



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Mecánica

**TÉCNICA DE FABRICACIÓN EN LAMINACIÓN A MANO PARA  
JUNTAS DE TUBERÍA DE RESINA EPOXI VINIL-ÉSTER REFORZADA  
CON FIBRA DE VIDRIO**

**Alejandro Pereira Berríos**

Asesorado por el Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TÉCNICA DE FABRICACIÓN EN LAMINACIÓN A MANO PARA  
JUNTAS DE TUBERÍA DE RESINA EPOXI VINIL-ÉSTER  
REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**ALEJANDRO PEREIRA BERRÍOS**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSUÉ IXPATA REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Osmar Omar Rodas Mazariegos
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado

### **TÉCNICA DE FABRICACIÓN EN LAMINACIÓN A MANO PARA JUNTAS DE TUBERÍA DE RESINA EPOXI VINIL-ÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO**

**tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en febrero 2008.**

  
**ALEJANDRO PEREIRA BERRÍOS**



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Como Catedrático Asesor del Trabajo de Graduación titulado **TÉCNICA DE FABRICACIÓN EN LAMINACIÓN A MANO PARA JUNTAS DE TUBERÍA DE RESINA EPOXI VINIL-ÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO**, presentado por el estudiante universitario **Alejandro Pereira Berríos** con **carne 94-17339**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

Vo. Bo. \_\_\_\_\_

Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes

Colegiado Activo No. 7128

Catedrático Asesor

**Edwin Josué Ixpata Reyes**  
Ing. Mecánico Industrial  
Colegiado No. 7128

Guatemala, Septiembre 2, 2008



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Área Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado TÉCNICAS DE FABRICACIÓN EN LAMINACIÓN A MANO PARA JUNTAS DE TUBERÍA DE RESINA EPOXI VINIL – ÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO, del estudiante **Alejandro Pereira Berríos**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Carlos Humberto Pérez Rodríguez*  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 2008.

/behdei

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área materiales y Complementaria, al Trabajo de Graduación titulado TÉCNICA DE FABRICACIÓN EN LAMINACIÓN A MANO PARA JUNTAS DE TUBERÍA DE RESINA EPOXI VINIL – ÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO, del estudiante **Alejandro Pereira Berríos**, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, octubre de 2008

JCCP/behdei

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **El Supremo Creador**

**Mis padres**            Dr. David Pereira Quiñónez  
                                 Dra. Ana Sara Berríos de Pereira

**Mi hermano**            Ing. David Pereira Berríos

**Mis abuelos**            David Leopoldo Pereira Soberanis (D.E.P.)  
                                 María Estela Quiñónez de Pereira (D.E.P.)  
                                 Francisco Berríos Cabrera (D.E.P.)  
                                 Sara Herrarte de Berríos (D.E.P.)

**Mi novia**                Claudia Irasema Santizo Morales

### **Mis tíos y primos en general**

#### **Mis amigos y compañeros**

En especial a  
Julio Edenilson Blanco Solórzano  
Juan Jose Martínez Herrera (D.E.P.)  
Luis Alberto Urrutia Mejicanos  
Cruz Eduardo Coy Mus  
Ronald Hernandez Bosarreyes  
Ing. Armando Pastrana Enriquez  
Ing. Elder Mauricio Lima Mora



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

Mi asesor            Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes, por toda la ayuda  
brindada, sus finezas, consejos y paciencia en la  
elaboración del trabajo de graduación.

Toda persona que de alguna manera ayudó a realizarla.



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
<b>1. RESINAS.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Tipos de resinas .....	4
1.3 Aplicaciones de la resina epoxi vinil-éster .....	8
1.4 Propiedades de la resina epoxi vinil-éster .....	10
1.5 Resistencia a la corrosión .....	10
<b>2. COMPONENTES DEL FRP.....</b>	<b>13</b>
2.1 Resina epoxi vinil-éster .....	13
2.2 Refuerzos .....	13
2.2.1 Tipos de refuerzo .....	14
2.2.1.1 Velo de superficie.....	14
2.2.1.2 Cordones cortados .....	15
2.2.1.3 Tejido de cordones cortados .....	16
2.2.1.4 Fibra trenzada .....	16
2.2.1.4.1 Fibra trenzada plana.....	16
2.2.1.4.2 Fibra trenzada cruzada.....	17

2.1.1.4.3 Fibra trenzada satinada.....	18
2.2.1.5 Otras variedades.....	18
2.2.2 Almacenamiento de la fibra de vidrio.....	19
2.3 Catalizadores .....	20
2.3.1 Selección de catalizadores .....	21
2.3.1.1 Peróxido de metiletilcetona .....	21
2.3.1.2 Peróxido de benzoílo .....	22
2.3.1.3 Hidroperóxido de cumeno .....	23
2.4 Selección de aditivos para el control de curado .....	23
2.4.1 Agentes antiespumantes y surfactantes.....	23
2.4.2 Promotores .....	25
2.4.3 Aceleradores .....	25
2.4.4 Retardante para tiempo de curado .....	26
2.4.5 Nota de seguridad .....	27
2.5 Otros aditivos y elementos removedores .....	27
2.5.1 Aditivos tixotrópicos.....	27
2.5.2 Protección ultravioleta .....	28
2.5.3 Recubrimiento final de cera y la inhibición del aire.....	29
2.5.4 Elementos removedores.....	29
2.5.5 Carburo de silicio.....	30
<b>3. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE LOS COMPUESTOS.....</b>	<b>31</b>
3.1 Laminación a mano.....	32
3.1.1 Preparación de la resina.....	33
3.1.2 Equipo y herramientas:.....	33
3.1.3 Acondicionamiento de tuberías .....	38
3.1.3.1 Preparación de tubería para laminación .....	38
3.1.3.1.1 Cortar los productos al tamaño deseado.....	39
3.1.3.1.2 Desgastando la capa superior .....	39
3.1.3.1.3 Bisel .....	41

3.1.3.1.4 Alineamiento de la tubería y separación .....	41
3.1.4 Condiciones ambientales .....	44
3.1.5 Comportamiento de la laminación con respecto el tiempo.....	44
3.1.6 Elaboración de la mezcla resina más aditivos .....	46
3.1.7 Laminación de conexiones .....	47
3.1.7.1 Laminación exterior .....	48
3.1.7.2 Laminación interior .....	51
3.2 Proceso de enrollado.....	52
3.2 Proceso de molde .....	55
<b>4. CONTROL DE CALIDAD DEL FRP .....</b>	<b>57</b>
4.1 Inspección visual de los plásticos reforzados con fibra de vidrio.....	58
4.1.1 Detección de fallas.....	59
4.2 Pruebas al FRP .....	62
4.2.1 Medición de la dureza.....	63
4.2.1.1 Dureza barcol .....	64
4.2.1.1.1 Descripción del medidor barcol.....	64
4.2.1.1.2 Uso del medidor barcol .....	66
4.2.1.1.3 Calibración del medidor barcol .....	66
4.2.2 Prueba de acetona .....	67
4.2.3 Prueba hidrostática .....	67
4.2.3.1 Consideraciones previas a la prueba hidrostática.....	68
4.2.3.2 Inspección durante la prueba hidrostática.....	68
4.2.4 Ultrasonido.....	69
4.2.4 Radiografía .....	70
<b>5. ESTUDIO ECONÓMICO.....</b>	<b>73</b>
5.1 Consideraciones.....	73
5.2 Comparación entre uso del FRP y otros materiales .....	74
5.3 Accesibilidad de los productos .....	77

5.4 Costo de manufactura.....	78
5.5 Beneficios del uso de FRP.....	79
<b>6. INFORMACIÓN DE SALUD INDUSTRIAL.....</b>	<b>81</b>
6.1 Hoja técnica de seguridad.....	82
6.2 Propiedades físicas.....	84
6.3 Peligros en caso de fuego y explosiones de los productos.....	84
6.4 Primeros Auxilios .....	85
6.5 Derrames .....	86
6.6 Información de desechos y medio ambiente.....	86
6.7 Datos de salud y peligros.....	87
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Velo de superficie.....	15
2. Cordones cortados.....	15
3. Tejido de cordones cortados.....	16
4. Fibra trenzada plana.....	17
5. Fibra trenzada cruzada.....	17
6. Fibra trenzada satinada.....	18
7. Diagrama de flujo para almacenamiento de fibra de vidrio.....	20
8. Soportes.....	34
9. Pulidora.....	34
10. Cinta para marcar.....	35
11. Lija.....	35
12. Agitador eléctrico.....	36
13. Agitador.....	36
14. Rodillo aireador.....	36
15. Báscula digital.....	37
16. Beaker.....	37
17. Marcando la tubería.....	39
18. Longitud a desgastar.....	40
19. Visel.....	41
20. Separación de junta.....	42
21. Diferencia de diámetro en la tubería.....	43
22. Herramienta para alinear y fijar tubería.....	43
23. Llenado de la ranura. ....	48
24. Utilizando el rodillo aireador.....	50
25. Impregnando resina al velo.....	51

26. Estructura para laminación interior.....	51
27. Proceso de enrollado.....	53
28. Proceso de enrollado discontinuo.....	54
29. Proceso de enrollado continuo.....	55
30. Burbujas de aire o vacíos.....	59
31. Ampolla.....	60
32. Rajadura por impacto.....	60
33. Resquebrajadura.....	61
34. Separación de capas.....	61
35. Identador barcol.....	65
36. Esquema de identador barcol.....	65
37. Scanner tipo P aplicaco en tuberías FRP.....	70
38. Radiografía con fallas en tubería.....	71
39. Radiografía con líquido presente.....	72
40. Figura de código NFPA 704.....	85
41. Hoja técnica de estructura de laminación.....	97
42. Evaluación de películas de radiografías.....	99
43. Hoja técnica de seguridad.....	101
44. NFPA 704.....	107

## TABLAS

I. Tipos de resina.....	4
II. Espacio permitido entre juntas.....	42
III. Tiempo de gel usando Norac Norox 925H/Superox 46-748 MEKP.....	45
IV. Extracto de hoja técnica para DN100.....	49
V. Comparación de costos de una distribución de tubería para FGD de 20 pies, incluyendo codo y tee.....	76
VI. Comparación de costos para sistemas instalados de tuberías rectas.....	76



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>®</b> <b>™</b>	símbolo de registrado legalmente.
<b>%</b>	porcentaje
<b>°F</b>	grados fahrenheit
<b>°C</b>	grados celsius
<b>Cu</b>	cobre
<b>Ni</b>	níquel
<b>Mm</b>	milímetros
<b>Pa</b>	pascal
<b>°</b>	grado
<b>gr</b>	gramo
<b>m<sup>2</sup></b>	metro cuadrado
<b>Cp</b>	centipoise
<b>US\$</b>	dólar americano
<b>http</b>	protocolo de transferencia de hipertexto
<b>www</b>	telaraña mundial
<b>≥</b>	mayor o igual
<b>psi</b>	libra por pulgada cuadrada
<b>W</b>	reacciona con el agua de manera inusual o peligrosa



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>FRP o GRP</b>	plásticos reforzados con fibra de vidrio
<b>MEKP</b>	peróxido de metiletilcetona
<b>CONAP</b>	naftenato de cobalto
<b>DMA</b>	dimetilnilina
<b>DMAA</b>	dimetilacetato acetamida
<b>DEA</b>	dietilnilina
<b>BPO</b>	peróxido de benzoilo
<b>CHP</b>	hidroperóxido de cumeno
<b>TBC</b>	catecolbutilo terciario
<b>Etc</b>	etcétera
<b>DN</b>	diámetro nominal
<b>L<sub>d</sub></b>	longitud para desgastar
<b>L<sub>m</sub></b>	longitud de laminación
<b>t<sub>m</sub></b>	separación de la junta
<b>phr</b>	partes por ciento de resina
<b>ASTM</b>	asociación americana de ensayo de materiales
<b>L<sub>i</sub></b>	longitud de laminado interno para tubería ≥DN500
<b>L<sub>id</sub></b>	longitud interna a desgastar
<b>END o NDT</b>	ensayos no destructivos
<b>ASME</b>	asociación americana de ingenieros mecánicos
<b>OSHA</b>	administración de seguridad y salud ocupacional
<b>NFPA</b>	asociación nacional de protección contra el fuego



## GLOSARIO

- Abrasión:** se le conoce a la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.
- Dímero:** es una molécula compuesta por dos unidades similares o monómeros enlazados.
- Corrosión:** es el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
- Dureza:** es una propiedad mecánica de los materiales consistentes en la dificultad que existe para rayar o crear marcas en la superficie mediante micro penetración de una punta.
- Flexión:** al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.
- Fluido:** es una sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta.
- Homogéneo:** sustancia o mezcla cuya composición y estructura son uniforme.

- Incrustación:** es la acción y el efecto de cubrirse una roca, un animal, o un vegetal, con una costra de sustancia mineral abandonada por el agua que la contiene en disolución.
- Ingrediente:** cualquiera de los elementos que forman un compuesto.
- Laminado:** proceso en el cual se colocan capas de un material para formar una estructura.
- Mezcla:** es una combinación de dos o más sustancias en la cual no ocurre transformación de tipo químico, de modo que no ocurren reacciones químicas.
- Polimerización:** es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.
- Proveedor:** persona o empresa que abastece de algunos artículos necesarios.
- Presupuesto:** es la previsión de gastos e ingresos para un determinado lapso, por lo general un año.
- Reacción Exotérmica:** es a cualquier reacción química que desprende calor.

- Refuerzo:** un elemento mecánico destinado a disminuir las tensiones o deformaciones máximas de un elemento estructural.
- Saturación:** estado de una disolución que ya no admite más cantidad de la sustancia que disuelve.
- Solubilidad:** es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra.
- Tensión:** al valor de la distribución de fuerzas por unidad de área en el entorno de un punto material dentro de un cuerpo material o medio continuo.
- Viscosidad:** es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales





## RESUMEN

En la industria, un medio de transportar fluidos es por medio de tuberías, estas se pueden encontrar de varios tipos de materiales, pero se recomienda el uso de tuberías manufacturadas con resina epoxi vinil-éster reforzadas con fibra de vidrio por su resistencia a la abrasión que se debe por conducir fluidos altamente corrosivo y abrasivo.

La fabricación de juntas de resina epoxi vinil-éster reforzadas con fibra de vidrio por laminación a mano se debe de seguir parámetros, procedimientos, reglas, protocolos con el fin de elaborar con buena calidad la manufactura de las mismas y sobre todo con el equipo personal de seguridad industrial para evitar cualquier riesgo de algún accidente al trabajador.

El éxito de una buena laminación se debe a buena mezcla en la resina que va a depender de la dimensión del trabajo a efectuar para fijar la mezcla de resina con su promotor, iniciador y aditivos. La cantidad de fibra de vidrio es determinada por el diseño de la tubería, ya que esta le proporcionará rigidez y al mismo tiempo elasticidad para soportar las cargas producidas por cambios de temperatura, por vibraciones, peso del fluido, etc.

En la elaboración de la junta se necesita una persona que tenga habilidades, destreza en el manejo de la resina para reducir los posibles defectos en la junta. Para la comprobación de la junta realizada se somete a ensayos no destructivos aprobados por normas internacionales que determinará si la junta esta en condiciones para ponerla en funcionamiento en la industria.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Desarrollar una guía de aplicación y elaboración de juntas en tubería manufacturada con resina epoxi vinil éster reforzado con fibra de vidrio.

### **ESPECÍFICOS**

1. Conocer las propiedades físicas para la aplicación y el uso correcto del plástico reforzado con fibra de vidrio.
2. Seleccionar las proporciones de los aditivos adecuados para el adecuado tiempo de polimerización de la resina.
3. Incentivar al estudio de otras técnicas del uso de este material compuesto.
4. Comparar la resina epoxi vinil-éster reforzada con fibra de vidrio contra las otras alternativas que hay en el mercado para la aplicación en la industria.
5. Elaboración de procedimientos para la correcta aplicación.



## INTRODUCCIÓN

Las resinas epoxi vinil éster han sido utilizadas con éxito durante los últimos 35 años para contener, distribuir, conducir productos altamente corrosivos. Los plásticos reforzados por fibra de vidrio (“FRP”, Fiber Reinforced Plastic o “GRP”, Glass Reinforced Plastic) están fabricados con resinas epoxi vinil éster.

Son usados como medio de conducción de fluidos abrasivos las tuberías, por ejemplo en las plantas de purificación de gases producidos motores de combustión interna donde sus productos son componentes químicamente abrasivos, por ello es de suma importancia entender los beneficios como su alta resistencia en ambientes abrasivos, resistencia a la temperatura, su bajo costo así como también sus limitaciones del FRP.

En las técnicas de laminación a mano para juntas de tubería de resina epoxi vinil-éster reforzada con fibra de vidrio, es indispensable conocer las propiedades físicas y químicas de la resina con sus componentes, aditivos, refuerzos para poder manejar con criterio esta práctica.

En este tipo de manufactura la calidad es un factor importante para el buen acabado del trabajo esto dará la mayor durabilidad de las juntas y menos costos por reparación o mantenimiento, todo esto acompañado con la seguridad básica para la salud del trabajador.



# 1. RESINAS

## 1.1 Antecedentes

En principio definiremos de donde sale la resina. La materia es la formación de varias moléculas que pueden variar de tamaño, a la unión de miles de pequeñas moléculas denominadas monómeros se le denomina polímeros que pueden llegar a formar enormes cadenas de formas diversas mediante enlaces. Un polímero de consistencia viscosa, pastosa o fluida se le denomina resina.

Los polímeros sin ser excluyentes, se pueden clasificar en: origen, mecanismo de polimerización, composición química, sus aplicaciones, su comportamiento al elevar la temperatura.

Según su origen:

- Polímeros naturales: son los que existen en la naturaleza y biomoléculas que forman a los seres vivos. Por ejemplo, las proteínas, el huleo o caucho natural.
- Polímeros semisintéticos: estos se logran por medio de la transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, caucho vulcanizado.
- Polímeros sintéticos: estos se obtienen industrialmente por medio de monómeros. Por ejemplo, nylon, cloruro de polivinilo (PVC), etc.

Según su mecanismo de polimerización:

- Polímeros de condensación: esta reacción en su proceso la formación de una molécula de masa molecular baja. El agua por ejemplo.
- Polímeros de adición: esta se crea cuando inicia la reacción por medio de un catalizador.
- Polímeros formados por etapas: esta se forma cuando una cadena de polímero crece progresivamente mientras se encuentre monómeros disponibles. El poliuretano por ejemplo.

Según su composición química:

- Polímeros orgánicos: este se identifica ya que su cadena principal posee átomos de carbono.
- Polímeros vinílicos: en la cadena principal de sus moléculas esta constituida solamente por átomos de carbono.
- Polímeros orgánicos no vinílicos: en la cadena principal además de tener carbono, tiene átomos de oxígeno o nitrógeno. Como poliésteres, poliamidas y poliuretanos.

Según sus aplicaciones:

- Elastómeros: estos materiales se deforman mucho tienden a deformarse mucho a un esfuerzo pero vuelven a su forma inicial



después de eliminar el esfuerzo. Estos tienen alta extensibilidad y bajo módulo de elasticidad.

- Plásticos: este material bajo un esfuerzo fuerte, se deforman irreversiblemente ya que no pueden regresar a su forma inicial. El término plástico es usado erróneamente al referirse a todos los polímeros.
- Fibras: estas presentan baja extensibilidad y un alto módulo de elasticidad. Esto ayuda a poder confeccionar ciertas fibras para confeccionar tejidos para mantener dimensiones estables.
- Adhesivos: estas son sustancias una alta atracción y adhesión, esto permite unir por contacto a dos o más cuerpos.
- Recubrimientos: son sustancias generalmente líquidas que se adhieren a la superficie de un material para brindarles algún tipo de propiedad.

Según su comportamiento al elevar su temperatura:

Este es una forma empírica de clasificar los polímeros si el polímero cuando se calienta a cierta temperatura, si el material se funde y fluye o por todo lo contrario.

- Termoplásticos: estos polímeros pasan de estado sólido a líquido a una temperatura determinada y al enfriarlos regresan de nuevo a su estado sólido presentando poco o ningún entrecruzamientos.

- Termoestables: este material al elevarle la temperatura no se convierten a estado líquido, solo se descomponen químicamente.

## 1.2 Tipos de resinas

Las resinas según avanza la ciencia y tecnología se pueden resumir en varios tipos diferentes que poco a poco han ido sustituyendo a otros materiales, a veces parcial o en algunos casos totalmente a los materiales que son naturales como el papel, acero, cemento, algodón, etc. En la tabla I se encuentran los diferentes tipos de resina que hay en nuestros días:

**Tabla I. Tipos de resina**

Tipo de resina	Propiedades	Aplicaciones
Fenólicas	Buena fuerza, estabilidad al calor y resistencia al impacto, alta resistencia a la corrosión por químicos y a la penetración de humedad, facilidad para maquinar.	Impregnación de resinas. Revestimiento de freno. Resinas de hule. Componentes eléctricos. Laminado. Adhesivos para cemento. Adhesivos aglomerados.
Aminas	Buena resistencia al calor, resistencia a solventes y químicos, dureza superficial extrema, resistencia a decolorarse.	Compuestos de moldeo. Adhesivos. Resinas de laminado. Recubrimiento de papel. Tratamientos de textiles.

Tipo de resina	Propiedades	Aplicaciones
		Madera laminada. Estructuras de decoración.
Poliéster	Flexibilidad extrema en el proceso, excelente resistencia al calor, químicos y llama, bajo costo, excelentes características mecánicas y eléctricas	Construcción. Laminado. Auto-reparación de masillas. Esquís. Caña de pescar. Componentes de aviones y barcos. Recubrimientos. Accesorios decorativos. Botellas.
Alquídicas	Excelentes propiedades eléctricas y térmicas, versatilidad en la flexibilidad y rigidez, buena resistencia química.	Aislamiento eléctrico. Componentes electrónicos. Masilla Acrílica. Pinturas.
Policarbonatos	Índice de refracción alto, excelentes propiedades químicas, eléctricas y térmicas, estabilidad dimensional, transparente, resistente al manchado, buena resistencia a la filtración.	Reemplazo para los metales. Cascos de seguridad. Lentes. Componentes eléctricos. Película fotográfica. Aisladores.

Tipo de resina	Propiedades	Aplicaciones
Poliamidas	<p>Moldeo fácil, fuerte y resistente, ligero, resistente a la abrasión, bajo coeficiente de fricción, buena resistencia química.</p>	<p>Cojinetes no lubricados. Fibras. Engranés. Aplicaciones. Suturas. Neumáticos. Correas de reloj. Empaquetamiento. Botellas.</p>
Poliamidas aromáticas	<p>Resistencia a la alta temperatura.</p>	<p>Refuerzo de matrices orgánicas.</p>
Poliimidas	<p>Resistencia a la alta temperatura</p>	<p>Piezas de moldeo. Películas. Resinas laminadas para usar a temperaturas elevadas hasta de 180°C.</p>
Poliuretanos	<p>Versatilidad extrema cuando es combinada con otras resinas, buenas propiedades físicas, químicas y eléctricas.</p>	<p>Aislamiento. Elastómeros. Adhesivos.</p>
Poliéter	<p>Excelencia resistencia a la corrosión con ácidos, álcalis y sales, puede estar en soldadura costura y máquina para rellenar cualquier tipo, forma o tamaño de la estructura.</p>	<p>Recubrimientos. Válvulas. Engranés de bombas. Piezas del medidor de agua. Superficie de cojinete.</p>

Tipo de resina	Propiedades	Aplicaciones
Epóxidos	Excelente resistencia química, buenas propiedades de adhesión, excelentes propiedades eléctricas, buena resistencia al calor.	Laminados. Adhesivos. Pisos. Forros. Hélices. Recubrimientos de Superficie.
Siliconas	Buena estabilidad térmica y oxidativa, flexible, excelentes propiedades eléctricas, inercia general.	Hules. Laminados. Resinas Encapsuladas. Agentes Antiespumantes. Aplicaciones en resistencia al agua.
Polietileno	Excelente resistencia química, bajo factor de potencia, pobre fuerza mecánica, excelente resistencia al vapor y humedad, amplio grado de flexibilidad	Empaque con láminas y películas. Contenedores. Aislamiento el alambre en los cables. Recubrimientos. Juguetes. Moldes. Forros. Tubos.
Polipropileno	Incoloro y sin sabor, baja densidad, buena resistencia térmica, "irrompible", excelente resistencia química, buenas	Equipo Médico (puede ser esterilizado). Juguetes. Componentes

Tipo de resina	Propiedades	Aplicaciones
	propiedades eléctricas	electrónicos. Tuberías de producción y tubos. Fibras y filamentos. Recubrimientos.
Polibutileno	Excelente resistencia a los abrasivos, buena resistencia química, dureza, mejor resistencia al calor que el polietileno.	Tubos y tubería de producción. En una mezcla brinda fuerza y dureza.

Fuente: [http://www.quiminet.com.mx/ar9/ar\\_%25F7%2586R%253F%25C7%25D8S%25CB.htm](http://www.quiminet.com.mx/ar9/ar_%25F7%2586R%253F%25C7%25D8S%25CB.htm)

Las resina epoxi vinil-éster fue creada para conservar las cualidades de la resina epóxica con el comportamiento de la resina poliéster no saturada que es fácil de manejar y curar.

Esta resina se refiere a la funcionalidad de una resina funcional de vinil basada en un precursor funcional de Epóxido (llamado comúnmente Epoxi).

### 1.3 Aplicaciones de la resina epoxi vinil-éster

En 1966 se logró crear esta resina por medio de la compañía DOW<sup>®</sup> bajo la marca de DERA KANE<sup>®</sup> resina epoxi vinil-éster durante todo este período de años se ha utilizado para piscinas, botes, automóviles y aeronáutica, pero la razón principal de su creación es para equipos que sean resistentes a la corrosión, como los plásticos reforzados con fibra de vidrio (FRP “Fiberglass Reinforced Plastic” o GRP “Glass Reinforced Plastic”) como la tubería, tanques y equipos de limpieza de emisión de gases para procesos industriales de procesos y químicos.

En las tuberías de plástico reforzadas con fibra de vidrio se ha empleado en estos casos por su resistencia a la corrosión, por ejemplo, cuando están expuestas a altas concentraciones de cloro donde los aceros aleados e inclusive el acero inoxidable no resiste la corrosión ya que los iones de cloro pueden causar una fractura por esfuerzos y por sus altos costos de mantenimiento no es viable, sin embargo la tubería reforzada con fibra de vidrio compuesta por la resina epoxi vinil-éster es la más recomendable por sus bajos costos y excelente resistencia a la corrosión.

El FRP puede ser usado en los siguientes procesos industriales:

Proceso:

- Cloro
- Refinamiento de metales (Cu, Ni,)
- Papel
- Producción de metales (Acero Inoxidable)
- Farmacéuticos
- Fertilizantes
- Tratamiento de Agua
- Petróleo
- Control de emisión de gases

Fluidos:

- Cloro caliente, sosa cáustica.
- Acido Sulfúrico.
- Agua Clorada, Dióxido de Cloro.
- Baños de limpieza química, Acido fluorhídrico, Acido Nítrico.
- Ácidos, solventes.
- Ácido Fosfórico y nítrico.
- Ácido Sulfhídrico, ozono, cloro.
- Aceite, gasolina, alcoholes y agua de mar.
- Ácidos sulfúrico, sulfhídrico y gases ácidos calientes.

## **1.4 Propiedades de la resina epoxi vinil-éster**

La resina epoxi vinil-éster no se le puede clasificar como una resina poliéster no saturada, el poliéster se refiere a muchos grupos éster que se repiten en ellos mismos, los grupos de éster son de enlaces débiles que pueden ser atacados por el agua y la álcalis que por ende, resulta en una resistencia química baja.

Hay dos cosas que tienen en común la resina epoxi vinil-éster con las resinas poliéster no saturado y son:

- El monómero estireno como medio de disolución.
- El tipo de catalítico para curar la resina.

La resina epoxi vinil-éster es una combinación de una resina poliéster que tiene un bajo a medio desempeño con un fácil manejabilidad y bajo costo, con una resina epoxi que provee un alto desempeño con un proceso más laborioso y alto costo. En otras palabras es una combinación de alto desempeño de la resina epoxi con el fácil proceso y curado de una resina poliéster.

## **1.5 Resistencia a la corrosión**

Las resinas basadas en bisfenol A epoxi vinil-éster son resistentes a una gama amplia de ácidos, álcalis, cloros y compuestos orgánicos en diferentes procesos industriales con una excelente resistencia a la corrosión. Hay otra gama de resina epoxi vinil-éster que son de tipo Novolac<sup>®</sup> que son resinas de alto desempeño para conducir fluidos abrasivos con temperaturas altas de aproximadamente para recipientes de 60°C a 90°C. Hay una serie de resinas



epoxi vinil-éster que conforme va avanzando la ciencia se esta desarrollando mejoras en las propiedades de la resina en donde partirá de la estructura básica de la resina epoxi vinil-éster.



## **2. COMPONENTES DEL FRP**

### **2.1 Resina epoxi vinil-éster**

La resina forma parte esencial de los componentes del FRP ya que es la base principal del material que sirve para unificar todos los componentes, le da, la rigidez, forma para la construcción de las piezas que pueden ser tuberías, tanques y materiales para uso aeronáutico, y lo más importante, le da la propiedad antioxidante para el manejo de fluidos corrosivos de procesos industriales dentro de la tubería y por fuera resistente al medio ambiente.

### **2.2 Refuerzos**

Las resinas son muy resistentes a la compresión y a las temperaturas elevadas, pero el problema es que son muy rígidas, por lo tanto, tienen poca resistencia a la tensión y muy baja a la flexión, se necesita un componente que le proporcione estas propiedades mecánicas, esto se lo da los refuerzos. Los refuerzos más usados en el mercado son:

- Fibra de vidrio: este es el refuerzo más usado, se obtiene al hacer pasar vidrio fundido a través de una pieza con agujeros muy finos y luego que se solidifica y se obtiene la fibra de vidrio, es de bajo precio, excelente aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta altas temperatura y su buena flexibilidad hace de él en una buena opción para refuerzo.
- Fibra de carbono: es un excelente refuerzo que está formado de un material llamado polietilnitrilo que es la unión de varias fibras de

diámetro que oscilan entre 5 a 8 micrómetros, el problema de la fibra de carbono es su elevado costo y tiempo de manufactura ya que se requiere de alta tecnología para su elaboración.

- Fibra Kevlar<sup>®</sup>: es una excelente fibra orgánica, es una combinación de alta resistencia, alto módulo de tensión, dureza y estabilidad térmica. Este tipo de fibra es de costo alto ya que es para uso sofisticado de diseño donde el requerimiento es la dureza.

### **2.2.1 Tipos de refuerzo**

Para el proceso de laminación a mano en tubería FRP hay varios tipos de refuerzos para la elaboración de juntas de fibra de vidrio para tubería, que va a depender del diámetro, posición en la que va a estar esa capa en la laminación, el tipo de esfuerzo que va a sufrir la tubería dependiendo del fluido.

Los refuerzos están hechos de tal forma que sean como velos o telas que se construyen a través de un número de fibras individuales todas estiradas y esto es lo que constituye un hilo, estos hilos se entrelazan a lo largo y a lo ancho para obtener un tejido con características que dependerán del uso.

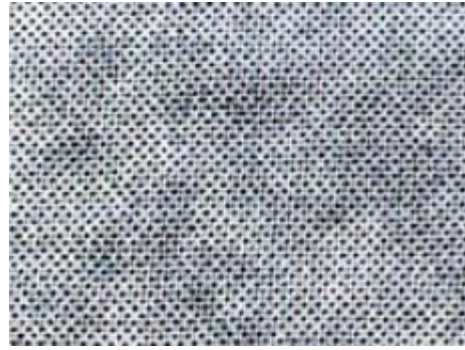
#### **2.2.1.1 Velo de superficie**

El velo o tela de superficie es el tejido que se coloca como barrera de protección del fluido abrasivo en la tubería. Este tejido es de peso liviano y de tacto suave. El velo o tela más usada en las juntas de epoxi vinil-éster con fibra de vidrio son de mono – filamento de vidrio que son las de tipo “C” o de tipo *Dacron*<sup>®</sup>. Ver figura 1.

**Figura 1. Velo de superficie**



a. Tipo "C".



b. tipo Necron®

Fuente: *ASHLAND – Composite polymers*

### **2.2.1.2 Cordones cortados**

Esto consiste en cordones cortados de fibra de vidrio de tipo "E" que varían de 12mm a 50mm (0.5 a 2 pulgadas) de longitud que son unidas por una resina de estireno soluble. Este también forma parte de la barrera de corrosión que junto el velo de superficie la conforman, este mismo puede servir para formar parte también de la estructura de la pared de la laminación, esta le puede dar con aproximación de 2mm (80 mils) de espesor a la barrera anticorrosiva. Ver figura 2.

**Figura 2. Cordones cortados**



Fuente: *ASHLAND – Composite polymers*

### **2.2.1.3 Tejido de cordones cortados**

Esta tela o tejido es cuando es fabricada con cordones de fibra de vidrio cortados mojada con una resina soluble de estireno y es de fácil maleabilidad para darle la forma a la pieza, ver figura 3, esta constituye también como parte de la barrera contra la abrasión en las juntas de tubería epoxi vinil-éster reforzada con de fibra de vidrio.

**Figura 3. Tejido de cordones cortados**



Fuente: *ASHLAND – Composite polymers*

### **2.2.1.4 Fibra trenzada**

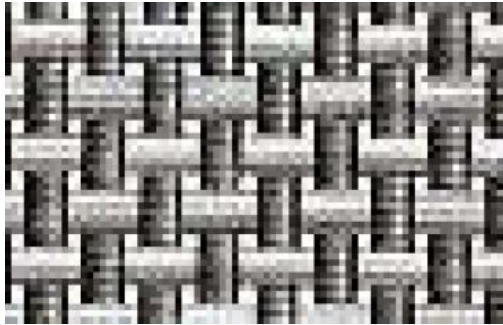
La fibra trenzada o trama, es un tejido que se hace de fibras de vidrio entrelazándose a lo largo y lo ancho dando así una tela tejida, nos referimos como los hilos se entrelazan, lo cual determinará la característica de su apariencia y el manejo de la tela. Entre ellos hay varios tipos que veremos a continuación.

#### **2.2.1.4.1 Fibra trenzada plana**

Este tipo de fibra trenzada es donde cada hilada de fibra de vidrio longitudinal y transversal para por encima de un hilo y por debajo del próximo,

ver figura 4. Este tipo es el más usado en el mercado ya que proporciona una tela reforzada en aplicaciones generales y se puede usar en espesores predecibles, la ventaja de esta tela es que en su configuración de entrelazado es difícil que se distorsione.

**Figura 4. Fibra trenzada plana**

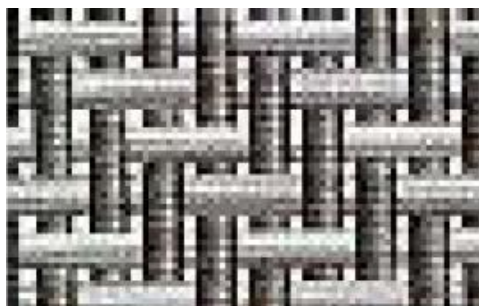


Fuente: <http://www.nauticaescalada.com.ar/PDF%20Vs/Laminaci%F3n%20con%20Epoxi.pdf>

#### **2.2.1.4.2 Fibra trenzada cruzada**

En este tipo de fibra trenzada cruzada, en donde el número de hilados de fibra de vidrio con una configuración de dos hiladas longitudinales pueden pasar sobre un transversal y recíprocamente, ver figura 5, esto puede variar, puede dar distintas construcciones de estos tejidos cruzados.

**Figura 5. Fibra trenzada cruzada**

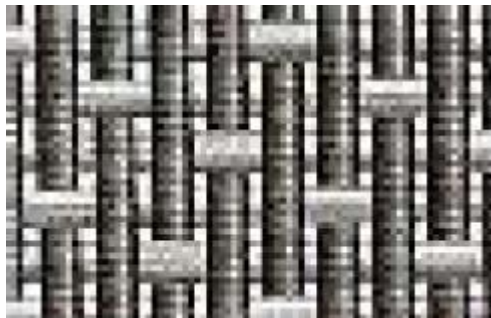


Fuente: <http://www.nauticaescalada.com.ar/PDF%20Vs/Laminaci%F3n%20con%20Epoxi.pdf>

### 2.1.1.4.3 Fibra trenzada satinada

En este tipo de fibra trenzada, el entrelazado es particularmente similar al de la fibra trenzada cruzada, la diferencia es la cantidad de número de hilados longitudinales que pasan con los transversales esto le da una mayor resistencia y suavidad a la tela. Ver figura 6.

**Figura 6. Fibra trenzada satinada**



Fuente: <http://www.nauticaescalada.com.ar/PDF%20Vs/Laminaci%F3n%20con%20Epoxi.pdf>

### 2.2.1.5 Otras variedades

Fibra Unidireccional: “este tipo de tejido sirve cuando la mayoría de propiedades mecánicas se concentran en una misma dirección ya sea en lado longitudinal o transversal.”<sup>1</sup>

Tejidos Híbridos: en este tejido “se construye tramando en forma conjunta diferentes fibras, como por ejemplo, el uso más común es de carbono y Kevlar<sup>®</sup>”, esto le da al diseñador del tejido hacer una combinación de propiedades mecánicas como rigidez y resistencia al impacto de las diferentes fibras, dándole mejor eficiencia y menor costo al tejido.

---

1) Fuente: <http://www.nauticaescalada.com.ar/PDF%20Vs/Laminaci%F3n%20con%20Epoxi.pdf>



Hilo continuo o roving: viene en diferentes densidades, tamaños. Este tiene su uso principal en el proceso de enrollado, este puede usarse o sustituir en la barrera contra la corrosión en el interior a los tejidos de fibra de vidrio.

### **2.2.2 Almacenamiento de la fibra de vidrio**

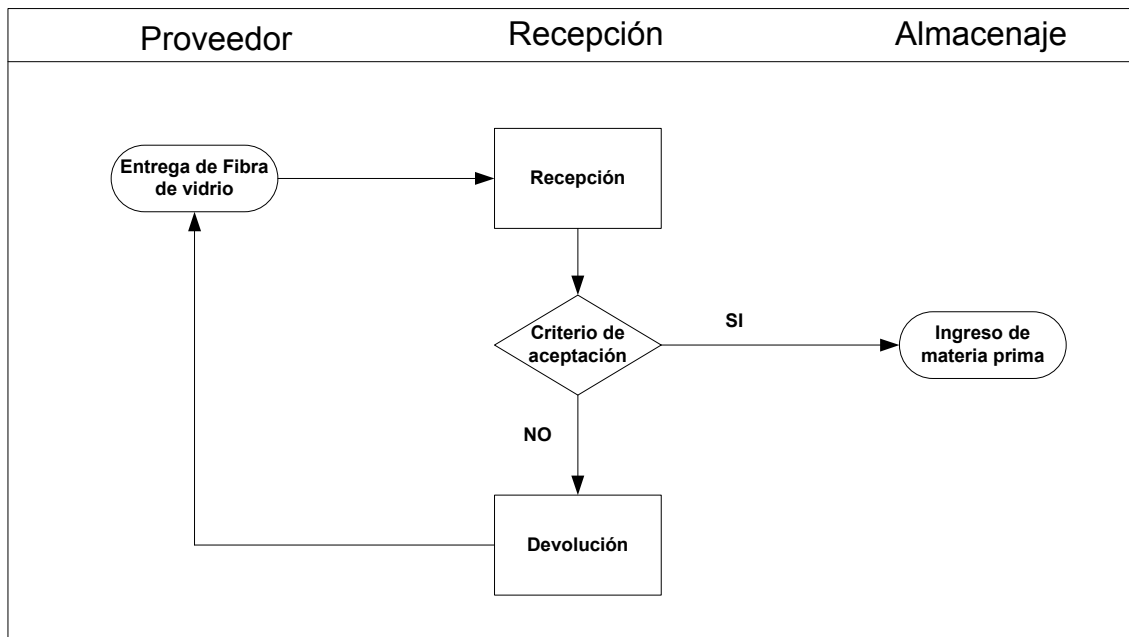
El almacenamiento es una parte importante del proceso de fabricación, este es clave para la conservación de los materiales para la fabricación de las juntas de tubería. El método de almacenar el material dependerá de las políticas de cada empresa de acuerdo a su tamaño o capacidad. Una forma básica de los pasos a seguir para el almacenaje de la fibra de vidrio en una empresa se muestra en el diagrama de flujo, ver figura 7.

Descripción del diagrama de flujo para el almacenamiento de la fibra de vidrio:

- a. inicia cuando el proveedor lleva el producto al sitio de trabajo, el almacén o bodega recibe el material.
- b. Se recibe el material en el almacén o bodega.
- c. Se inspecciona el material que entrega el proveedor para que cumpla con los requerimientos de lo solicitado, si no cumple se devuelve al proveedor, también se debe de examinar con criterio la fibra de vidrio de cualquier ruptura o deshilo la fibra de vidrio. Si se acepta el material pasa a almacenar si el material viene dañado se devuelve al proveedor.
- d. Ya aprobada la fibra de vidrio debe de almacenarse en un área libre de suciedad, como polvo, grasa, etc. La humedad es dañino para este material debido a que puede absorber agua y con estas condiciones no

pueden usarse porque inhibe la compatibilidad de la resina con la fibra de vidrio, resultando una mala calidad del laminado.

**Figura 7. Diagrama de flujo para almacenamiento de fibra de vidrio**



Fuente: diagrama elaborado con fines de ilustración

### 2.3 Catalizadores

Los catalizadores son materiales que inician la reacción química que hace que la resina comience a convertirse en gel para luego empezar a endurecerse, el tiempo que se tarda desde que se mezcla la resina con el catalizador se le denomina tiempo de gel, los catalizadores se les conoce también como iniciadores y no son más que peróxidos orgánicos. Hay dos tipos de catalizadores que se pueden usar para la resina epoxi vinil-éster, uno que requiere naftenato de cobalto y el otro no usa. El peróxido de metiletilcetona (MEKP – Methyl ethyl ketone peroxide) y el hidroperóxido de cumeno (CHP – Cumene hydroperoxide) usualmente son usados con promotores, comúnmente

se usa el naftenato de cobalto (CONAP – cobalt naphthenate), este último hidroperóxido de cumeno no es tan común. El otro catalizador es el peróxido de benzoilo este catalizador no usa naftenato de cobalto, solo se usa o con un acelerante.

### **2.3.1 Selección de catalizadores**

Los catalizadores o iniciadores son parte importante para que haya una reacción química esperada, ya que también dependerá del tipo de iniciador para la velocidad de curado de la resina. Se tiene que tener precaución con las proporciones ha usarse, por ejemplo, usando muy poco resulta una resina sin curar o usando demasiado puede disminuir las propiedades del laminado. Se recomienda hacer ensayos de laboratorio para evaluar el desempeño de los catalizadores antes de su uso.

#### **2.3.1.1 Peróxido de metiletilcetona**

El peróxido de metiletilcetona su composición esta formulada para ser un excelente iniciador para resina poliéster no saturadas y para las resinas epoxi vini-éster. Este tipo de iniciador es vendido comúnmente con un 9% de peróxido de metiletilcetona y un plastificante, hay varias marcas en el mercado que esta ligeramente variará en el monómero y del contenido del dímero de los diferentes peróxidos.

El MEKP debe de ser almacenado en un contenedor herméticamente sellado para prevenir la contaminación de agua ya que el agua hace un efecto contrario al curado de la resina, el MEKP puede ser probado mezclando partes iguales de MEKP con estireno, si el resultado es turbidez es seña que hay exceso de agua.

Otra condición sumamente importante es de mantener la relación o mezcla de MEKP con CONAP para el curado, el fabricante recomienda usar una mezcla con un rango de diez partes de MEKP con una parte de CONAP (10:1, relación MEKP:CONAP) a de tres partes de MEKP con una parte de CONAP (3:1, relación MEKP:CONAP)

Fuera de este rango puede ocasionar mal laminación por el curado y bajo nivel de dureza BARCOL y una inadecuada protección contra la corrosión. Estas relaciones o mezcla de MEKP:CONAP pueden ser menos críticas controladas por un acelerador como dimetilanilina (DMA) o dimetilacetato acetamida (DMAA).

### **2.3.1.2 Peróxido de benzoílo**

El catalizador peróxido de benzoílo esta disponible en diferentes formas, en polvo, emulsión y en pasta para curar las resinas epoxi vinil-éster, por lo regular son más fáciles de usar en forma de pasta o emulsión.

Los peróxidos de benzoílo variaran el tipo de concentración de peróxido de benzoílo según la marca y siempre produce los mismos resultados después de ajustar las proporciones. Como en las presentaciones de polvo o pasta tienden a asentarse cuando se mezcla con la resina se sugiere que se agite bien con el agitador para lograr una homogeneidad de la mezcla.

En los procedimientos estándar es agregar primero el catalizador con el acelerador antes de mezclarlo con la resina. Los aceleradores que más se usan en este tipo de catalizador son el dimetilanilina (DMA) y el dietilanilina (DEA).

### **2.3.1.3 Hidroperóxido de cumeno**

Este catalizador es usado en algunas resinas epoxi vinil-éster por su reacción exotérmica baja, poco encogimiento y menor pandeo. En clima frío puede usarse un poco de dimetilanilina (DMA) conjunto con el hidroperóxido de cumeno para acelerar la resina para el curado.

El procedimiento para mezclar el catalizador hidroperóxido de cumeno es similar al que se uso para el peróxido de metiletilcetona y el naftenato de cobalto.

## **2.4 Selección de aditivos para el control de curado**

Los aditivos para la resina no son más que agregados para la mejora del comportamiento y características de la resina según sea la necesidad y/o aplicación. Este también dependerá de la calidad de resina que tengamos ya que hay resinas epoxi vinil-éster que tienen ya aditivos en sus formulas.

### **2.4.1 Agentes antiespumantes y surfactantes**

Estos aditivos sirven en la resina para liberar el aire atrapado en la mezcla de la resina y aliviar la tensión superficial de la laminación para que la burbuja salga del medio. Puede haber varias causas una es que en la mezcla de la resina con el catalizador genera reacción química exotérmica esta genera por resultado burbujas como efecto secundario indeseado es que provoca cavidades, cráteres cuando se esta curando, esto genera mala calidad de laminado ya que en esas cavidades y cráteres puede el fluido abrasivo comenzar a socavar. Otro problema que se puede dar en esos espacios

internos en una junta es que haya concentraciones de esfuerzos y con el tiempo haya ruptura en ese lugar.

Para contrarrestar este efecto secundario a la reacción existen agentes que se llaman antiespumantes que estos hacen que destruyen la espuma generada, impiden la formación y deben de ser capaces de liberar el aire hasta que la espuma llegue a la superficie. Si la resina tiene una reacción fuerte con la mezcla MEKP y CONAP se recomienda utilizar ya sea un agregar un aditivo antiespumante o un MEKP con agente antiespumante u otro catalizador basado en hidroperóxido de cumeno con agentes antiespumantes que hay en el mercado.

Para evitar esta reacción se aconseja seguir estos pasos:

- Evitar el mezclado precipitando bruscamente el catalizador con la resina, verterlo y/o mezclarlo lentamente el contenido a modo de crear una mezcla homogénea.
- Se debe aplicar la resina mezclada a la junta antes de colocar la fibra de vidrio impregnada ya con la resina mezclada de ese modo no encapsulará aire entre las laminación.
- Luego para esparcir la resina debe de hacerse desde en medio de la laminación hacia los bordes de modo que salga el aire de las capas de la laminación, hacerlo en cada capa de laminación.
- Otro paso importante, es mantener los rodillos limpios cada vez que se use, en cada laminación para evitar contaminación en cada laminación.

Con estos simples pasos, se puede evitar en buen porcentaje la acumulación de burbujas entre cada capa de laminación

### **2.4.2 Promotores**

Los promotores se utilizan para mejorar el comportamiento de la catálisis de la resina con el catalizador, ya que además del iniciador se necesita un promotor para ejecutar el curado de la resina a temperatura ambiente, el más común para la resina epoxi vinil-éster es el naftenato de cobalto, es de color púrpura en líquido vendido en diferentes proporciones de cobalto activo en un solvente, dependerá también de la marca a usar.

Una buena práctica es agitar bien el promotor antes de agregar el iniciador, los promotores también ayudan para reducir o alargar el tiempo de gel de la resina según sea su concentración.

### **2.4.3 Aceleradores**

Los aceleradores se usan para incrementar la velocidad de curado en la catálisis de la resina con el catalizador. Estos aceleradores son aminas y vienen en estado líquido, los que más se usan para las resinas epoxi vinil-éster son la dimetilanilina (DMA), dietilanilina (DEA) y dimetilacetato acetamida (DMAA).

A temperatura ambiente se puede usar el DMA con el MEKP, BPO y CHP, en realidad a temperatura ambiente no se acostumbra usar DMA para el MEKP o el BPO, pero cuando se usa el MEKP con el CONAP ayuda a mejorar el progreso para la dureza que se mide en escala BARCOL y en bajas

temperaturas para acelerar el proceso todo esto en bajas concentraciones de DMA.

En el sistema BPO si se necesita agregar el DMA a temperatura ambiente, se recomienda para óptimos resultados una relación de 10 a 20 partes preferiblemente de 10 a 15 partes de peróxido de benzoílo (BPO) con 1 parte del acelerador (DMA). Fuera de estos rangos puede causar que la resina no se cure, o la resina puede convertirse en gel pero no se va a curar, o alto grado de la resina no va a desarrollarse aún con un post-curado.

El DMA es casi el doble de reactivo con el DEA por lo tanto, si se agrega un 0.1% de DMA se requerirá un 0.2% si se usa un DEA. El acelerador DMAA solo se usa en los sistemas MEKP, no obstante, en el sistema BPO no funciona.

#### **2.4.4 Retardante para tiempo de curado**

Este aditivo sirve cuando se necesita que el tiempo de curado sea lo mas tarde mas de lo efectuado con las proporciones de la mezcla, este dependerá de cuanto aditivo se le proporcione a la mezcla, el tiempo máximo que se le puede dar a un curado es de diez veces el tiempo normal de curado, este no dañara ni causara efectos secundarios al laminado ni la resistencia. Se usa esto normalmente cuando se necesita un tiempo extra por el tipo de laminado de la junta en tamaños grandes cuando se necesita hacer bastante resina y que no se cure antes de impregnarla.

El retardante que se usa es el acetilacetona, este retardante se puede agregar a los sistemas de MEKP con CONAP, para los sistemas BPO con DMA como acelerante no se puede mezclar ya que no retardará el tiempo de curado,



para ello hay otra alternativa de retardante en este tipo y es catecolbutilo terciario (TBC) en pequeñas cantidades para el sistema BPO con DMA.

#### **2.4.5 Nota de seguridad**

Estos productos por su naturaleza son materiales peligrosos, por ello, es de suma importancia manejarlos con prudencia, leer la ficha de seguridad para cada material o sustancia, ya que varios de estos tienen reacciones a la salud, especialmente los ojos, piel y vías respiratorias, por lo tanto, para el manejo de estos materiales se debe de utilizar el equipo de seguridad industrial adecuado para evitar el contacto directo de estas sustancias.

#### **2.5 Otros aditivos y elementos removedores**

Estos aditivos y elementos removedores son usados para darle características particulares según sea la necesidad del trabajo. Esto le puede facilitar el trabajo y darle una mejor calidad de la junta. Se recomienda sacar una muestra y probarlos antes de ser usado directamente en la junta a trabajar, para revisar su respuesta o reacción a la resina.

##### **2.5.1 Aditivos tixotrópicos**

Estos aditivos tixotrópicos sirven para que el fluido o la mezcla de la resina ya mezclada previamente logre estar en un tiempo finito la densidad deseada para poderla trabajar, con ella no varía de forma en un tiempo finito dado, para que no se escurra en la junta. Estos aditivos se deben de usar en bajas proporciones ya que agregando mucho puede ocasionar fallos por que reduce la propiedad anticorrosiva en algunos fluidos.

## 2.5.2 Protección ultravioleta

La resina epoxi vinil-éster tiene una buena resistencia al medio ambiente, pero en condiciones donde están expuestas las juntas a los rayos ultravioleta, el material sufre una decoloración y al mismo tiempo un desgaste, para esto, existe unos protectores contra los rayos ultravioleta que nos ayudan a contrarrestar estos efectos dañinos a las juntas. Estos son unas de las soluciones para evitar o probablemente eliminar estos daños:

- Se puede pintar con pinturas epoxi de poliamida.
- Se agregan absorbentes de rayos ultravioleta.
- Recubrir con pigmento la superficie exterior

El pigmento no es más que un aditivo que hace que cambie el color de la luz que refleja como resultado de la absorción selectiva del color, estos a la hora de seleccionar hay que considerar las características ya que dependerá de la exposición por la estabilidad térmica, resistencia a la exposición a la luz, la opacidad o transparencia y su resistencia de los ácidos o acidos.

Se debe de escoger bien el tipo pigmentos o absorbentes de rayos ultravioleta ya que hay unas que inhiben la resina y otras que no son tan efectivas en términos de protección a largo plazo.

Se recomienda que antes de recubrir la pintura o pigmento se haga la inspección visual de las juntas y los respectivos ensayos no destructivos ya que al colocarle estos aditivos cambia la característica exterior y nos puede dar resultados diferentes.

### **2.5.3 Recubrimiento final de cera y la inhibición del aire**

Al momento de terminar un laminado en una junta, la superficie de la junta queda expuesta al aire, el oxígeno puede inhibir el curado o polimerización de la resina resultando una baja resistencia química y una posible falla en la junta, para esto se debe de contrarrestar el contacto con el aire.

Una de las más comunes es de hacer un recubrimiento final con cera o resina con ello se protege del aire la junta, esto se recubre una vez que haya sido inspeccionada la junta, ya que al colocarle el recubrimiento final así como la pintura o pigmento nos dará una mala lectura del medidor de dureza.

Se acostumbra a recubrir la junta con la cera con un espesor de 2 a 3 mils (50 micrones a 75 micrones) este agregándole una pequeña cantidad de cera parafina y estireno ya previamente premezclado en caliente. Esta mezcla de cera resina, cera parafina y estireno se deben hacer seguir las proporciones recomendadas por el fabricante, se debe de probar antes en una muestra para inspeccionar su comportamiento.

### **2.5.4 Elementos removedores**

Los elementos removedores nos sirven como separador entre el lugar de trabajo y los materiales con resina, con esto evitamos la contaminación de los materiales impregnados con resina y que se nos adhiera a la superficie donde se trabaja, estos elementos pueden ser celofán, cera de parafina, cera de carnauba, películas de poliéster y películas de alcohol polivinílico. Las ceras que son a base de acrílicos no son aceptadas para la resina epoxi vinil-éster ya que pueden privar el curado de la resina.

Se pueden dar otros usos estos elementos separadores, como por ejemplo, la fabricación de piezas de resina epoxi vinil-éster utilizando moldes.

Otro removedor que nos sirve para quitar la suciedad de los instrumentos para realizar las juntas es la acetona, esta es inodora e incolora, por lo tanto, al usarla debe de estar en un lugar ventilado como seguridad.

### **2.5.5 Carburo de silicio**

El carburo de silicio o también llamado carborundo, se usa para darle una mayor resistencia contra la abrasión, este se usa conjunto con la resina, en las paredes internas para diámetros grandes de tubería, ya que por sus propiedades de expansión térmica relativamente baja, alto radio fuerza-peso, dureza, resistencia contra la corrosión y a la abrasión,

### 3. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE LOS COMPUESTOS

La pared de la tubería manufacturada con resina epoxi vinil-éster reforzada con fibra de vidrio se compone de 3 capas perfectamente adheridas una con otra, cada uno teniendo diferentes características y propiedades en relación con su función específica. Se pueden dividir en:

- a. Capa interna: esta es la parte que esta en contacto directo con el fluido conducido dentro de la tubería y es la parte que tiene que tener la máxima protección contra la abrasión misma del fluido. Más importante, esta capa interna tiene que ser lisa para la conducción del fluido, tiene que estar libre de defectos como por ejemplo, rajaduras, mala laminación en algunas zonas, etc.
- b. Capa de filamentos o capa mecánicamente resistente: esta tiene como función en a pared de la tubería en ser la que soporta todos los esfuerzos debido a las condiciones de diseño, como por ejemplo, la presión, las cargas, flexión, etc. El espesor de la pared del tubo depende de las condiciones de diseño esta está constituido por una serie de hilado de filamentos de fibra de vidrio impregnada con resina.
- c. Capa externa: consiste en pura resina sin fibra de vidrio como refuerzo, con ello se garantiza la total cubierta de la última capa de fibra que pueda resaltar y deja una superficie bien acabada. En esta última capa regularmente se agrega un protector ultravioleta para evitar cualquier efecto de las condiciones ambientales.

Las tuberías de plástico reforzado con fibra de vidrio se pueden clasificar por:

- a. Diámetro nominal: las tuberías son fabricadas comúnmente con rangos desde 25mm hasta 3,000mm, se pueden fabricar de diámetros mayores utilizando equipos especiales. El diámetro nominal coincide con el diámetro interno de la tubería.
- b. Presión nominal: también son fabricadas dependiendo la presión que se necesite, pueden encontrar desde 4 bar hasta 25 bar, mayores a 25 son tuberías especiales.
- c. Según rigidez: estas también se pueden clasificar según su rigidez que puede variar comúnmente desde 1250Pa hasta 10,000Pa,

En esta sección se describirá los pasos básicos a seguir para la laminación a mano para elaborar juntas de una tubería de resina epoxi vinil-éster reforzada con fibra de vidrio y se dará una breve reseña de los otros procesos usados con esta resina.

### **3.1 Laminación a mano**

Esta técnica se hace por medio de una o más personas ya calificadas, con habilidades casi artesanales ya que se tiene que tener destreza para la elaboración de estas juntas, cuidando la buena calidad según los parámetros establecidos, cuidando su salud y seguridad en el trabajo que realizará.

En esta técnica se necesitará de herramientas de trabajo que vienen desde simples recipientes hasta herramientas abrasivas, las buenas prácticas de manufactura son tomadas muy en cuenta para un trabajo limpio, ordenado, de buena calidad y sin riesgos de accidentes.

### **3.1.1 Preparación de la resina**

Para la elaboración de las juntas, se recomienda, disponer una buena cantidad de resina preparada en un recipiente madre con sus promotores (CONAP) y aceleradores (DMA, DEA, DMAA) con las cantidades ya establecidas según sea la marca de la resina, promotor, acelerador y las condiciones climáticas. No se debe de agregar el iniciador (MEKP o BPO) en el recipiente madre ya que iniciara la reacción química.

La mezcla madre debe ser homogénea para que no haya problemas con la polimerización, la persona calificada para ese trabajo debe de controlar la uniformidad de la mezcla madre así como también las proporciones de promotores y aceleradores que se le agregarán a la resina. Una mezcla madre bien preparada puede durar semanas si esta bien almacenadas en las condiciones adecuadas.

### **3.1.2 Equipo y herramientas:**

Los equipos y herramientas que se pueden utilizar para efectuar la fabricación a mano de juntas de tubería reforzada con fibra de vidrio son:

Soporte para tubería: esta herramienta es de suma importancia para alinear y nivelar la tubería y dejarla fija en el lugar para poder trabajar en ella, con esta herramienta se consigue que la tubería no se mueva del lugar al estar trabajando en ella. Se les conoce como también como Hay de varios tipos soportes por ejemplo con rodillos, ruedas, fijos, con cadena, etc. Ver figura 8.

### Figura 8. Soportes



a. Tipo Cadena



b. Tipo Ruedas

Fuente: <http://www.realcheaptools.com/page/page/788487.htm>

Pulidora: esta herramienta sirve para el corte y el desbaste de la tubería, se debe de utilizar discos para fibra de vidrio, ver figura 9, con ella se le da la forma requerida para la laminación adecuada. Se debe de tomar en cuenta que el uso de esta herramienta es para gente con experiencia, ya que tiene riesgos el uso inadecuado de esta ya que puede producir abrasiones, cortadas y golpes. Se tiene que contar con equipo básico de seguridad como guantes, gafas de seguridad y caretas protectoras para evitar cualquier accidente.

### Figura 9. Pulidora



Fuente: Folleto de productos *BOSCH*



Cinta para marcar: esta cinta se utiliza para marcar la tubería en todo la periferia del tubo para luego hacer el corte con la pulidora o una sierra, ver figura 10, es de mucha utilidad al trabajar tuberías de diferentes diámetros.

**Figura 10. Cinta para marcar**



Fuente: <http://www.realcheaptools.com>

Lija: se utiliza para darle acabado a la tubería cortada, ver figura 11, dejar la superficie libre de imperfecciones o pequeñas deformidades del material, para que esté pareja las caras de la tubería.

**Figura 11. Lija**



Fuente: [www.donosti.com.mx](http://www.donosti.com.mx)

Agitador: este instrumento sirve para mezclar las sustancias dentro de los recipientes con el objeto de hacer una mezcla homogénea para el buen desempeño de la resina, hay iferentes agitadores, manuales y eléctricos, ver

figura 12 y 13, esto va a depender según sea el tamaño del recipiente o de la rapidez con que se quiera trabajar.

**Figura 12. Agitador eléctrico**



Fuente: <http://trevisin.com/agitadorB.html>

**Figura 13. Agitador**



Fuente: <http://www.starchem.co.uk>

Rodillo aireador: este instrumento es de suma importancia para la buena laminación, estos son especiales ya que tienen la característica que no permite que el aire quede atrapado en la laminación de fibra de vidrio con la resina, esto nos evita el contacto directo con la resina y una laminación correcta, ver figura 14.

**Figura 14. Rodillo aireador**



Fuente: <http://www.bsnbarcelona.com>

Báscula: este instrumento también llamada pesa, sirve para medir el peso de objetos, hay de tipo manual y digital. Ver figura 15. Este instrumento nos va a

servir para medir sustancias con más exactitud, el rango de la báscula dependerá de cuanta cantidad se va a pesar en el instrumento.

**Figura 15. Báscula digital**



Fuente: <http://www.kern-scales-technic.co.uk>

Beaker: es un recipiente de forma cilíndrica con el fondo plano y en la parte superior del cilindro tiene una hendidura para verter el líquido con facilidad, este instrumento es común en los laboratorios ya que en él se vierte líquidos para mezclar, calentar. Ver figura 16. Son hechos de vidrio o de varias clases de plásticos, vienen de todo tipo de tamaños que pueden medir de mililitros hasta varios litros.

**Figura 16. Beaker**



Fuente: <http://www.kern-scales-technic.co.uk>

Otros instrumentos a usar son de uso común, embudo, brocha, cinta métrica, cinta y tijeras.

### **3.1.3 Acondicionamiento de tuberías**

Antes de realizar la laminación de la junta en la tubería se debe cumplir varios requisitos que normalmente un preparador de tubería ejecuta, por ejemplo evitar mal alineamiento de la tubería y con ello evitar que forme turbulencia cuando el flujo circule dentro de la tubería.

Las herramientas que se pueden usar se mencionaron en el inciso anterior para realizar juntas a tope, improvisación se da ya para alinear las tuberías ya que fuera del laboratorio se trabaja en espacios confinados o en alturas donde se tiene que crear un ambiente de trabajo confortable para los trabajadores por medio de andamios u otro medio.

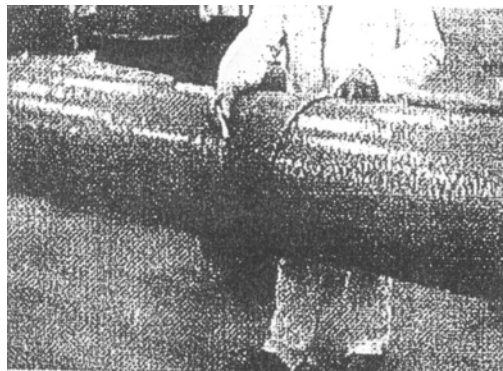
#### **3.1.3.1 Preparación de tubería para laminación**

Esta parte es importante para la buena manufactura de la junta, para la unión de dos tubos se necesitan que las dos terminaciones de los tubos a unir estén en paralelo, si las tuberías son nuevas es probable que venga con un bisel ya hecho de fábrica. Veremos los siguientes pasos para la preparación de la tubería antes de iniciar a laminar recomendados por la empresa “plasticon europe”. Para efecto de ejemplo para este documento se trabajará con una tubería de diámetro nominal de 100mm (DN100).

### **3.1.3.1.1 Cortar los productos al tamaño deseado.**

Si es requerido cortar el tubo para dejarlo al tamaño deseado, es necesario marcar antes con una cinta para marcar en todo el perímetro del diámetro del tubo para luego hacer el corte (ver figura 17). Como recomendación el tubo a cortar se debe de fijar ya sea en el sitio de trabajo o por soportes.

**Figura 17. Marcando la tubería**

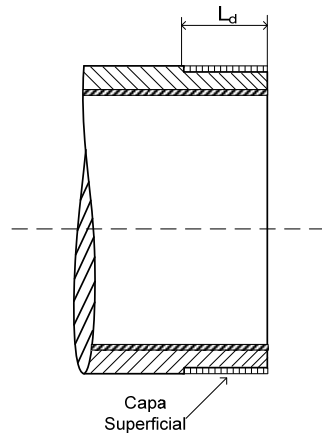


Fuente: Laminado en sitio – Plasticon Europe

### **3.1.3.1.2 Desgastando la capa superior**

Luego de que han sido cortados los finales de la tubería que se van a unir, deben de ser desgastadas para remover la capa superficial de la tubería en los dos finales, llegando hasta que el material de la fibra sea expuesta. Desgastar la tubería en dirección axial del producto en el largo que va a ser laminado, que va a ser diferente dependiendo el diámetro del tubo. Ver figura 18.

**Figura 18. Longitud a desgastar**



Fuente: Laminado en sitio – Plasticon Europe

$L_d$  longitud para desgastar se calcula de esta forma:

$$L_d = L_m + 5\text{mm}$$

Donde:

$L_d$ = Longitud para desgastar

$L_m$ = Longitud de laminación (ver anexo 1)

Encontramos que en la hoja técnica para una tubería DN100 la longitud de la laminación es de 110mm. Entonces se calcula la longitud para desgastar.

$$L_m = 110\text{mm}/2\text{mm} = 55\text{mm}$$

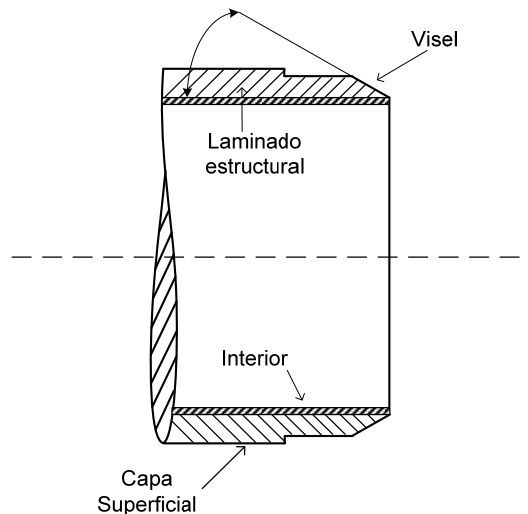
$$L_d = 55\text{mm} + 5\text{mm} = 60\text{mm}$$

Habrà que desgastar en cada terminaci3n de tubo de 60mm, despu3s que los finales de la tubería han sido desgastados el laminado tiene que comenzar en no menos de 8 horas o si la superficie de la tubería ya desgastado se humedece con la suciedad se tendrà que desgastar de nuevo.

### 3.1.3.1.3 Bisel

A continuación se le hace un bisel de 30° sobre la horizontal en toda la terminación de la tubería, cuando se junten formen una ranura en “V”. Esto se puede realizar por medio de una pulidora o esmeril. Ver figura 19. Como recomendación después de haber efectuado el bisel, aplicar una pequeña cantidad de resina en las secciones que han sido cortadas para protección que penetren otros fluidos.

**Figura 19. Visel**

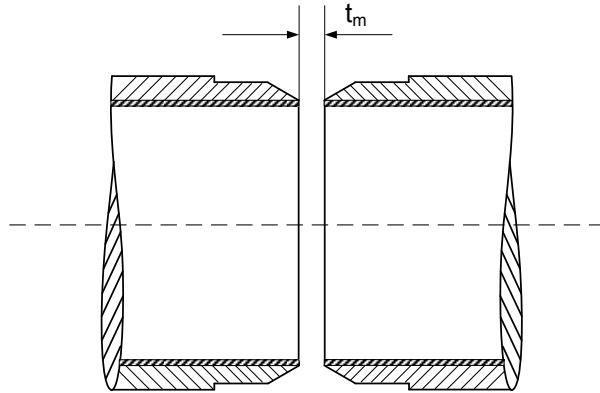


Fuente: Laminado en sitio – Plasticon Europe

### 3.1.3.1.4 Alineamiento de la tubería y separación

Luego se colocan las dos tuberías con sus respectivos biseles una frente a otra para formar una ranura en “V”, ver figura 20, se recomienda dejar fija, alineada y con una pequeña o nula separación que va a depender del diámetro de la tubería, ver tabla II para los valores máximos permisibles.

**Figura 20. Separación de junta**



Fuente: Laminado en sitio – Plasticon Europe

**Tabla II. Espacio permitido entre juntas**

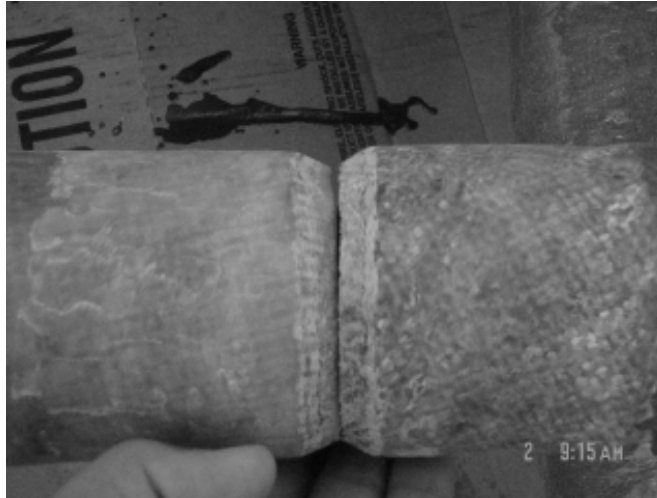
DN (mm)	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
$t_m$	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.6	1.8	2	2	2	2.7

Fuente: Laminado en sitio – Plasticon Europe

Se puede encontrar que cuando se esta alineando la tubería encontraremos que el diámetro interior es diferente a otro y creará una pequeño diferencia por milésimas o milímetros ya que el proceso de fabricación de la tubería no es exacto por ende alinear proporcional o equitativamente la diferencia entre diámetros, por ejemplo, si la diferencia es de 2 milímetros repartir 1 milímetro en un lado y el otro milímetro en el otro lado para que no haya una diferencia brusca para realizar la junta. Ver figura 21.



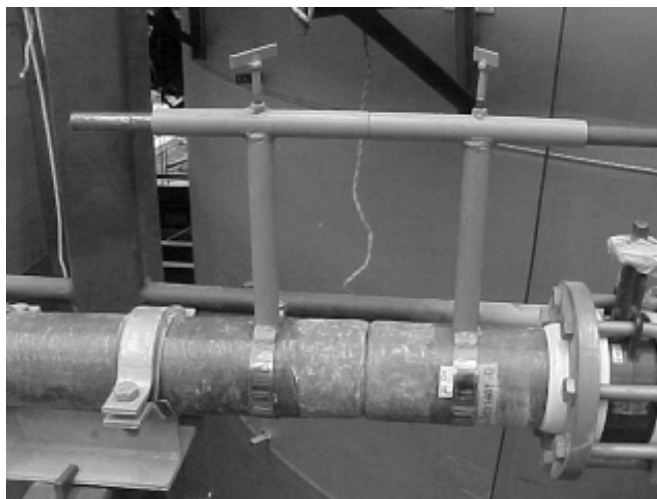
**Figura 21. Diferencia de diámetro en la tubería**



Fuente: fotografías tomadas en investigación

Un ejemplo de las herramientas que pueden improvisar para dejar fija y alineada se muestra en la figura 22.

**Figura 22. Herramienta para alinear y fijar tubería**



Fuente: fotografías tomadas en investigación

Ya teniendo lista la tubería se comienza a tomar otro aspecto muy importante es como se va a comportar la resina con las condiciones de trabajo.

### **3.1.4 Condiciones ambientales**

Algo muy importante que hay que tomar en cuenta son las condiciones ambientales del sitio de trabajo, ya que dentro del laboratorio se trabaja en condiciones óptimas, pero fuera del laboratorio, donde se ejecutan estos trabajos a nivel industrial se deben de tomar en cuenta varios factores climáticos para la buena ejecución de la laminación, según recomiendan expertos:

- La temperatura del viento no debe ser menor a 15°C (59°F)
- Máxima humedad relativa para trabajo es de 80%
- Se debe trabajar libre de polvo, suciedad y cualquier factor clima que afecte la manufactura, para ello se aconseja construir un refugio en el lugar que se vaya a trabajar, si es necesario un soplador de calor si las condiciones lo ameriten.

Siguiendo estas recomendaciones se logran contrarrestar los problemas debido a las condiciones ambientales y una buena manufactura de la laminación.

### **3.1.5 Comportamiento de la laminación con respecto el tiempo**

Es importante tomar en cuenta el tiempo que le lleva a la resina a endurecerse y obtener las propiedades físicas esperadas. Para ello el fabricante de la resina comúnmente nos da las formulaciones para conocer el tiempo que tomará en polimerizarse la resina, esto dependerá del tipo o marca de catalizador, promotor, acelerador o cualquier otro aditivo que se agregue.

La tabla III muestra el fabricante de la resina epoxi vinil-éster Derakane Momentum 411-350 una guía de fórmulas con los aditivos y c con sus respectivos tiempos de gel, estos tiempos de gel son hechos y tomados en laboratorio.

Esto nos da una idea del comportamiento de la resina con su iniciador, promotor y acelerador.

**Tabla III. Tiempo de gel usando Norac Norox 925H / Superox 46-748 MEKP**

Temperatura	Tiempo de Gel (minutos)		
	15 ± 5	30 ± 5	60 ± 10
15°C /59°F	1.50phr MEKP 0.30phr CONAP al 6% 0.60phr DEA	1.50phr MEKP 0.20phr CONAP al 6%	1.50phr MEKP 0.05phr CONAP al 6%
20°C /68°F	1.50phr MEKP 0.30phr CONAP al 6%	1.00phr MEKP 0.10phr CONAP al 6%	1.00phr MEKP 0.10phr CONAP al 6% 0.02phr 2,4P
25°C /77°F	1.00phr MEKP 0.20phr CONAP al 6%	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP al 6%	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP al 6% 0.015phr 2,4P
30°C /86°F	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP al 6%	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP al 6% 0.015phr 2,4P	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP al 6% 0.035phr 2,4P
35°C /95°F	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP	1.00phr MEKP 0.05phr CONAP

	Tiempo de Gel (minutos)		
Temperatura	15 ± 5	30 ± 5	60 ± 10
	al 6% 0.01phr 2,4P	al 6% 0.03phr 2,4P	al 6% 0.06phr 2,4P

2,4P= 2,4-pentanodiona como retardante

phr= en sus siglas en inglés “parts per hundred” y significa partes por ciento de resina

Fuente: Hoja técnica Derakane Momentum 411-350 – Compañía de químicos DOW®

El fabricante de resinas DOW® recomienda que para disminuir el tiempo de gel y color de la resina es usar bajas concentraciones de cobalto en la resina es lo más eficaz ya que cambiando las concentraciones del iniciador o catalizador como lo es el peróxido de metiletilcetona.

Estos datos dados por el fabricante son de laboratorio, son sus pruebas, el fabricante recomienda que los aditivos, procesos, fórmula o cualquier uso que se le de, debe determinarlo el fabricante por medio de su propia experiencia o una serie de pruebas. Por lo tanto se recomienda que se haga pruebas respectivas antes de comenzar a laminar para ver el comportamiento de la resina.

### 3.1.6 Elaboración de la mezcla resina más aditivos

Las cantidades para hacer la mezcla madre dependerá de la cantidad de trabajo ha realizar, por lo regular se hace de 5 galones a 55 galones de resina preparada, esta resina debe de ser revisada periódicamente para sus características de curado y uniformidad. Este dará una idea de cuanta cantidad de iniciador necesitara el técnico para la manufactura de las juntas, también ayuda para compensar por si hay cambios de condiciones climáticas.

Ya que se tiene la resina madre preparada, luego se extrae porciones de la resina preparada que se utilizará en la realización de la junta para agregarle el iniciador para que la resina comience a reaccionar, se recomienda batir bien para que la mezcla sea homogénea. Si se va a utilizar una paleta madera para realizar la mezcla de la resina con sus aditivos, se recomienda mojar la paleta de madera con un solvente antes de revolver con la resina, así se evita que el cobalto sea absorbido por la paleta seca, por lo regular como solvente se puede utilizar estireno o espíritu mineral.

Los tiempos de polimerización serán adecuados según sea la necesidad del operador para el tiempo de gel y la temperatura de trabajo. La mezcla madre recomienda el fabricante de resinas DOW<sup>®</sup> que se debe de agitar en no menos de 30 segundos y en forma de 8 para que la mezcla sea homogénea.

### **3.1.7 Laminación de conexiones**

En estos pasos se puede simplificar la laminación de las juntas de tubería de resina epoxi vinil-éster reforzada con fibra de vidrio, se verán aspectos importantes, recomendaciones, datos técnicos recabados por experiencia con ayuda de empresas especializadas en este tipo de trabajo. Hay que resaltar unos factores que no se pueden mostrar en estas imágenes que se verán a continuación, la formulación precisa de los materiales ya que dependerá de factores climatológicos y/o del requerimiento del trabajo, las variables que van a estar involucradas para una laminación específica en particular, la habilidad, el adiestramiento y la maestría que desempeñara la persona que realizará la laminación.

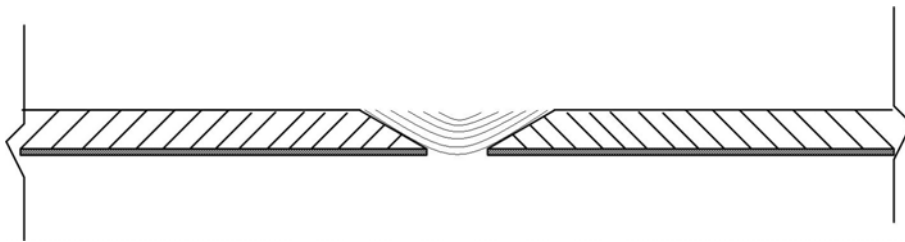
Es importante tener el lugar de trabajo limpio y ordenado es una de las claves para el éxito de una buena laminación, se recomienda utilizar el equipo

de seguridad para estos trabajos por la salud del trabajador y de los alrededores.

### 3.1.7.1 Laminación exterior

Después de que se haya realizado la resina madre con el iniciador y que las tuberías estén correctamente alineadas y fijas, se procede a llenar el espacio o separación ( $t_m$ ) entre las tuberías, se debe de llenar con dos velos de fibra de vidrio (V) y un número de tejido de cortones cortados ( $M4 - 300\text{gr/m}^2$ ) hasta que la ranura este llena tal como lo muestra la figura 23.

**Figura 23. Llenado de la ranura**



Fuente: Laminado en sitio – Plasticoon Europe

Hay que asegurarse que internamente quede parejo con el alineamiento, recomiendan utilizar como molde una pelota de hule o un plato dentro de la tubería con el fin de mantener la alineación correcta, todo esto si es factible la remoción de la pelota o del plato en el interior luego de realizar la junta. Si no es posible de colocar en el interior la pelota de hule se debe de fijar para que no se permita que resbale la tubería o se mueva en la laminación.

Luego de llenar la ranura se debe dejar que se endurezca la mezcla a modo de que si es necesario, pulir las protuberancias realizadas en la ranura a modo de dejar la superficie recta con respecto a la horizontal del tubo.

El siguiente paso es realizar la junta a tope, la cantidad de tejidos de fibra de vidrio a utilizar se verá en la hoja técnica, ver Anexo I, se tomará de ejemplo una tubería de diámetro nominal 100 (DN100), ver extracto de la hoja técnica en la tabla IV. A partir de ahí, primero colocar una capa de resina catalizada en la superficie pulida antes de colocar el primer tejido en la junta.

**Tabla IV. Extracto de hoja técnica de laminación para DN100**

DN	PN	S5 min	L min	L1	A	T <sub>m</sub> max	Estructura de laminación
100	10	4	110	20	8	0.9	2xM4 + 2x (M4 + W1) + M4 + V

Fuente: Hoja técnica - Plasticon Europe

Luego se coge un tejido de cordones cortados de 300gr/m<sup>2</sup> (M4) se le impregna con una brocha y luego se le pasa el rodillo con suficiente cantidad de resina, a continuación se lleva el tejido impregnado de resina hacia la junta y se le pasa el rodillo a modo que quede pareja y centrado, no dejar burbujas de aire atrapadas entre el tubo y el tejido de cordones cortados.

La resina produce una reacción exotérmica, por lo tanto se debe de dejar un tiempo prudente para continuar con la laminación. Luego se repite el mismo procedimiento con otro tejido de cordones cortados de 300gr/m<sup>2</sup> (M4), se debe de tener mucha atención en no dejar burbujas de aire atrapadas entre tejidos, es uno de los problemas más comunes en la laminación por mala técnica o habilidad del trabajador. Se deja que se enfríe la junta por la reacción exotérmica de la resina con el catalizador, esto se vuelve a repetir en cada tejido que se coloque en la junta.

Siguiente paso es agregar otro tejido de cordones cortados de 300gr/m<sup>2</sup> (M4) ya impregnado con resina previamente, pasarle rodillo para quitar el aire,

ver figura 24, luego agregamos una fibra trenzada plana de 300gr/m<sup>2</sup> (W1) impregnada con resina, se debe de tener precaución en dejar bien centrada con respecto la junta.

**Figura 24. Utilizando el rodillo aireador**



Fuente: fotografías tomadas en investigación

Se vuelve a impregnar resina un tejido de cordones cortados de 300gr/m<sup>2</sup> (M4), pasarle rodillo para quitar el aire, luego agregamos una fibra trenzada plana de 300gr/m<sup>2</sup> (W1) impregnada con resina, luego pasamos el rodillo aireador.

Agregamos el último tejido de cordones cortados de 300gr/m<sup>2</sup> (M4) impregnado con resina pasamos de nuevo el rodillo aireador, luego se agrega un velo superficial (V) impregnado con resina de nuevo el rodillo aireador. Después de haber agregado la última laminación en la junta, se deja que se endurezca la junta para realizarle la prueba de dureza (BARCOL) de acuerdo a la norma ASTM D2583, esto lo veremos en el capítulo siguiente.

Ya pasada la prueba y hecho como mínimo la inspección visual de la junta o cualquier ensayo no destructivo en la junta, se le impregna la última capa de pura resina con un protector ultravioleta (ver figura 25) u otro aditivo como por ejemplo, un pigmento. Como buena práctica después de haber



realizado la junta todas las herramientas deben de ser limpiadas con los productos apropiados ya descritos para ello.

