de María Ruiz, Ingeniería de los Materiales Plásticos, Ed. Díaz de Santos, 1988.
 28. Rase Howard and Barrow M.H. Ingeniería de Proyecto para plantas de proceso Ed. Continental, 1973.
 29. Rase Howard F. Piping Design for Process Plants Ed. John Wiley and Sons, 1963.
 30. Schweitzer Philip A., Corrosion and corrosion Protection Handbook, Ed. Marcel Dekker, 1989.
 31. Reno C. King, Piping Handbook, Ed. Mc Graw-Hill, 1973.
 32. R.W. Dyson, Engineering Polymers, Ed. Chapman and Hall, 1990.
 33. Sixsmith Thomas, Hanselka Reinhard. Handbook of Thermoplastic Piping System Design, Ed. Marcel Dekker, 1997.
 34. Walter E. Driver. Química y Tecnología de los Plásticos. Ed. Continental, 1982.

Revistas

1. J.A Rolston. Fiberglass composites and Fabrication, Chem. Eng. January 28 1980.
2. J. A. Rolston. When and How to Select Plastics, Chem. Eng. October 1984 pp70-75 Vol. 91.
3. C. Robert Talbot. Using fiberglass Reinforced Plastic, Chem. Eng. October 1984 pp76-82 Vol. 91.
4. J.S Dorsey Using. Reinforced Plastics for Process Equipment!, Chem. Eng. September 1985 pp104-114.
5. A.H Tuthill. Installed cost of corrosion Resistant Piping, Parts 1, 2, 4, and 5 Chem. Eng. March 3 pp 113-115, March 31 pp 125, May 26 pp. 99-100 and Jun 23 pp 131-133 1986.
6. F. Britf. Stainless Steel vs. Fiber glass pipe, Chem. Eng. February 1990 pp 105-108 vol. 97.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN