



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería en Construcción

"SOLDADURA DE UNIONES DE CAÑERÍAS DE
PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO
DE USO INDUSTRIAL"

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Constructor

Profesor Guía:
Sr. Carlos Vergara Muñoz.
Ingeniero Civil Mecánico,
Magíster en Economía y Gestión Regional.

CAROLINA ISOLETTE NAVARRO VARGAS
VALDIVIA - CHILE

2006

Resumen

En la presente tesis se realiza una evaluación técnica sobre la construcción de soldaduras en uniones de cañerías de plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) correspondientes a casos específicos obtenidos de observaciones hechas por la autora en la industria de la Celulosa Nueva Aldea. Esto luego de conocer los materiales utilizados para efectuar soldaduras de FRP, sus características y propiedades, y las especificaciones técnicas para su aplicación, así la evaluación se hará a partir de lo establecido en las especificaciones técnicas.

Abstract

This thesis accomplishes a technical evaluation on the construction of solders in unions of pipings of reinforced plastic with fiberglass corresponding to specific cases obtained of made observations for the authoress in the industry of the Celulosa Nueva Aldea. This next give (subj) to know the utilized materials to make solders of FRP, his characteristics and properties properties, and the technical specifications for his application, thus the evaluation will be made starting from the established in the technical specifications.

Índice

Índice.....	1
Capítulo I. Introducción.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Metodología.....	4
1.4 Estructura de la tesis	5
Capítulo II. Plástico reforzado con fibra de vidrio.....	6
2.1 Definición.....	6
2.2 Resinas	7
2.2.1 Características y propiedades de las resinas	7
2.2.2 Tipos de resina	10
2.2.3 Proceso de curado.....	16
2.3 Fibra de Vidrio.....	17
2.3.1 Características y propiedades de la fibra de vidrio.....	17
2.3.2 Tipos de fibras	20
2.4 Aditivos	24
2.4.1 Tipos de aditivos y sus características.....	24
2.5 Aplicaciones en obras industriales	26
2.5.1 Fluidos que requieren un revestimiento de FRP.....	26
2.5.2 Uso del FRP en otros tipos de construcciones y productos	28
2.6 Cañerías de FRP para uso en la industria de la celulosa	31
Capítulo III. Selección de materiales para la soldadura	37
3.1 Tipo de resina a utilizar	37
3.1.1 Selección de aditivos	38
3.1.2 Factores influyentes.....	41
3.1.3 Tiempos de gel de la resina a distintas temperaturas y dosificaciones	42
3.2 Tipos y cantidades de fibras según espesor y diámetro de la cañería	42
3.2.1 Para cañerías tipo PN1	43
Uniones para cañerías con $DN \leq 100$	43
Uniones para cañerías con DN 150 - 250	43
Uniones para cañerías con DN 300 – 450	44
Uniones para cañerías con DN 500 – 700	44
Uniones para cañerías con DN 800 – 1000.....	45
3.2.2 Para cañerías tipo PN10	45
Uniones para cañerías con $DN \leq 80$	45
Uniones para cañerías con DN 100 – 150	46
Uniones para cañerías con DN 200	46
Uniones para cañerías con DN 250	47
Uniones para cañerías con DN 300	47
Uniones para cañerías con DN 350	48
Uniones para cañerías con DN 400	48
Uniones para cañerías con DN 500	49
Uniones para cañerías con DN 600	50
Capítulo IV. Aspectos constructivos de la soldadura	51
4.1 Especificaciones de construcción.....	51
4.1.1 Especificación de materiales que componen la unión	51
4.1.2 Especificación de uniones tipo PN1	53
4.1.3 Especificación de uniones tipo PN10.....	54
4.1.4 Especificación de arranques para cañerías tipo PN1	55
4.1.5 Especificación de arranques para cañerías tipo PN10.....	58
4.2 Proceso de construcción	60
4.2.1 Preparación de uniones.....	60
4.2.2 Unión de la barrera de corrosión	64
4.2.3 Unión de capas estructurales	70

Capítulo V. Evaluación del proceso de construcción de la soldadura de cañerías de FRP en 5 casos de la Planta de Celulosa Nueva Aldea	76
5.1 Introducción	76
5.2 Descripción del proceso constructivo y evaluación técnica	77
Caso 1:.....	78
Caso 2:.....	83
Caso 3:.....	89
Caso 4:.....	99
Caso 5:.....	108
Capítulo VI. Comentarios y conclusiones.....	117
Bibliografía.....	119

Capítulo I. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Los materiales compuestos se definen como la unión de dos o más materiales físicamente distintos y separables mecánicamente. La mayoría de los materiales que aparecen en la naturaleza con excelentes propiedades las obtienen de la combinación de dos componentes, como por ejemplo la piel, que esta compuesta por fibras resistentes como el colágeno y una matriz de resistencia inferior llamada elastina. Las fibras se alinean de tal forma que proporcionan una estructura más resistente en direcciones donde se ejerzan cargas máximas, así las fibras se desliza una sobre otra para que el tejido sea mas flexible. Respecto a esto podemos mencionar que:

“La mayoría de estos materiales naturales son altamente complejos, y en muchos casos compuestos, de al menos dos componentes; es decir, tienen una base continua, o matriz, que se refuerza con fuertes fibras o filamentos de otra sustancia. En bastantes animales esta base continua o matriz contiene un material llamado elastina [...]. La elastina se refuerza, sin embargo, con el añadido de fibras sinuosas y en zig-zag de colágeno. [...]. Como las fibras de refuerzo tienen una forma muy sinuosa, cuando el material descansa en un estado de baja tensión contribuyen muy poco a su resistencia o extensión, y el comportamiento elástico inicial es prácticamente el de la elastina. Sin embargo, a medida que se alarga este compuesto empiezan a entrar en carga; y así en el estado de extensión el módulo de elasticidad del material es prácticamente el del colágeno, [...]. El papel de las fibras de colágeno no es sólo rigidizar los tejidos con altas deformaciones unitarias; además, parecen contribuir mucho a su ductilidad. Cuando se corta un tejido vivo, accidentalmente o quirúrgicamente, las fibras de colágeno se reabsorben o desaparecen, temporalmente, en la primera etapa, hasta una distancia considerablemente de la herida. Sólo después de que el corte se ha llenado y ligado con la elastina, se vuelven a formar las fibras de colágeno y se recupera la completa resistencia del tejido” (Gordon, 1999).

Según el párrafo anterior podemos hacer una semejanza entre la elastina con la resina en el plástico reforzado y el colágeno con la fibra de vidrio. De esto resulta un compuesto muy resistente, ya que se mezcla principalmente la resistencia mecánica de la fibra con la resistencia química dieléctrica de la resina.

El plástico reforzado con fibra de vidrio tiene variadas aplicaciones debido a sus propiedades, economía y bajo peso (el cual permite su fácil transporte e instalación), es principalmente utilizado en el área de la construcción, pero además en transporte, en industrias (por su resistencia química), electrónica y otras.

Las cañerías de plástico reforzado con fibra de vidrio son utilizadas generalmente en industrias para transportar fluidos corrosivos. Nos referiremos específicamente a la industria Celulosa Nueva Aldea, y en este caso el fluido transportado es la pulpa blanqueada. Es importante que las soldaduras de uniones de estas cañerías se hagan como indican las especificaciones técnicas, para así evitar cualquier filtración.

Analizaremos los distintos materiales que se utilizan en una soldadura de FRP (Fiber Reinforced Plastic), sus propiedades y características.

Conoceremos además el procedimiento de construcción, los requisitos necesarios para poder ejecutar la soldadura, como la temperatura. En cuanto al procedimiento de construcción, este se analizará según lo visto en la celulosa con fotos correspondientes a cada proceso y se realizará una evaluación comparando las especificaciones técnicas con cinco casos que se realizaron en la obra y que fueron presenciados por la autora.