**Figura 25. Impregnando resina al velo**

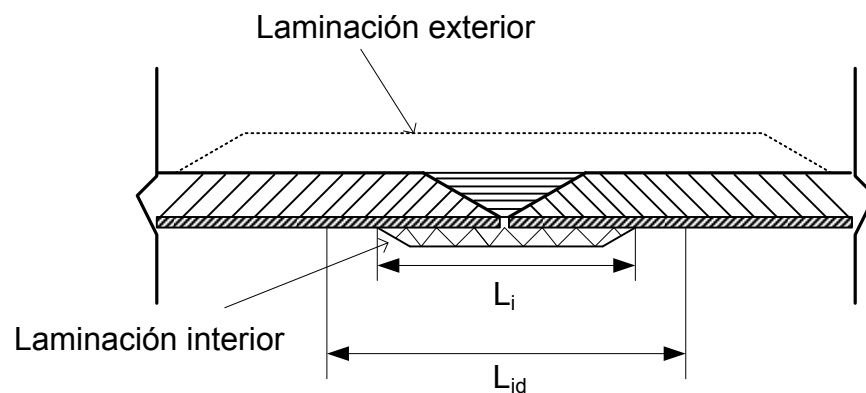


Fuente: fotografías tomadas en investigación

### 3.1.7.2 Laminación interior

En las juntas a tope con un diámetro interno mayores o igual a DN500 se necesita laminar interiormente, siempre y cuando sea accesible internamente. El procedimiento para la laminación interior se muestra en la figura 26.

**Figura 26. Estructura para laminación interior**



Fuente: Laminado en sitio – Plasticon Europe

$L_i$  = Longitud de laminado interno para tubería  $\geq$  DN500

$L_{id}$  = Longitud interna a desgastar

$L_i$  = 80mm

$L_{id}$  = 100mm como mínimo (50mm en cada lado)

Estructura de la laminación interna = 3 x M4 + V

Después de ser pulida la superficie interna de la tubería se hace el mismo procedimiento que la laminación externa a diferencia que en la mezcla de la resina se agrega ahora el carborundo o carburo de silicio a razón de 35 partes de peso, ya que la resina con el carburo de silicio tiene una mayor resistencia contra la abrasión.

Agregamos el tejido de cordones cortados de  $300\text{gr/m}^2$  (M4) impregnado con resina preparada con carburo de silicio y pasamos de nuevo el rodillo aireador, repetimos el mismo procedimiento otras 2 veces, cuidando que no se deje ninguna burbuja o quede sin resina entre laminación, luego se agrega un velo superficial (V) en este caso va a ser interno, impregnado con resina de nuevo utilizando el rodillo aireador para evitar burbujas.

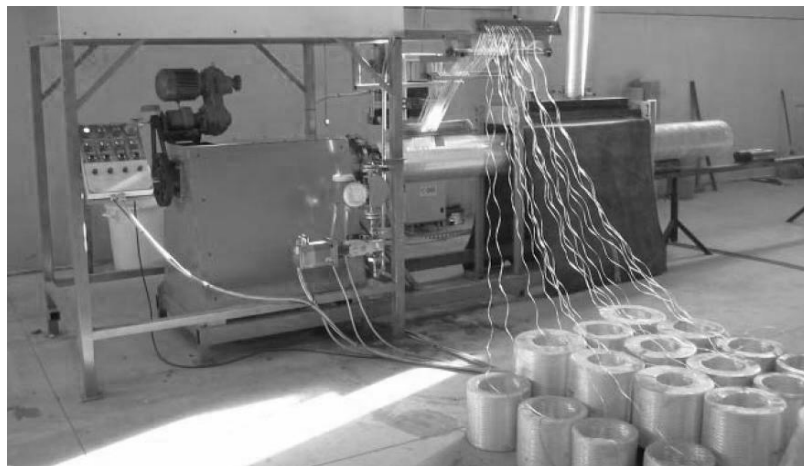
### **3.2 Proceso de enrollado**

Este es un proceso en el cual el tejido de fibra de vidrio es mojado con resina y luego es enrollado en un molde rotatorio al cual se le da el nombre de mandril, es así como se regularmente se fabrica las tuberías de plástico reforzadas con fibra de vidrio, ver figura 27, se puede variar la inclinación del enrollado de la fibra de tal manera que se le cambia sus propiedades físicas de la tubería, esto dependerá según sea su aplicación.

Velos y tejidos de fibra de vidrio son los más usados para la superficie interior de la tubería enriquecida con resina para resistir la abrasión de los fluidos que conducirá en los procesos de producción.

En el proceso de enrollado es muy importante la viscosidad de la resina ya que puede producir mala manufactura en ella, con una resina de baja viscosidad puede escurrir fácilmente en la fibra de vidrio dejando seca la fibra en el proceso de enrollado y una resina de alta viscosidad tiene dificultad en dejar totalmente impregnada y/o mojada la fibra de vidrio. Los fabricantes de resina recomiendan que para el proceso de enrollado comúnmente se utilice resinas con una viscosidad que va de 300 hasta 2,000cP.

**Figura 27. Proceso de enrollado**



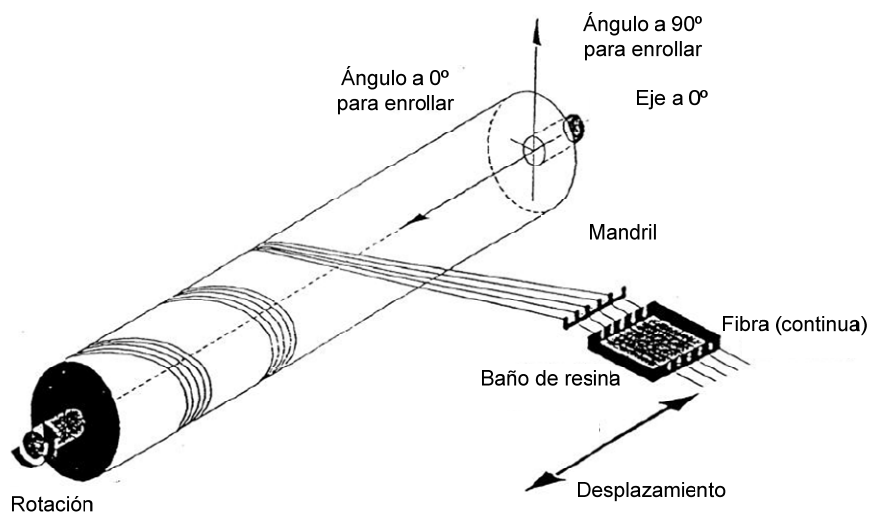
Fuente: Folleto de producción continua de GRP DN100-600 – Servicios técnicos de composites (CTS)

Hay dos tipos de procesos de enrollado más conocidos, estos son:

- Proceso de enrollado discontinuo: sirve para la creación de tuberías o tanques, el procedimiento del discontinuo es basado en un sencillo mandril rotatorio donde se esta enrollando la fibra de vidrio previamente

con resina por medio de un cabezal que se esta moviendo en toda la longitud de la tubería o tanque que se esta fabricando, ver figura 28. Ajustando la velocidad del mandril y del cabezal que distribuye la fibra de vidrio se formará un reforzado en forma helicoidal con diferentes ángulos para diferentes características.

**Figura 28. Proceso de enrollado discontinuo**

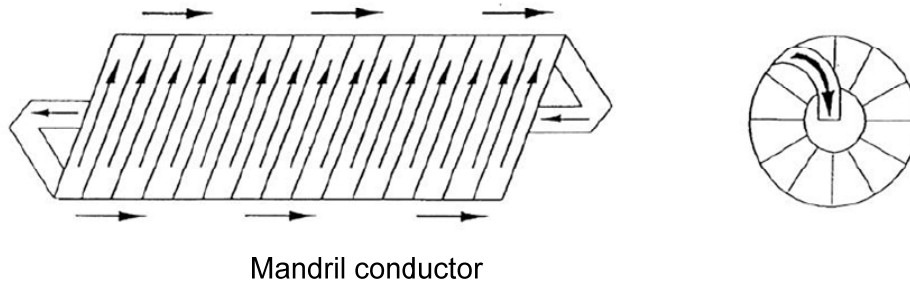


Fuente: Folleto de Tubería GRP – Cimteclab y VEM s.p.a.

Las tuberías fabricadas por enrollado discontinuo son usadas para uso en gravedad, aplicaciones debajo de la tierra y arriba, en mediana y alta presión.

- Proceso de enrollado continuo: en un sistema en el cual el mandril tiene la característica que conforme esta girando va moviendo la tubería o tanque que se esta fabricando continuamente, ver figura 29, la tubería por lo regular se corta cada 12 metros.

**Figura 29. Proceso de enrollado continuo**



Fuente: Folleto de Tubería GRP – Cimteclab y VEM s.p.a.

Estas son usadas para tuberías de baja presión y para aplicaciones de tubería enterrada.

Las tuberías o tanques manufacturados por medio de proceso de enrollado el diámetro interno de los mismos será el diámetro del mandril y el espesor de la pared del producto dependerá de cuantas vueltas se le dará a las pieza.

### **3.2 Proceso de molde**

Este proceso se realiza por medio de una bomba mecánica, esta envía a la resina preparada y el catalizador a un mezclador para luego llevarlo a un molde, este molde contiene el material de refuerzo que esta encapsulado previamente.

Se pueden utilizar varios tipos de refuerzos de fibra de vidrio se pueden utilizar tejidos continuos o ya cortados al tamaño del molde, esto dependerá del tipo de producción que se quiera llevar. En el molde se le puede agregar elementos removedores en el interior o exterior del molde para remover la pieza fabricada fácilmente.

Este proceso se usa para pequeñas o medianas cantidades de producción. Se pueden utilizar moldes de diferentes tamaños y modelos dependiendo en la cantidad de producción. En el molde se puede suministrar calor para acelerar el proceso del tiempo de gel de la resina.

## 4. CONTROL DE CALIDAD DEL FRP

En este capítulo veremos varios aspectos importantes sobre la calidad del producto, de ello depende el tiempo de vida de la junta y por ende minimizar costos.

Las juntas de resina epoxi vinil-éster reforzada con fibra de vidrio se deben de inspeccionar para evitar fallos posteriores en las juntas, los métodos usados para inspeccionar las juntas de FRP son los ensayos no destructivos (también llamado END, o en sus siglas en inglés NDT de *non destructive test*).

Los ensayos no destructivos “son aquellas que determinan la utilidad, la capacidad de servicio o calidad de una parte o material, sin limitar su utilidad”<sup>2</sup>. Se puede definir también como “...a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales”<sup>3</sup>.

Los ensayos no destructivos que se pueden aplicar a los plásticos reforzados con fibra de vidrio son:

- a. Inspección visual
- b. Medición de dureza
- c. Prueba hidrostática
- d. Ultrasonido
- e. Rayos X

---

2) Manual del ingeniero mecánico, Marks, 3era edición en español, Editorial McGraw Hill, 1995

3) [http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo\\_no\\_destructivo](http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo)

La inspección visual es el primer paso luego de terminada la junta, dependerá de la experiencia y conocimiento de la persona que realizó la junta o un examinador o inspector de calidad para determinar si esta de acuerdo con los parámetros establecidos de calidad.

#### **4.1 Inspección visual de los plásticos reforzados con fibra de vidrio**

La visión es uno de los elementos claves para el éxito de la buena manufactura de este tipo de juntas, este nos dirá en base a ejemplos reales o imágenes si la junta que se esta realizando o finalizando cumple con los estándares de calidad. Es recomendable en la inspección de tener una apropiada iluminación ya sea natural o artificial para poder examinar la junta adecuadamente. En la inspección de las juntas de FRP lo más importante es la visual junto con la prueba de dureza.

Antes, durante y terminada la manufactura de la junta de FRP la persona que esta realizando la junta debe aplicar la inspección visual para lograr arreglar antes los defectos posibles al realizar la junta.

La interpretación del inspector no dirá si la junta evaluada es aceptada o rechazada, estos criterios de aceptabilidad o rechazo son dados por una especificación u orden técnica en los que se fijan los límites, tamaños, números y orientación si los fallos o discontinuidades son inadmisibles o aceptados.

Para conocer los límites de las imperfecciones que se pueden considerar ya como defectos deben de ser reparados y reexaminados de acuerdo a normas internacionales tal como el ASME sección 5 o ASTM como referencia.



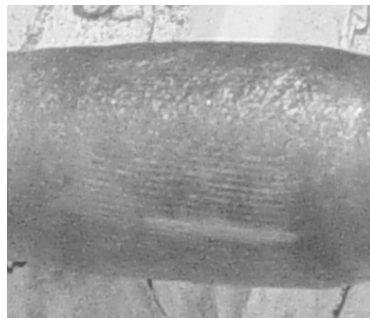
Se debe de examinar el 100% de las juntas realizadas, se deben de examinar durante el montaje, incluyendo desde el alineamiento y soportes de la tubería, se examina toda la tubería por si se requiere reparar o reemplazarla.

#### 4.1.1 Detección de fallas

Aquí veremos unos ejemplos de fallas o defectos comunes que pueden encontrarse al momento de realizar, terminar la junta o reparar una tubería de FRP.

- a. Burbujas de aire o vacíos: estos son encontrados entre las capas de laminación, ver figura 30, se debe a una posible burbujas que quedan luego de ser mezclado abruptamente, una superficie sucia o durante la laminación no se paso el rodillo aireador para eliminar el aire encapsulado en la laminación.

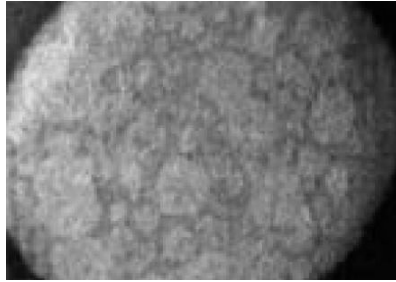
**Figura 30. Burbujas de aire o vacíos**



Fuente: fotografías tomadas en investigación

- b. Ampollas: son redondeadas y a veces puntiagudas, con una pequeña elevación en la superficie de la laminación, ver figura 31, puede ser ocasionado por un rápido tiempo de curado, humedad en la resina o en la fibra.

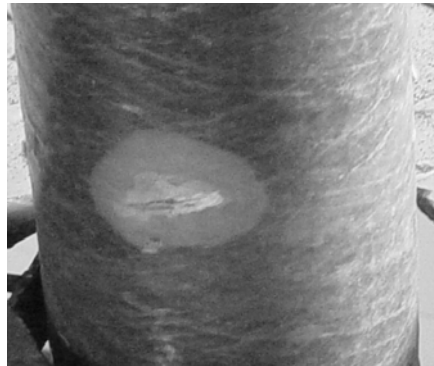
**Figura 31. Ampolla**



Fuente: *ASHLAND – Composite polymers*

- c. Rajadura por impacto: es una grieta que se mira en la tubería causado por un impacto en producción, montaje o mala operación de la tubería, ver figura 32, esto puede variar de tamaño según la intensidad del impacto.

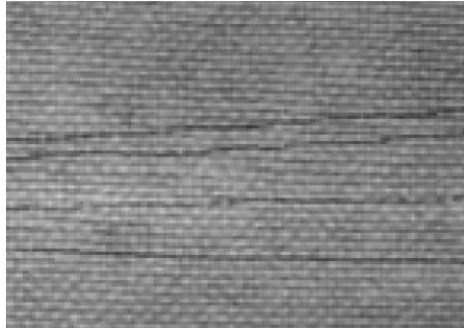
**Figura 32. Rajadura por impacto**



Fuente: fotografías tomadas en investigación

- d. Resquebrajadura: son pequeñas rajaduras que se mira en la junta que puede ser debido a pequeños impactos, fatiga por cambios de temperatura bruscos o encogimiento de la resina. Ver figura 33.

**Figura 33. Resquebrajadura**



Fuente: *ASHLAND – Composite polymers*

- e. Separación de capas: a esta falla se le conoce también como “delaminación”, una de las causas posibles es por la poca impregnación de resina entre las láminas o capas del refuerzo, superficie sucia o no se logro remover una buena cantidad de aire atrapado entre las capas de laminación. Ver figura 34.

**Figura 34. Separación de capas**



Fuente: *ASHLAND – Composite polymers*

- f. Ojo de pescado: es una pequeña concentración en forma globular que no ha sido bien mezclado con el material, se puede identificar en la superficie de la junta donde es transparente. Se debe probablemente por una superficie sucia de la laminación o un objeto extraño.

- g. Puntos o áreas secas: son lugares que se muestra sin impregnarse con resina, se puede observar con facilidad por la falta de resina en el tejido de fibra de vidrio.
- h. Elevaciones: son protuberancias que se ven comúnmente en forma cónica, se produce comúnmente por exceso de resina.
- i. Orificios pequeños: son pequeños hoyos que se forman en la capa externa de la junta, esto se debe a pequeñas burbujas que emergen debido a la mezcla de la resina o por la misma reacción exotérmica.
- j. Acumulación de resina: se produce por un exceso de resina en un área localizada, esto se debe por la falta del rodillo aireador o mal uso.
- k. Rayones: marcas o rayas que se generan debido a mal manejo del material que pueden ser desde simples superficiales hasta surcos en la tubería.
- l. Arrugas: se presenta cuando una o más láminas de fibra de refuerzo están mal colocadas al momento de laminar.

## **4.2 Pruebas al FRP**

Luego de ser inspeccionado visualmente, para asegurar que la junta cumpla con las condiciones esperadas, se le somete a pruebas o ensayos no destructivos, si es necesario, para cerciorarse de su buena manufactura y secado.

#### 4.2.1 Medición de la dureza

La dureza es “la resistencia de un material a ser rayado o perforado (identación) por un agente penetrante”<sup>4</sup>, también se le puede definir como “la resistencia a penetración local, al rayado, al maquinado, al desgaste o abrasión y a la fluencia del material”<sup>5</sup>. Para conocer si la resina esta endureciendo se puede revisar por medio de una prueba de dureza. La propiedad de dureza nos indica si la resina se ha completado de curar o polimerizar.

Entre los métodos más comunes para medir la dureza se pueden mencionar:

- a) Dureza Brinell: este método se ejecuta forzando una esfera endurecida para penetrar en la superficie del material a una fuerza ya definida, luego se mide el diámetro de la huella que dejó después de la prueba.
- b) Dureza Rockwell: este se determina con la profundidad de penetración que deja al ejercer una fuerza por medio de un indentador que puede ser una esfera de acero con un diámetro en particular o un diamante cónico de punta esférica que se le llama “Brale”.
- c) Dureza Vickers: esta es semejante a la dureza Brinell ya que se expresa el resultado en términos de la presión originada bajo el indentador. El indentador tiene forma de diamante que esta colocado tal que forma una pirámide de base cuadrada.

---

4) Diseño de elementos de máquinas, Robert L. Mottt, 2da edición, 1,992

5) Manual del ingeniero mecánico, Marks, 3era edición en español, Editorial McGraw Hill, 1995

- d) Dureza barcol: se determina por medio de un aparato portátil que ejerciendo fuerza en él desciende un indentador de acero (tipo punta) al material y por medio de un marcador enseñará la resistencia a ser penetrado esto en escala barcol.

La dureza Brinell, dureza Vickers, dureza Rockwell y dureza barcol especial para los materiales no metálicos, estos se van a diferenciar uno del otro por la forma o diseño de la herramienta que se usa o el penetrador, en que condiciones se aplica la carga y su específica forma de determinar la dureza.

#### **4.2.1.1 Dureza barcol**

Esta se realiza por medio de un aparato o equipo llamado barcol, este aparato esta diseñado para tomar lecturas de dureza para materiales como no tan duros, como por ejemplo, aluminio, metales suaves, plásticos, fibra de vidrio, hule y cuero.

##### **4.2.1.1.1 Descripción del medidor barcol**

Este aparato tiene su cualidad de ser pequeño portátil y de uso fácil, no se necesita de experiencia para su uso, es de fácil aplicación y rápida lectura, no pesa mucho por lo que lo hace un aparato apto para inspeccionar las juntas en el lugar de trabajo o incluso ya en su sitio, que puede ser en grandes alturas o en lugares confinados. Ver figura 35.

Los valores del medidor barcol está dado con un rango de 0 a 100, siendo 100 el más duro, este nos dirá el grado de curado de la resina.

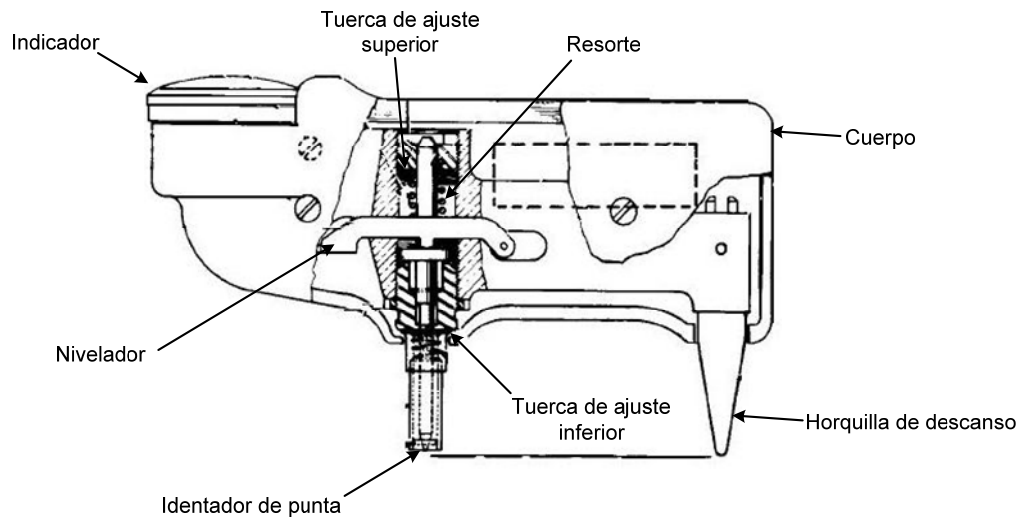
**Figura 35. Identador barcol**



Fuente: Manual de instrucciones, El identador portátil para prueba de dureza – Compañía Barber Colman

El identador o medidor barcol tiene una forma que se adapta a las manos, sus partes principales consta del indicador, el identador de punta, la horquilla de descanso y el cuerpo. Ver figura 36.

**Figura 36. Esquema de identador barcol**



Fuente: Esquema modificado de Manual de instrucciones, El identador portátil para prueba de dureza – Compañía Barber Colman

#### **4.2.1.1.2 Uso del medidor barcol**

El modo de usar este instrumento mecánico es sumamente sencillo, se utiliza colocando el instrumento en el material que se va a probar su dureza, se debe de colocar el instrumento en la misma superficie plana para asegurar una lectura eficaz sin error por mal manejo. Asegurarse de no tomar las lecturas a especímenes de no menos de 1/16 de pulgada de espesor.

Para revisar una junta específicamente se debe de usar la norma que aplica, esta es la norma ASTM D2583, este es el método usado para determinar la dureza barcol a las plásticos reforzados o no reforzados con fibra de vidrio, nos indica que colocando el material debajo del aparato se le presiona uniforme-mente al espécimen hasta que el marcador nos de la lectura más alta, la profundidad de la penetración nos dará el valor barcol

Se recomienda cuando se presione el aparato se haga uso de la horquilla de descanso como pivote para mejor toma de lectura, en materiales muy blandos puede darnos una lectura alta y luego descender por la naturaleza de los materiales blandos.

La resina epoxi vinil-éster con marca Derakane<sup>®</sup> recomienda realizar de 10 a 12 lecturas con el barcol, luego se rechaza la lectura mas baja y más alta, para después sacar un promedio para obtener el valor de la junta dado en medida barcol.

#### **4.2.1.1.3 Calibración del medidor barcol**

Como todo instrumento de precisión conforme el uso este tiende a perder su exactitud, por ello necesita de calibración. Para esto se necesitan de unos



discos calibrados con una dureza ya estandarizada por el fabricante con dos lecturas, una con valores altos (87/89 dureza barcol) y la otra con valores bajos (43/48 dureza barcol). Luego con los tuercas de ajuste (ver figura 37) se calibra el instrumento probándolos en las discos calibrados, la tuerca superior sirve para calibrar con el disco con valores bajos y la tuerca inferior sirve para calibrar con el disco de valores altos.

El fabricante recomienda estar haciendo pruebas cada cierto tiempo con los discos calibrados para comprobar la exactitud del aparato.

#### **4.2.2 Prueba de acetona**

Esta prueba sirve para revisar si la junta con resina esta completamente curada, se debe realizar cogiendo una bola de algodón saturada de acetona, esta es colocada en la lámina de la junta por 30 segundos, ya pasado el tiempo remover el algodón con acetona y luego revisar el lugar que se coloco.

Si la superficie de la laminación se encuentra pegajoso después de haber sido removido el algodón se debe considerar que la laminación no esta todavía curada. Esta prueba es significativa solo cuando es hecha en la capa o lámina contra la corrosión, esta no es aplicable en la capa externa ya que no esta protegida por la inhibición del aire.

#### **4.2.3 Prueba hidrostática**

Esta prueba es una de las más usadas a nivel industrial y sirve para verificar que las tuberías, tanques o equipos que van a estar sometidos a presión sean evaluados por cualquier defecto previo a su funcionamiento para evitar cualquier fuga.

#### **4.2.3.1 Consideraciones previas a la prueba hidrostática**

Este ensayo se realiza para las tuberías de plástico reforzado con fibra de vidrio luego de haber pasado por la inspección visual y la prueba de dureza de las juntas, estas se basan regularmente según normas internacionales ASME sea B31.1 código para tuberías de industrias de poder (generadoras, plantas geotérmicas, plantas industriales y sistemas de calentamiento o enfriamiento) y el B31.3 para tuberías de procesos (refinerías de petróleo, químicos, textil, planta de papel, plantas criogénicas o cualquier planta de procesos).

Antes de realizar la prueba hidrostática se debe dejar la tubería sellada herméticamente, si hay bridas involucradas colocarles bridas ciegas con sus respectivos empaques de prueba, si hay accesorios tales como válvulas, flujómetro, coladeras o cualquier otro tipo de accesorio se recomienda removerlos y sustituirlos por tramos de tubería temporal o juntar la tubería que quedo espaciada por el accesorio removido, fijar las tuberías con soportes ya sea temporales o ya en sitio, tener un manómetro certificado para la veracidad del resultado.

Luego la tubería es llenada con el fluido que por lo regular se usa agua, luego se ceba la tubería y se purga el aire para que no quede encerrado aire en la tubería para que no haya cambios en la presión y luego se presuriza a presión de prueba según las normas internacionales.

#### **4.2.3.2 Inspección durante la prueba hidrostática**

Cuando la tubería esta presurizada se revisa por medio de la vista, oído y el tacto, si hay humedad o pequeñas fugas de agua. El tiempo prudencial para

una prueba hidrostática es el tiempo que se lleva inspeccionar a lo largo de toda la ramificación de tubería y dar un plazo de 15 minutos para dar terminada la prueba. Tomar en cuenta para la prueba hidrostática la temperatura en cual esta colocada la tubería, ya que si la tubería esta bajo el sol, esta tiende a aumentar la presión o al contrario si se realiza cuando hay un descenso de temperatura la presión disminuirá, el resultado de la prueba dependerá de la interpretación y aceptación del inspector o supervisor de calidad.

#### **4.2.4 Ultrasonido**

Este ensayo no destructivo nos permite “localizar las fallas por carencia de adherencia de la resina, posibles fallas por delaminación o vacíos y pequeñas desviaciones en el espesor de la pared de la junta o tubería”<sup>6</sup>.

Para realizar estas inspecciones se necesita de personal calificado y certificado en pruebas no destructivas según normas estándares internacionales, ya que se necesita una buena interpretación del ensayo de ultrasonido. Los vacíos y zonas por carencia de adherencia suelen detectarse por los métodos estándares de normas americanas “a resoluciones de 10mm ya profundidades de más de 10mm”<sup>6</sup>.

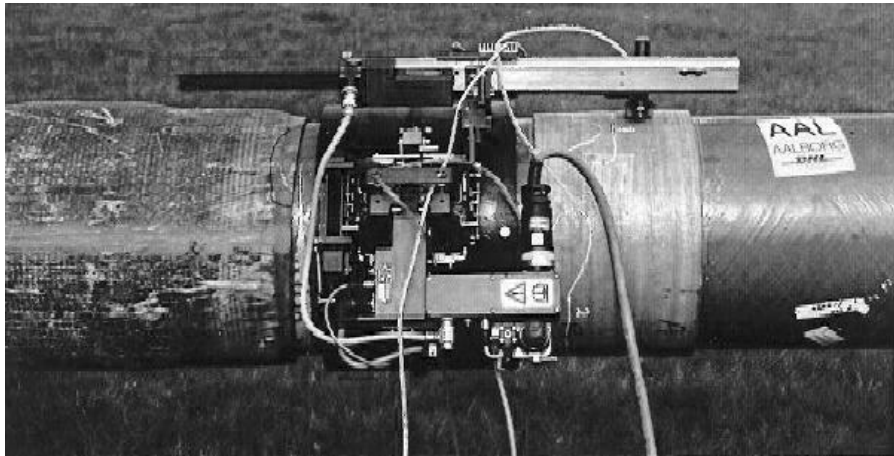
Las delaminaciones pueden ser detectadas con el mismo método anterior de los vacíos. Se puede también detectar desviaciones en los espesores de la pared de la junta o tubería. Los límites para detectar fallas, dependerá del método, frecuencia y equipo de ultrasonido.

---

6) <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Articulo.asp?A=6441>

Se puede utilizar método automático (ver figura 37) o manual para verificar las juntas.

**Figura 37. Scanner tipo P aplicado en tuberías FRP**



Fuente: Experiencias con resinas epoxi vinil-éster en sistemas de tuberías de FRP químicamente resistentes - DOW & GMBH & Co. 2002

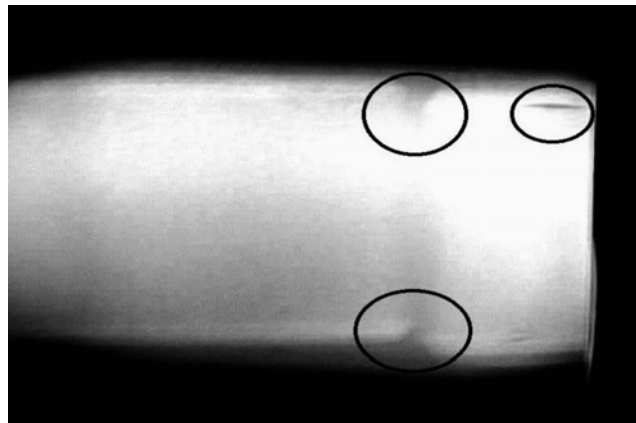
#### **4.2.4 Radiografía**

El método de este tipo de prueba o ensayo no destructivo consiste en que se utiliza una fuente de radiación, comúnmente rayos x, radiación gamma o alguna radiación similar penetrante procedente de isótopos radiactivos (Iridio 192, cobalto 60, cesio 137, etc.) para registrar o revelar una imagen en una placa o película fotográfica. Con esta imagen obtenida se puede detectar o encontrar defectos en las juntas como variación de espesores, inclusión de agua, vacíos entre laminaciones y cualquier tipo de incrustación. Una de las limitaciones de la radiografía es el costo, ya que es necesario de hacer varias películas fotográficas de tomas transversales para la buena detección del defecto para su buena interpretación. La radiografía tiene sus limitantes como por ejemplo, áreas de pobre adherencia no puede detectarse con este ensayo.

- Defectoscopía radiográfica para uniones de laminados:  
Esta se utiliza para inspeccionar la laminación de juntas en campo, cuando sea por construcción, reparación o que se modifique. Se puede detectar varias fallas como lo son:
  - o Mal alineamiento entre los finales o bordes de la tubería (ver figura 38)
  - o Burbujas de aire atrapadas
  - o Delaminaciones
  - o Escasa resina en hendiduras o ranuras del bisel.
  - o Separación entre la unión de las tuberías

Ver tabla de evaluación de fallas encontradas en radiografías en anexo 2.

**Figura 38. Radiografía con fallas en tubería**

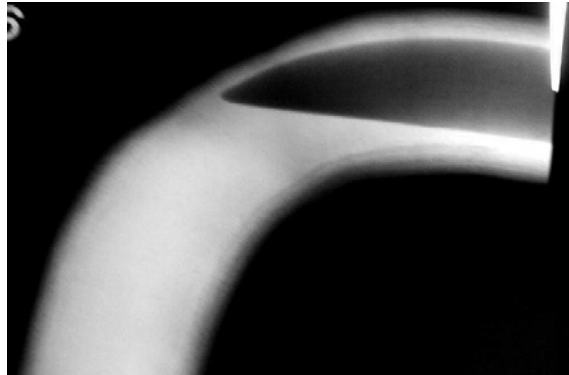


Se puede apreciar mal alineamiento entre los bordes de las tuberías, mal ángulo de bisel, exceso de separación entre bordes de tubería y delaminación en capa externa.

Fuente: Experiencias con resinas epoxi vinil-éster en sistemas de tuberías de FRP químicamente resistentes – DOW & GMBH & Co. 2002

Al tomar la radiografía se debe de drenar cualquier fluido que tenga la tubería, ya que daría lecturas erróneas o nulas en la radiografía. Ver figura 39.

**Figura 39. Radiografía con líquido presente**



Fuente: Experiencias con resinas epoxi vinil-éster en sistemas de tuberías de FRP químicamente resistentes – DOW & GMBH & Co. 2002

## **5. ESTUDIO ECONÓMICO**

En todo trabajo se necesita la realización de un estudio económico para determinar si es rentable o no rentable la ejecución de una labor. Se necesita de una planeación para seleccionar los elementos como materia prima, equipo o herramientas y la mano de obra para este tipo de trabajo.

### **5.1 Consideraciones**

Para la realización de juntas de tubería de resina epoxi vinil-éster reforzadas con fibra de vidrio se debe de tener en cuenta la materia prima, el equipo adecuado para la ejecución de las juntas y la mano de obra calificada para la mejor calidad de la manufactura de las mismas.

Los materiales se deben de tener en cuenta el material directo como el material indirecto, estos pueden ser:

- Hallar el material de menor precio y con buena calidad.
- Encontrar los materiales con facilidad.
- Utilización de los materiales de una buena manera para economizar los mismos.
- Utilizar los materiales ya usados previamente para minimizar costos.

Las herramientas y equipos de trabajo, es un factor que hay que tomar en cuenta ya que tienen una mayor influencia en el al aspecto económico y dependerá de la cantidad que se va a producir de juntas en las tuberías, ya que aumentará la mano de obra si se requiere minimizar tiempo de entrega del trabajo a efectuar.

Mano de obra, esta es la parte vital de la realización del trabajo por ello forma parte de las consideraciones del estudio económico. El puesto de trabajo se le evalúa según la preparación, experiencia y la habilidad para ejecutar el trabajo.

La forma de pago dependerá de la política de la empresa, por lo regular se paga al trabajador por sueldos base al mes, por quincena, por hora, se les da incentivos de tipo financiero.

A los trabajadores se les evalúa según desempeño realizada por un supervisor, al considerar varios factores como calidad de manufactura, cantidad de producción, como se adapta el individuo con su entorno, la confianza en él, trabajo en equipo y otras actitudes que lo harán calificar apto para el trabajo.

## **5.2 Comparación entre uso del FRP y otros materiales**

Algo muy importante en escoger el material de tubería que se va a seleccionar para la instalación en una industria es el ahorro en vida útil del material a usar ya que el costo por reparaciones hay que evitar y sobre todo cuando se trata de fluidos corrosivos como por ejemplo en una industria que maneje agua salada, soda cáustica, agua de desperdicios, cloro, ácido sulfúrico, ácidos, fosfatos, aceite, alcoholes, entre otros.

Estas son unas de las razones del porque la tubería manufacturada con resina epoxi vinil-éster reforzada con fibra de vidrio resulta ser económica.

- El interior de la pared la tubería es lisa permitiendo al diseñador en reducir el diámetro del tubo manteniendo el mismo flujo.



- Haciendo comparación teniendo el mismo diámetro de tubería entre la tubería FRP y tubería de acero, consume menos caballaje las bombas que impulsan el fluido en las tuberías.
- El FRP mantiene el coeficiente de rugosidad de la pared interna del tubo a diferencia de las tuberías de acero que con respecto el tiempo se va incrementando la rugosidad y con ello produce más esfuerzo la bombas o provoca cambiar las bombas por una de caballaje mayor o limpiar o reemplazar las tuberías.

Estudios realizados señalan que la manufactura de tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio hecho con resina epoxi vinil-éster es durable, económica a comparación de materiales metálicos tales como el acero inoxidable y aceros aleados.

Un estudio de una planta que quita el azufre de los gases de escape (FGD) por medio de agua y que contiene partículas de piedra caliza. Con una barrera interior resistente a la abrasión basada en resina epoxi vinil-éster el resultado es exitoso y fue probado en acerca de 100 plantas industriales.

La vida útil de estas instalaciones se ha incrementado limitando las partículas de piedras de cal de tamaño 150 micrones y una velocidad de 12 pies por segundo y resulto ser menos costoso que usando acero al carbón recubierto con hule o acero inoxidable 316.<sup>7</sup> Ver tabla V.

---

7) Folleto traducido “¿Porque el FRP esta siendo usado en aplicaciones de desulfurización de gases de escape con cal?”, información técnica de químicos DOW®. 1,999

**Tabla V. Comparación de costos de una distribución de tubería para FGD de 20 pies, incluyendo codo y tee.**

Tubería	Tubería de 6"		Tubería de 12"	
	Precio de instalación	Factor costo	Precio de instalación	Factor costo
FRP hecha con resina vinil-éster	US\$1,661	1.00	US\$4,767	1.00
Acero al carbón recubierto con hule, cedula 40	US\$2,963	1.78	US\$7,364	1.55
Acero inoxidable 316, cedula 40	US\$5,346	3.21	US\$14,288	3.0

Fuente: Folleto traducido "¿Porque el FRP esta siendo usado en aplicaciones de desulfurización de gases de escape con cal?", información técnica de químicos DOW®. 1,999

En otro estudio en industrias que producen papel tiene un menor costo en la fabricación, envío, instalación y mantenimiento que otros materiales, en la tabla VI veremos la comparación de instalación de tubería de diferentes materiales.

**Tabla VI. Comparación de costos para sistemas instalados de tuberías rectas**

Material de tubería	Tubería de 10 cm de diámetro		Tubería de 15 cm de diámetro	
	Costo instalado por cada 100 pies	Factor costo	Costo instalado por cada 100 pies	Factor costo
Acero al carbón, cédula 40	US\$2,552	1.00	US\$3,407	1.00

Material de tubería	Tubería de 10 cm de diámetro		Tubería de 15 cm de diámetro	
	Costo instalado por cada 100 pies	Factor costo	Costo instalado por cada 100 pies	Factor costo
FRP hecho con resina epoxi vinil-éster, 150psi a 93°C	US\$2,687	1.05	US\$3,704	1.09
Acero inoxidable 316, cédula 10	US\$3,180	1.25	US\$4,607	1.35
Monel, cédula 10	US\$8,860	3.47	US\$12,123	3.56
Hastelloy C-276, cédula 10	US\$12,835	5.03	US\$20,761	6.09

Fuente: Folleto traducido de "Aplicaciones para equipos de plásticos reforzados con fibra de vidrio en la industria de la pulpa y el papel", DOW<sup>®</sup>. 1,998

### 5.3 Accesibilidad de los productos

Esto es parte primordial en la ejecución de cualquier trabajo, definiremos que es accesibilidad, "es el grado en el que todas las personas pueden utilizar un objeto, visitar un lugar o acceder a un servicio, independientemente de sus capacidades técnicas o físicas"<sup>8</sup>, para nuestros fines, la accesibilidad no es mas que es la facilidad de obtener los productos en el mercado, ya sea materia prima, herramientas y equipos.

En el momento de ejecución de un trabajo es necesario tener todas las

---

8) <http://es.wikipedia.org/wiki/Accesibilidad>, agosto 2008

herramientas, materia prima y equipos ya previos al trabajo para no tener tiempos de ocio por la falta de los mismos, se recomienda tener una compañía que surta la todo lo necesario para los trabajos, o bien, tener cercano del lugar de trabajo una distribuidora.

Para todo trabajo es recomendable tener en existencia siempre herramienta y sobre todo materia prima de reserva por cualquier eventualidad.

#### **5.4 Costo de manufactura**

Para trabajar con este tipo de tuberías se recomienda tener previsto los materiales para fijar el presupuesto para realizar un trabajo, uno de los factores que hay que tomar en cuenta por los costos y tiempo de entrega es la resina, ya que este tipo de resinas epoxi vinil-éster son de uso especial por su aplicación, calidad en el comportamiento y resistencia contra la abrasión. En Guatemala las empresas de venta de resinas por lo regular no tienen en existencias se tienen que importar bajo pedido. Los demás materiales como el catalizador, protectores ultravioleta, recubrimientos, naftenato de cobalto, reatardantes y aceleradores se encuentran en el mercado local.

Las herramientas para trabajo para la manufactura de las juntas son de bajo precio y se encuentran por lo regular en empresas de ventas de resinas y fibras de vidrio,

Con respecto a la mano de obra dependerá del criterio de la empresa acorde a las políticas de la misma.

## **5.5 Beneficios del uso de FRP**

La resina epoxi vinil-éster nos representa, ahorro económico por su barrera en contra a la corrosión y a la abrasión en fallas en sistemas de redes de tuberías en una industria que maneje químicos abrasivos. Fácil instalación por su poco peso se necesita menos mano de obra, maquinaria más liviana para la instalación (pequeñas grúas, montacargas, etc.) para el montaje de las tuberías, equipo de envío más liviano y su costo es más bajo que los otros materiales.

El equipo que se emplea para la manufactura de las juntas es prácticamente de bajo costo a diferencia de usar otros materiales como los metales que se utiliza equipos con alto costo para realizar el trabajo.



## 6. INFORMACIÓN DE SALUD INDUSTRIAL

En cualquier tipo de trabajo, la salud y seguridad de los trabajadores es lo primero, para ello es necesario conocer lo básico para poder realizar la manufactura de las juntas en tubería con seguridad.

El equipo de protección personal se puede definir como “es el equipo que esta diseñado para proteger a los empleados en el lugar de trabajo de lesiones o enfermedades serias que puedan resultar del contacto con peligros químicos, radiológicos, físicos, eléctricos, mecánicos u otros. El personal que esté realizando las juntas debe de tener el equipo de protección personal básica así evitar cualquier accidente en el trabajo. Este lo componen:

- Casco: protección por cualquier lesión en el cráneo.
- Lentes o gafas de seguridad: por cualquier salpicadura de material u objeto extraño en los ojos.
- Guantes: sirven para proteger las manos por cualquier corte, liquido abrasivo, incrustaciones de objetos extraños, etc.
- Zapatos industriales: se les conoce también como zapatos de seguridad, estos sirven para protección del pie por cualquier caída de objeto pesado o punzante.
- Mascarilla: este sirve al trabajador para no inhalar humos tóxicos o partículas nocivas a la salud del trabajador.

- Tapones auditivos u orejeras: estos ayudan a reducir la intensidad del sonido para protección del medio auditivo.
- Overoles: sirve para cubrir el área del pecho o el cuerpo entero por cualquier derrame de líquido,

### **6.1 Hoja técnica de seguridad**

Ya con conocimiento de la protección personal del trabajador, es necesario conocer la hoja o ficha técnica de seguridad de los productos a usar, en ella se encuentra en resumen datos importantes del producto que se este manejando, esto lo rige entidades como la administración de seguridad y salud ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés) y la asociación nacional de protección contra el fuego (NFPA en sus siglas en inglés). Se recomienda que desde que se adquiere el producto leerlas y conservar estas fichas u hojas técnicas ya que cualquier emergencia por algún accidente se deben de recurrir.

Los datos que contiene la ficha técnica en general son:

- Identidad química: se describe la identidad de la sustancia del producto en la etiqueta.
- Fabricante: muestra el nombre del fabricante, teléfono, teléfono de emergencia, dirección y fecha que fue efectuada la hoja técnica.
- Ingredientes peligrosos / Información de la sustancia: en ella se describe la sustancia químicamente y otros nombres comunes, límites de exposición con la sustancia entre otros.



- Características químicas y físicas de la sustancia: en ella se describe, punto de ebullición, presión de vapor, gravedad específica, punto de fusión, solubilidad, apariencia físicas entre otros.
- Datos de riesgo de explosión y fuego: en este apartado se describe el punto de inflamación, límites de inflamabilidad, medios para extinguir el fuego, procedimientos especiales de lucha contra el fuego y peligro de explosiones.
- Datos de reactividad: describe las condiciones de reactividad del producto, que es lo que hay que evitar, descomposiciones del producto o polimerización (que hay que evitar).
- Datos del peligro para la salud; advierte los peligros de entrada al cuerpo humano ya sea por respiración, ingestión o por la piel, si es cancerígeno, que signos o síntomas se manifiestan al exponerse a ellos, procedimientos de primeros auxilios y emergencias.
- Uso y precauciones seguras de almacenamiento: da pasos o recomendaciones si el producto ha sido soltado o derramado, los métodos para desechar el producto, como debe de ser manejado o almacenado y otras precauciones.
- Medidas de control personal: enseña que protección personal del trabajador aplica para este material en particular.

Hay otros apartados que le pueden agregar a las hojas de seguridad para información adicional a sus productos. Ver en anexo 3.

## **6.2 Propiedades físicas**

Las propiedades físicas de un elemento o sustancia nos muestra el estado en el que se encuentra, ya sea en sus cuatro estados que son líquido, gaseoso, sólido y plasma. También indica las propiedades como el punto de ebullición, presión de vapor, densidad de vapor, solubilidad, olor, apariencia, adherencia, capilaridad, etc.

Ahí se conoce la mayoría de valores técnicos de la materia a usar esto por lo regular se encuentra en la ficha técnica de la materia.

## **6.3 Peligros en caso de fuego y explosiones de los productos**

Estos datos son de suma importancia de conocer antes de comenzar a trabajar con los materiales, esto para estar al tanto de la forma de trabajar con ellos. La resina epoxi vinil-éster es clasificada como material inflamable según normas internacionales como la asociación nacional de protección contra el fuego (NFPA en sus siglas en inglés), estas normas son las que nos dicen si el material o sustancia es inflamable. Los materiales que se usan para realizar la mezcla de resina son inflamables por lo que se recomienda estar lejos de cualquier lugar de ignición, estar en un lugar fresco ya que el punto de inflamabilidad de estos productos es baja.

Revisar los productos en los respectivos envases por especificaciones de uso y manejo para evitar cualquier accidente causado por fuego o explosiones. Estos envases llevan un símbolo llamado “diamante de fuego” que es un código de la norma NFPA 704, ver figura 40, este nos indica los riesgos de materiales peligrosos, este diamante de fuego se compone de 4 divisiones y cada división tiene un color asignado. El azul (3) hace referencia a los riesgos de la salud que

el material implica, el rojo (4) indica el peligro de inflamabilidad del producto, el amarillo (2) son los riesgos por reactividad o inestabilidad del producto y el blanco (contiene una W) son indicaciones especiales para algunos materiales.

**Figura 40. Figura de código NFPA 704**



Fuente: <http://www.ilpi.com/msds/ref/nfpa.html>

Al color azul, rojo y amarillo se les clasifica de una escala del cero al cuatro donde el número más bajo (cero) significa sin peligro y el número más alto (cuatro) es máximo peligro, ver anexo 4 para más información.

#### **6.4 Primeros Auxilios**

Estos son las primeras medidas a tomar en caso de que el trabajador o los trabajadores tengan un accidente durante el trabajo para conservar la vida hasta disponer de un tratamiento especializado. Estas medidas sirven para aliviar el dolor y angustia del trabajador de tal manera que contrarreste el agravamiento del accidente.

La persona que le da los primeros auxilios al trabajador debe de ser un socorrista entrenado. Las personas que estén cerca del accidentado tienen que evitar el pánico o precipitarse a menos que el trabajador sea susceptible a daños adicionales al accidente. Al accidentado se le debe de calmar explicándole que ya se ha solicitado ayuda médica para lograr calma en él.

Al preparar o realizar las juntas hay que evitar accidentes por mal manejo de las herramientas o materiales estos se producen en las manos, los ojos, por las vías respiratorias y a veces por ingerir las sustancias por equivocación todo esto se puede contrarrestar o anular llevando los reglamentos de seguridad paso a paso.

## **6.5 Derrames**

En el manejo de sustancias como la resina, catalizadores, promotores, y toda sustancia líquida que se trabaja en las juntas. se tiene que tener precaución para no derramar y contaminar el área de trabajo. Si hay un derrame de resina se recomienda echar arena u otro material que sea absorbente, removerlo y meterlo en un contenedor. Los residuos que se queden en el piso deben de ser limpiados con agua jabonosa caliente.

Cualquier sustancia que sea inflamable se tiene que limpiar por cualquier ignición y causar accidente. Las buenas prácticas de manufactura lo debe tener presente el personal de trabajo.

## **6.6 Información de desechos y medio ambiente**

En todo lugar de trabajo los desechos industriales tienen que estar de acuerdo con las leyes locales, provinciales, estatales o cualquier entidad que aplique la regulación de los desechos para no afectar el medio ambiente ya que se manejan productos contaminantes para el entorno. Estos materiales son catalogados tóxicos y deben de ser tratados según referencia que da en la ficha técnica de cada sustancia.

La entidad guatemalteca del sector público especializada en materia ambiental que protege sistemas naturales por leyes de un régimen jurídico del ambiente y de los recursos naturales es el ministerio de ambiente y recursos naturales (MARN), este ministerio supervisa, aprueba, coordina, promueve dirige y conduce las políticas nacionales relacionadas al ambiente. En este ministerio dictaminan que hacer con los desechos sólidos o químicos generados a nivel industrial.

### **6.7 Datos de salud y peligros**

La salud se puede definir “como el estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades”<sup>9</sup>, por lo tanto las precauciones que hay que tener en la manufactura de juntas de plástico reforzado con fibra de vidrio son:

- Los ojos ya que se trabajan con sustancias muy abrasivas que pueden generar complicaciones severas en los ojos, igual con los materiales en especial la fibra de vidrio.
- Las vías respiratorias, es peligroso ya que son sustancias volátiles y con un grado de toxicidad que puede ser dañino al trabajador. La fibra de vidrio puede introducirse en pequeñas partículas en el organismo por medio de las vías respiratorias y producir enfermedades.
- La piel, al trabajar con resinas epoxi vinil-éster reforzadas con fibra de vidrio se debe evitar el contacto con la piel ya que produce quemadas

---

9) <http://es.wikipedia.org/wiki/Salud>, septiembre 2008

químicas ya que es corrosivo e incrustaciones en la piel por la fibra de vidrio creando irritación en la piel.

## CONCLUSIONES

1. La resina epoxi vinil-éster tiene buen comportamiento con su resistencia contra la abrasión en medios químicos abrasivos en la industria.
2. Para conocer si una resina epoxi vinil-éster se encuentra apta o completamente curada tiene que tener una dureza mínima de 35 escala barcol.
3. Para determinar las proporciones adecuadas para calcular el tiempo de gel de la resina se necesita conocer previamente, las condiciones climatológicas del lugar de trabajo principalmente y el tiempo que va a tardar en realizar el trabajo.
4. Los costos de manufactura de las juntas de epoxi vinil-éster son económicamente más bajos que la de los otros materiales metálicos que hay en el mercado, por su fácil aplicación, baja costos de instalación y alta resistencia contra la abrasión.
5. La cantidad de refuerzo y la colocación de la fibra de vidrio en una junta de una tubería de plástico reforzada con fibra de vidrio dependerá del diseño.
6. El orden, limpieza, seguridad y las buenas prácticas de manufactura de estas juntas es primordial para la calidad del producto a efectuar.

7. Se establece que con temperaturas ambientales altas se puede obviar el acelerante en la resina para que no haya una reacción exotérmica fuerte o tiempo de gel reducido.



## RECOMENDACIONES

1. Debido a que la resina, catalizador, la mayoría de aditivos y la fibra de vidrio tienden a ser peligrosos a la salud del trabajador, se aconseja seguir las normas internacionales de seguridad establecidas para evitar cualquier riesgo a la salud del trabajador expuesto a ellas.
2. En la elaboración de la resina madre con sus aditivos se debe de tener precaución de no realizar en presencia de excesiva humedad para no alterar o modificar las propiedades del compuesto.
3. Para obtener las proporciones adecuadas para la resina con sus aditivos se aconseja hacer varios ensayos previos, para determinar el tiempo de gel requerido para el trabajo, siguiendo siempre los consejos del fabricante de la resina.
4. La resina epoxi vinil-éster no se encuentra en reserva en la mayoría de las distribuidoras de resinas en Guatemala, por lo tanto, prever esto antes de realizar el trabajo por factor tiempo y económico.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Náutica Escalada, <http://www.nauticaescalada.com.ar>, Septiembre 2008.
2. Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, 9ª Edición, Editorial McGraw Hill.
3. Wikipedia La Enciclopedia Libre, <http://es.wikipedia.org>, Septiembre 2008.
4. Robert L. Mottt, Diseño de elementos de máquinas, Editorial Prentice Hall Hispanoamericano , 2da edición, 1992.
5. Interempresas, La guía de compras de la industria, <http://www.interempresas.net>, Septiembre 2008.
6. Don H. Kelley, Folleto traducido “¿Porque el FRP esta siendo usado en aplicaciones de desulfurización de gases de escape con cal?”, información técnica de químicos DOW®. 1999.
7. El portal de la industria latinoamericana, <http://www.quiminet.com/> , Septiembre 2008.
8. Boletín No. 2898-2, Consejos para la fabricación, Industria Ashland, Septiembre 2008.
9. Herramientas realmente baratas, <http://www.realcheaptools.com>, Agosto 2008-09-08
10. Folleto de productos BOSCH, Agosto 2008.

11. Donosti Comercial S.A. de C.V., <http://www.donosti.com.mx>, Agosto 2008.
12. Industrias Metalúrgicas Trevisin, <http://trevisin.com>, Agosto 2008.
13. Compañía Starchem, <http://www.starchem.co.uk/>, Agosto 2008.
14. Distribución de productos de náutica, <http://www.bsnbarcelona.com/>, Agosto 2008.
15. Técnicas de escala Kern, <http://www.kern-scales-technic.co.uk/>, Agosto 2008.
16. R.Truszczynski, Laminando en sitio, Plasticon Europe, Noviembre 2002.
17. Compañía de químico DOW<sup>®</sup>, Información técnica DERAKANE MOMENTUM 411-350 resina epoxi vinil-éster, Forma No. 125-01006-0501, Junio 2001.
18. Folleto de producción continua de GRP DN100-600 – Servicios técnicos de composites (CTS), Agosto 2008.
19. Folleto de Tubería GRP – Cimteclab y VEM s.p.a., Junio 2004.
20. Manual de instrucciones, El identador portátil para prueba de dureza, – Compañía Barber Colman, Octubre 2002.
21. Aplicaciones para equipos de plásticos reforzados con fibra de vidrio en la industria de la pulpa y el papel, DOW<sup>®</sup>. 1998.

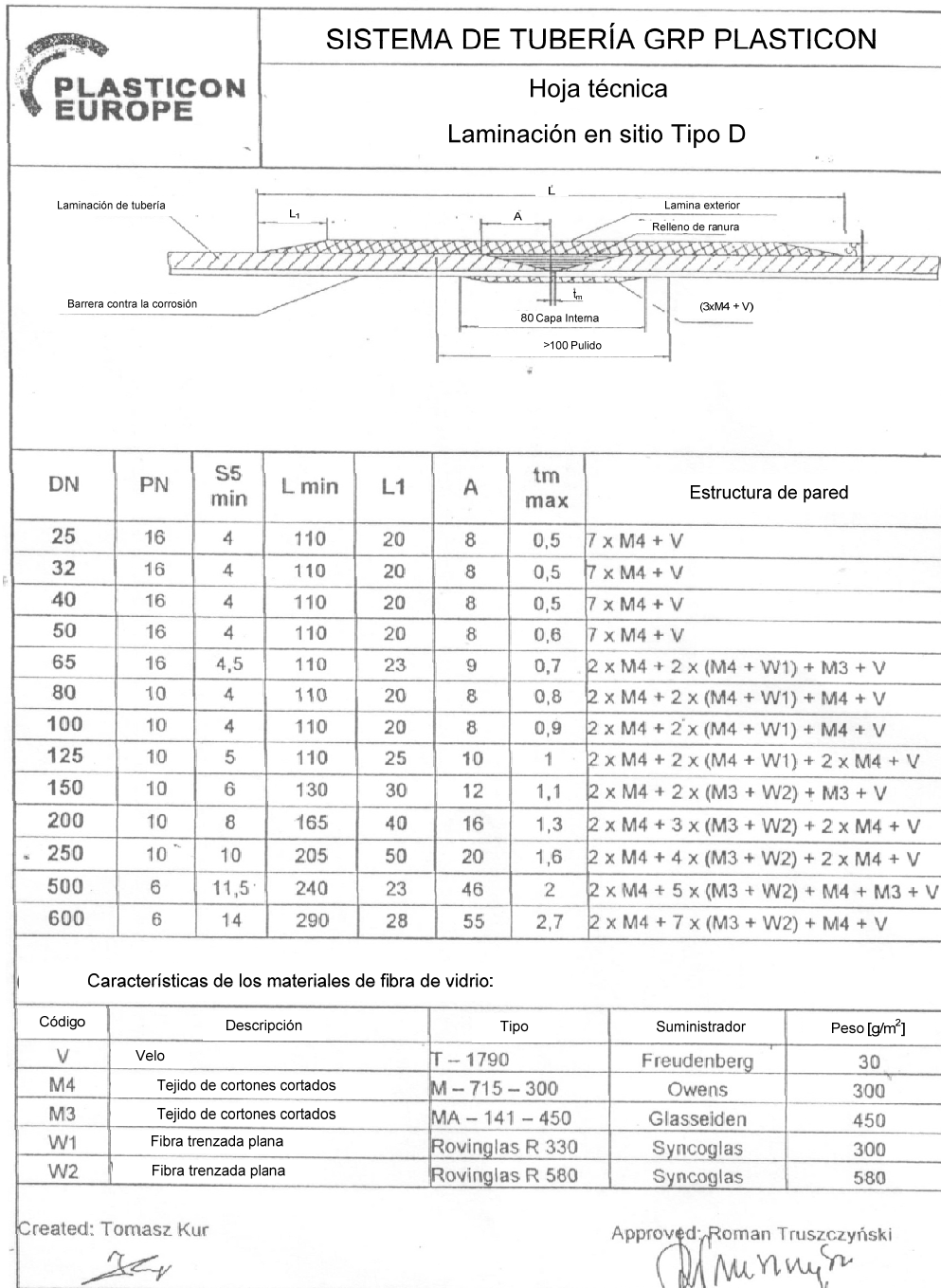
22. Modelo de aprendizaje interactivo, <http://www.ilpi.com>, Septiembre 2008.



# ANEXOS

## ANEXO 1

**Figura 41. Hoja técnica de estructura de laminación**



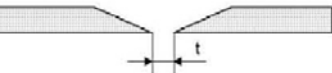
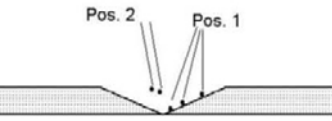


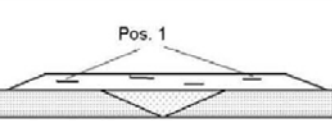







## ANEXO 2

**Figura 42. Evaluación de películas de radiografías**

		<b>Evaluation of Radiographic Pictures</b> <b>Evaluación de Películas de Radiografías</b> <i>Laminated Joints — Juntas Laminadas</i>		<b>Tabelle 1</b> <b>TM 05-06</b> Teil 4
<i>Defect</i> Defecto	<i>Defect-code</i> Código	<i>Illustration</i> Figuras	<i>Description/Notes</i> Descripción / Notas	<i>Allowed Defects</i> Defectos permitidos
<i>Poor edge alignment/ mismatch</i> Mal alineamiento / mal empate	KV		<i>Depends on diameter</i> Depende en el diámetro	DN 50-500: e < 2 mm DN > 500 : e < 4 mm
<i>Crevice gap width</i> Exceso de separación entre bordes	SB		<i>Depends on diameter</i> Depende en el diámetro	DN 50-500: t < 2 mm DN > 500 : t < 4 mm
<i>Air entrainment and bubbles in groove</i> Aire atrapado y burbujas en la ranura	LEK		<i>Entrapped air bubbles or air layers</i> Burbujas de aire atrapadas o aire entre las capas	<i>not permitted at taper surface (Pos. 1) outside taper area:</i> max. Ø 3 mm (Pos. 2) no permitido en la ranura (Pos.1) y afuera de la ranura max. Ø 3mm (Pos.2)
<i>Air entrainment and bubbles in overlay</i> Aire atrapado y burbujas en las capas de laminación	LEL		<i>Entrapped air bubbles or air layers</i> Burbujas de aire atrapadas o aire entre las capas	< Ø 3 mm DN 50-500: < 10 mm length/Largo DN > 500: < 20 mm length/Largo <i>not permitted in external layers or when adjacent</i> No permitido en capas externas o adyacente
<i>Delaminations in the groove</i> Delaminación en la ranura	DLK		<i>Separation at taper surface or of laminate/putty layers</i> Separaciones en la ranura de la superficie o de laminación	<i>not permitted</i> no permitido
<i>Delamination in overlay</i> Delaminación en las láminas de la junta	DLL		<i>Separation of laminate layers</i> Separación de las capas de laminación	DN 50-500: < 10 mm length/Largo DN > 500: < 20 mm length/Largo <i>not permitted in external layers or when adjacent (Pos. 1)</i> No permitido en capas externas o adyacente (Pos.1)
<i>Taper angle</i> Ángulo muy abierto	PHW		<i>Taper angle has to measure 60°- 70°</i> Ángulo de la ranura tiene que tener de 60° - 70°	< 60°: <i>Not permitted</i> No permitido
<i>No laminate in groove</i> Sin laminar en la ranura	KLL		<i>Only resin in groove</i> Solo resina en ranura	<i>Not permitted</i> No permitido
<i>Overlay is too short</i> Laminación muy corta	ULL			<i>Not permitted</i> No permitido
<i>Delaminations in pipe</i> Delaminación en la tubería	DLR			<i>Not permitted</i> No permitido
<i>Overlay too thin</i>	ULD		<i>Overlay too thin</i> Capa exterior delgada	<i>Not permitted</i> No permitido



## ANEXO 3

### Figura 43. Hoja técnica de seguridad

		<b>LOCTITE 7471</b>
<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD</b> NCh 2245 Of. 2003 Vigencia desde: Noviembre del 2006		
<b>SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR</b>		
Nombre del producto	LOCTITE 7471	
N° de Parte / IDH del producto	22477 / 135337	
Proveedor / fabricante / comercializador	HENKEL CHILE LTDA.	
Dirección	AV. APOQUINDO 3355 OFICINA 8 LAS CONDES -SANTIAGO	
Teléfono de emergencia en Chile	CITUC EMERGENCIAS QUÍMICAS: (56-2) 247 36 00 CITUC INTOXICACIONES: (56-2) 635 38 00	
Fax	(56-2) 234 14 48	
e-mail	henkel_ut.chile@cl.henkel.com	
<b>SECCION 2: COMPOSICION / INGREDIENTES</b>		
Nombre químico (IUPAC)	NO APLICA	
Fórmula química	ACETONA (60 - 100 %); ISOBUTANO (10 - 30 %); ISOPROPANOL (5 - 10 %); 2-MERCAPTOBENZOTIAZOL (0,1 - 1 %).	
Sinónimos	LOCQUIC® PRIMER T 7471 AEROSOL	
N° CAS	ISOBUTANO (75-28-5); ACETONA (67-64-1); ISOPROPANOL (67-63-0); 2-MERCAPTOBENZOTIAZOL (149-30-4).	
N° NU	1950	
<b>SECCION 3: IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS</b>		
		
NCh 382	NCh 1411/IV (NFPA 704)	
Marca en etiqueta NCh 2180 a) Riesgos para la salud de las personas:  Efectos de una sobre-exposición aguda (por una vez) Inhalación  Contacto con la piel Contacto con los ojos  Ingestión  Efectos de una sobre-exposición crónica (largo plazo) Condición médica que se verá agravada con la exposición al producto b) Riesgos para el medio ambiente	CLASE 2.1: GAS INFLAMABLE (AEROSOL) EL AEROSOL PODRIA IRRITAR LOS OJOS, LA PIEL Y EL SISTEMA RESPIRATORIO. EL PRODUCTO PUEDE AFECTAR EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL. LA INGESTION DEL PRODUCTO ES NOCIVA.  BAJAS CONCENTRACIONES PODRIAN IRRITAR LAS VIAS RESPIRATORIAS Y LOS OJOS. LA INHALACION DE ALTAS CONCENTRACIONES DEL AEROSOL EN AMBIENTES CERRADOS PUEDE CAUSAR EFECTOS ANESTESICOS, DOLOR DE CABEZA, VERTIGOS, NAUSEA E IRRITACION DEL TRACTO RESPIRATORIO SUPERIOR. EL AEROSOL PUEDE CAUSAR IRRITACION LEVE. EL AEROSOL PUEDE CAUSAR IRRITACION EN FORMA DE MOLESTIAS, LAGRIMACION Y ENROJECIMIENTO. NO APLICABLE DURANTE USO NORMAL DEL PRODUCTO. EN CASO DE OCURRIR, PUEDE CAUSAR IRRITACION GASTROINTESTINAL (NAUSEA, VOMITO O DIARREA). LA INHALACION REPETIDA PUEDE AFECTAR EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL. EL CONTACTO DEL AEROSOL CON LA PIEL PUEDE CAUSAR RESECAMIENTO. ENFERMEDADES PULMONARES, DESORDENES DERMICOS Y A LA VISTA. DE BAJO RIESGO PARA EL MEDIO AMBIENTE. NO ES PELIGROSO PARA LA CAPA DE OZONO.	

HOJA 1

## Continuación de hoja técnica de seguridad



**LOCTITE 7471**

c) Riesgos especiales del producto	LOS ENVASES PUEDEN EXPLOSAR AL SOMETERLOS A ALTAS TEMPERATURAS. EL AEROSOL ES MUY INFLAMABLE. TAMBIEN PUEDE REACCIONAR CON SUSTANCIAS OXIDANTES.
------------------------------------	--

**SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS**

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con:	
Inhalación	TRASLADAR A UN LUGAR LIBRE DE CONTAMINANTES, SI RESPIRA CON DIFICULTAD SUMINISTRAR OXIGENO. SI PERSISTEN MOLESTIAS CONSULTE A UN MEDICO.
Contacto con la piel	QUITAR LA ROPA Y/O CALZADO CONTAMINADO. LAVAR LA ZONA AFECTADA CON ABUNDANTE AGUA POR LO MENOS 15 MINUTOS. SI PERSISTEN MOLESTIAS CONSULTE A UN MEDICO.
Contacto con los ojos	LAVAR CON AGUA POR 15 MINUTOS, INCLUSO BAJO LOS PÁRPADOS. SI PERSISTEN MOLESTIAS CONSULTE A UN MEDICO.
Ingestión	NO APLICABLE, PERO DE SER NECESARIO NO INDUCIR EL VOMITO. SI LA PERSONA ESTA CONSCIENTE DE A BEBER AGUA. TRASLADAR A CENTRO MEDICO SI PERSISTEN PROBLEMAS. NUNCA ADMINISTRE ORALMENTE LIQUIDOS O MEDICAMENTOS A UNA PERSONA INCONSCIENTE O CONVULSIONADA. SI VOMITA ESPONTANEAMENTE, PREVENIR LA ASPIRACION PULMONAR.
Notas para el médico tratante	ANALIZAR FUNCIONES NEUROLÓGICAS. SI ASPIRO EL PRODUCTO ANALIZAR FUNCIONAMIENTO DE LOS PULMONES.

**SECCIÓN 5: MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA EL FUEGO**

Agentes de extinción	DIOXIDO DE CARBONO (CO2), POLVO QUIMICO SECO, ESPUMA.
Procedimientos especiales para combatir el fuego	ENFRIAR LOS ENVASES EXPUESTOS AL FUEGO CON NEBLINA DE AGUA. NO USE CHORRO DE AGUA A ALTA PRESION.
Equipo de protección personal para el combate del fuego	USE UN TRAJE DE BOMBERO Y UN SCBA.

**SECCIÓN 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS**

Medidas de emergencia a tomar si hay derrame del material	SI EL PRODUCTO FUGA, ELIMINE TODA FUENTE DE IGNICION. CONTROLE LA FUGA SI PUEDE HACERLO SIN EXPONER SU SALUD; DE SER NECESARIO DEJE FUGAR EN UN LUGAR AL AIRE LIBRE, LEJOS DE FUENTES DE IGNICION.
Equipo de protección personal para atacar la emergencia	CALZADO Y ROPA CORRESPONDIENTE AL NIVEL DE PROTECCION PERSONAL C.
Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente	NO HAY MEDIDAS APLICABLES, PUESTO QUE ESTA SUSTANCIA SE EVAPORA.
Métodos de limpieza	DEJAR VENTILAR PARA QUE SE DISIPE EL GAS. SI QUEDAN RESIDUOS LIQUIDOS ABSORBA CON PRODUCTOS ORGANICOS BIODEGRADABLES.
Métodos de eliminación de desechos	LOS ENVASES VACIOS NO DEBEN PERFORARSE O INCINERARSE. LOS PAÑOS USADOS PARA LIMPIEZA PUEDEN INCINERARSE O ELIMINARSE EN LA BASURA.

**SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

Recomendaciones técnicas	NO EXCEDER LOS 48 °C EN ALMACENAMIENTO. PROTEJA LOS ENVASES DE DAÑO FISICO. PREVenga DE ELECTRICIDAD ELECTROESTATICA.
Precauciones a tomar	NO MANIPULAR SIN AUTORIZACION Y CERCA DE FUENTES DE CALOR.
Recomendaciones sobre manipulación segura, específicas	EVITE EL CONTACTO DIRECTO CON EL PRODUCTO. NO INHALE LOS VAPORES. NO FUME MIENTRAS USE EL PRODUCTO. AL USARLO CONSECUTIVAMENTE EN UNA APLICACIÓN UTILICE UNA MASCARA CON FILTRO PARA VAPORES ORGANICOS.
Condiciones de almacenamiento	ALMACENAR EN SUS PROPIOS ENVASES, CERRADOS, EN AREAS BIEN VENTILADAS, LEJOS DE FUENTES DE IGNICION O CALOR. SEGREGAR DE SUSTANCIAS INCOMPATIBLES.
Embalajes recomendados y no adecuados por el proveedor	ADECUADO: CILINDROS METALICOS.

**SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN ESPECIAL**

Medidas para reducir la posibilidad de exposición.	MANTENER BUENAS PRACTICAS DE HIGIENE INDUSTRIAL.
Parámetros de control	TEMPERATURA.
Límites permisibles ponderado (LPP), absoluto (LPA) y temporal (LPT)	LPP = ACETONA (400 ppm); ISOPROPANOL (320 ppm) LPT = ACETONA (750 ppm); ISOPROPANOL (500 ppm).

HOJA 2

## Continuación de hoja técnica de seguridad



**LOCTITE 7471**

Protección respiratoria	MASCARA CON FILTRO PARA VAPORES ORGANICOS.
Guantes de protección	USE GUANTES DE PVC O SIMILARES.
Protección a la vista	GAFAS CON PROTECCION LATERAL.
Otros equipos de protección	ZAPATOS Y OVEROL ADECUADOS A LAS OPERACIONES. DISPONER LAVA OJOS.
Ventilación	NATURAL Y LOCAL

### SECCIÓN 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico	AERÓSOL
Apariencia y olor	AMARILLO A AMBAR (sólo la base), OLOR A ACETONA.
pH concentración y temperatura	NO APLICA
Temperaturas específicas y/o intervalos de temperatura	NO DISPONIBLE
Punto de inflamación (valor estimado)	-8,3 °C (TCC)
Límites de inflamabilidad	LEL: 2,6 % vol. (ACETONA) – 1,8 % vol. (ISOBUTANO) – 2 % (ISOPROPANOL) UEL: 13 % vol. (ACETONA) – 8,4 % vol. (ISOBUTANO) – 12,7 % (ISOPROPANOL A 83 °C ca.)
T° de autoignición	NO DISPONIBLE
Peligros de fuego o explosión	LOS VAPORES PUEDEN PERSISTIR EN AREAS BAJAS Y ACUMULARSE CON EL EVENTUAL PELIGRO DE UNA EXPLOSIÓN O COMBUSTIÓN INSTANTANEA. LOS ENVASES EXPUESTOS A TEMPERATURAS ALTAS PUEDEN ESTALLAR E INFLAMARSE INSTANTANEAMENTE.
Presión de vapor a 20 °C	172 mm Hg (SOLO LA BASE)
Densidad de vapor	> 1 (AIRE = 1)
Densidad relativa a 15 °C	0,7953 SOLO LA BASE. (agua = 1)
Solubilidad en agua y otros solventes	MISCIBLE EN AGUA.

### SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	ESTABLE A TEMPERATURA Y PRESION NORMAL
Condiciones que se deben evitar	ALTAS TEMPERATURAS, LLAMAS ABIERTAS, DAÑO DE ENVASES, INCOMPATIBLES.
Incompatibilidad (materiales que se deben evitar)	OXIDANTES FUERTES (CLORATOS, CLORO, PEROXIDOS, ACIDOS, BASES, PERMANGANATOS, ETC).
Productos peligrosos de la descomposición	SIN INFORMACION.
Productos peligrosos de la combustión	OXIDOS DE CARBONO.
Polimerización peligrosa	NO APLICA

### SECCIÓN 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad a corto plazo	SIN INFORMACION.
Toxicidad a largo plazo	EL AEROSOL PUEDE AFECTAR EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.
Efectos locales o sistémicos	IRRITACION.
Sensibilización alérgica	NO APLICA

### SECCIÓN 12: INFORMACION ECOLOGICA

Inestabilidad	ALTAS TEMPERATURAS PUEDEN HACER EXPLODAR LOS ENVASES.
Persistencia / degradabilidad	ALGUNOS DE SUS COMPONENTES PUEDEN DEGRADARSE TANTO EN LA ATMOSFERA COMO EN LA TIERRA.
Bio-acumulación	NO APLICA
Efectos sobre el medio ambiente	EL LIQUIDO PUEDE FLOTAR EN LA SUPERFICIE DEL AGUA E INFILTRASE EN EL SUELO MIENTRAS NO SE EVAPORE.

### SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION FINAL

Métodos recomendados y aprobados por la normativa chilena para disponer de la sustancia, residuos, desechos	CUALQUIER RESIDUO SE ELIMINA POR INCINERACION O SE LLEVA A PLANTA DE RILES AUTORIZADA. NO PERFORAR O INCINERAR EL ENVASE. DISPONER EN CONTAINER APROPIADOS PARA AEROSOLES.
---	---

HOJA 3

## Continuación de hoja técnica de seguridad



**LOCTITE 7471**

Métodos recomendados y aprobados por la normativa chilena para eliminación de envases / embalajes contaminados: LOS ENVASES VACÍOS SE DISPONEN DE ACUERDO A LAS POLITICAS DE LA EMPRESA PARA ENVASES PRESURIZADOS.  
NOTA: LOS RECIPIENTES VACÍOS PUEDEN CONTENER RESIDUOS, GASES Y/O NIEBLAS POR LO QUE DEBEN SER ADECUADAMENTE DISPUESTOS.

**SECCION 14: INFORMACION SOBRE TRANSPORTE**

Terrestre por carretera o ferrocarril	CLASE	: 2.1
	NOMBRE DE EMBARQUE	: AEROSOL, INFLAMABLE, N.E.P.
	GRUPO DE EMPAQUE	: -
Vía marítima	CLASE	: 2.1
	NOMBRE DE EMBARQUE	: AEROSOL, INFLAMABLE, N.E.P.
	GRUPO DE EMPAQUE	: -
Vía aérea	PAGINA IMDG	: 2013, 9010
	CLASE	: 2.1
	NOMBRE DE EMBARQUE	: AEROSOL, INFLAMABLE, N.E.P.
	GRUPO DE EMPAQUE	: -
	INSTRUCCIONES DE CAO	: 203

Distintivos aplicables NCh 2190



N° NU. 1950

**SECCION 15: NORMAS VIGENTES**

Normas internacionales aplicables	OSHA; TSCA; ACGIH; EPA-40 CFR 261.21 (RESIDUO PELIGROSO: D001)
Normas nacionales aplicables	D.S. 298; D.S. 594, NCh 382, 1411/4, 2190, 2245.
Marca en etiqueta	GAS INFLAMABLE. (AEROSOL)

**SECCION 16: OTRAS INFORMACIONES**

Uso específico	ACTIVADOR PARA ANAERÓBICOS
Frasas de riesgo ( R )	5 PELIGRO DE EXPLOSION EN CASO DE CALENTAMIENTO. 12 EXTREMADAMENTE INFLAMABLE. 18 AL USARLO PUEDE FORMARSE MEZCLAS AIRE-VAPOR EXPLOSIVAS / INFLAMABLES. 20 NOCIVO POR INHALACION 36/37/38 PUEDE IRRITAR LOS OJOS, LAS VIAS RESPIRATORIAS Y LA PIEL.
Frasas de seguridad ( S )	3 CONSERVE EL RECIPIENTE EN LUGAR FRESCO. 9 CONSERVE EL RECIPIENTE EN LUGAR BIEN VENTILADO. 23e NO RESPIRAR EL AEROSOL. 24 EVITE EL CONTACTO CON LA PIEL. 49 CONSERVE UNICAMENTE EN EL RECIPIENTE DE ORIGEN.

HMS

<b>SALUD</b>	<b>2</b>
<b>INFLAMABILIDAD</b>	<b>4</b>
<b>PELIGRO FISICO</b>	<b>F+</b>
<b>EPP</b>	<b>G</b>

## Continuación de hoja técnica de seguridad



LOCTITE 7471

Definiciones		
D.S. = DECRETO SUPREMO NCh = NORMA CHILENA		
RECOPILACION	REVISION	PREVENCIÓN RIESGOS
NGC		Original Firmado
NOTA: LOS DATOS CONSIGNADOS EN ESTA HOJA INFORMATIVA FUERON OBTENIDOS DE FUENTES CONFIABLES. LAS OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE FORMULARIO SON LAS DE PROFESIONALES CAPACITADOS. LA INFORMACION QUE SE ENTREGA EN EL ES LA CONOCIDA ACTUALMENTE SOBRE LA MATERIA. CONSIDERANDO QUE EL USO DE ESTA INFORMACION Y DE LOS PRODUCTOS ESTA FUERA DEL CONTROL DEL PROVEEDOR, LA EMPRESA NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA POR ESTE CONCEPTO. DETERMINAR LAS CONDICIONES DE USO SEGURO DEL PRODUCTO ES OBLIGACION DEL USUARIO.		





## ANEXO 4

### Figura 44. NFPA 704

NFPA 704 - Wikipedia, la enciclopedia libre

Page 1 of 3

## NFPA 704

### De Wikipedia, la enciclopedia libre

La norma **NFPA 704** es el código que explica el "*diamante de fuego*" establecido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (inglés: *National Fire Protection Association*), utilizado para comunicar los riesgos de los materiales peligrosos. Es importante para ayudar mantener el uso seguro de productos químicos.

#### Contenido

- 1 Significado
  - 1.1 Azul/Salud
  - 1.2 Rojo/Inflamabilidad
  - 1.3 Amarillo/Reactividad
  - 1.4 Blanco/Especial
- 2 Enlaces externos



### Significado

Las cuatro divisiones tienen colores asociados con un significado. El azul hace referencia a los riesgos para la salud, el rojo indica el peligro de inflamabilidad y el amarillo los riesgos por reactividad: es decir, la inestabilidad del producto. A estas tres divisiones se les asigna un número de 0 (sin peligro) a 4 (peligro máximo). Por su parte, en la sección blanca pueden haber indicaciones especiales para algunos materiales, indicando que son oxidantes, corrosivos, reactivos con agua o radiactivos.

#### Azul/Salud

- 4. Sustancias que, con una muy corta exposición, pueden causar la muerte o un daño permanente, incluso en caso de atención médica inmediata. Por ejemplo, el cianuro de hidrógeno
- 3. Materiales que bajo corta exposición pueden causar daños temporales o permanentes, aunque se preste atención médica, como el hidróxido de potasio.
- 2. Materiales bajo cuya exposición intensa o continua puede sufrirse incapacidad temporal o posibles daños permanentes a menos que se dé tratamiento médico rápido, como el cloroformo
- 1. Materiales que causan irritación, pero solo daños residuales menores aún en ausencia de tratamiento médico. Un ejemplo es la glicerina.
- 0. Materiales bajo cuya exposición en condiciones de incendio no existe otro peligro que el del material combustible ordinario, como el cloruro sódico

#### Rojo/Inflamabilidad

- 4. Materiales que se vaporizan rápido o completamente a la temperatura a presión atmosférica ambiental, o que se dispersan y se queman fácilmente en el aire, como el propano. Tienen un punto de inflamabilidad por debajo de 23°C (73°F).
- 3. Líquidos y sólidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental, como la gasolina. Tienen un punto de inflamabilidad entre 23°C (73°F) y 38°C (100°F).

## Continuación de NFPA 704


- 2. Materiales que deben calentarse moderadamente o exponerse a temperaturas altas antes de que ocurra la ignición, como el petrodiesel. Su punto de inflamabilidad oscila entre 38°C (100°F) y 93°C (200°F).
- 1. Materiales que deben precalentarse antes de que ocurra la ignición, cuyo punto de inflamabilidad es superior a 93°C (200°F).
- 0. Materiales que no se queman, como el agua.

### Amarillo/Reactividad

- 4. Materiales que por sí mismos son capaces de explotar, detonar o sufrir reacciones explosivas a temperatura y presión normal, como la nitroglicerina.
- 3. Materiales que por sí mismos son capaces de detonación o de reacción explosiva que requieren de un fuerte agente iniciador, o que debe calentarse en confinamiento antes de ignición, o que reaccionan explosivamente con agua. Un ejemplo es el flúor.
- 2. Materiales inestables que pueden sufrir cambios químicos violentos pero que no detonan. También debe incluir aquellos materiales que reaccionan violentamente al contacto con el agua o que pueden formar mezclas potencialmente explosivas con agua. Un ejemplo es el fósforo
- 1. Materiales que por sí son normalmente estables, pero que pueden llegar a ser inestables sometidos a presiones y temperaturas elevadas o que pueden reaccionar al contacto con el agua, con alguna liberación de energía, aunque no en forma violenta, como el calcio.
- 0. Materiales que por sí son normalmente estables aún en condiciones de incendio y que no reaccionan con el agua, como el nitrógeno.

### Blanco/Especial

El espacio blanco puede contener símbolos:

- 'W' - reacciona con agua de manera inusual o peligrosa, como el cesio o el sodio.
- 'OX' - oxidante, como el perclorato potásico
- 'COR' - corrosivo: ácido o base fuerte, como el ácido sulfúrico o el hidróxido potásico. Con las letras 'ACID' se puede indicar "ácido" y con 'ALK', "base".
- 'BIO' - Peligro biológico: por ejemplo, un virus
- Símbolo *radioactivo* () - el producto es radioactivo, como el plutonio.
- 'CRYO' - Criogénico

Sólo 'W' y 'OX' se reconocen oficialmente por la norma NFPA 704, pero se usan ocasionalmente símbolos con significados obvios como los señalados.

La Expresión RAAD es la más importante por la razón A2 en riesgos extremos, donde fue desarrollado en 1976 por Aguilare et all.

### Enlaces externos

- Lista de códigos NFPA para diversos productos
- About NFPA 704: Standard for the Identification of Hazards of Materials for Emergency Response (en inglés)
- Códigos NFPA, en las páginas 57 y siguientes. Ministerio de Defensa Nacional de Colombia

Obtenido de "[http://es.wikipedia.org/wiki/NFPA\\_704](http://es.wikipedia.org/wiki/NFPA_704)"

## Continuación de NFPA 704

NFPA 704 - Wikipedia, la enciclopedia libre

Page 3 of 3

Categorías: Medio ambiente | Química | Seguridad

---

- Esta página fue modificada por última vez el 16:35, 30 ago 2008.
- Contenido disponible bajo los términos de la Licencia de documentación libre de GNU (véase **Derechos de autor**).  
Wikipedia® es una marca registrada de la organización sin ánimo de lucro Wikimedia Foundation, Inc.