1.2 Objetivo

El objetivo de la presente tesis es realizar una evaluación del procedimiento de construcción de la soldadura de cañerías de plástico reforzado con fibra de vidrio, en la Planta de Celulosa Nueva Aldea, a través del análisis de 5 casos específicos cuya fabricación fue observada en terreno por la autora. Lo anterior, a partir del conocimiento de los materiales utilizados para efectuar soldaduras de FRP (Fiber Reinforced Plastic), de sus características y propiedades, y de las especificaciones técnicas para su aplicación.

1.3 Metodología

La siguiente tesis está basada en la experiencia que se adquirió durante cuatro meses en la Celulosa Nueva Aldea.

La recolección del material utilizado en esta tesis se realizó de la siguiente forma. En primer lugar la empresa Sigdo Koppers que fue partícipe en la construcción de la celulosa, facilitó parte de este material, principalmente especificaciones técnicas, archivos computacionales y fotografías. Al mismo tiempo, la experiencia laboral en la industria de la celulosa también contribuyó a adquirir un importante conocimiento sobre este tipo de cañerías, que conjuntamente permitió tomar fotografías que explican el proceso de la soldadura. Además se utilizó como apoyo páginas de Internet, libros y visitas a proveedores de los materiales usados para la soldadura. Luego se estudió el material para poder tener una visión total y crear la estructura de la tesis.

1.4 Estructura de la tesis

En el capítulo I se hace una introducción que incluye el planteamiento del problema, en el cual se explica el tema de tesis, los principales compuestos del plástico reforzado con fibra de vidrio; los objetivos, la metodología de trabajo y la estructura de tesis.

En el capítulo II se realiza una descripción de los materiales que componen el plástico reforzado con fibra de vidrio, la resina, las fibras, sus características y propiedades, además de los aditivos. También se hace referencia de las aplicaciones en obras industriales, los fluidos que son transportados en este tipo de cañerías y por último las tuberías que fueron usadas en la planta de celulosa, sus diámetros, presiones, espesores.

En el capítulo III nos acercamos a los materiales que se usaron en la planta de celulosa, la resina, los aditivos, los tiempos de curado de la resina a utilizar y los tipos y cantidades de fibra que se utilizan en una soldadura.

En el capítulo IV se consideran los aspectos constructivos de la soldadura, las especificaciones de construcción y el proceso de construcción de la soldadura, la preparación de las partes a unir y la aplicación de las fibras y resina.

En el capítulo V se hace una evaluación del proceso de construcción de la soldadura en cinco de los casos observados en la Planta de Celulosa Nueva Aldea.

En el capítulo VI se señalan los comentarios y conclusiones.

Finalmente se indica la bibliografía.

Capítulo II. Plástico reforzado con fibra de vidrio

2.1 Definición

El plástico reforzado con fibra de vidrio es un material compuesto por dos materiales fundamentales: un refuerzo de fibras de vidrio y una matriz constituida por la resina. Esta última es un aglomerante perfecto para el refuerzo, ya que nos asegura la participación simultánea de todos los filamentos, siendo además una barrera excelente frente a los agentes químicos y ambientales. La fibra de vidrio debe proporcionar la armadura necesaria para lograr la resistencia mecánica precisa para soportar tanto la presión interna como las cargas externas en las conducciones enterradas.

El refuerzo de fibra de vidrio, provee al compuesto:

- Resistencia mecánica.
- Estabilidad dimensional.
- Resistencia al calor.

La resina plástica aporta:

- Resistencia química dieléctrica.
- Comportamiento a la intemperie.

Este material compuesto tiene una alta resistencia a la corrosión por lo que es muy utilizado en obras industriales para fluidos que producen este efecto como lo son los ácidos. Podemos decir también que una de sus ventajas es que es de bajo peso por lo que facilita su transporte e instalación, además de una menor necesidad de mantenimiento.

Podemos identificar cuatro capas básicas que la componen:

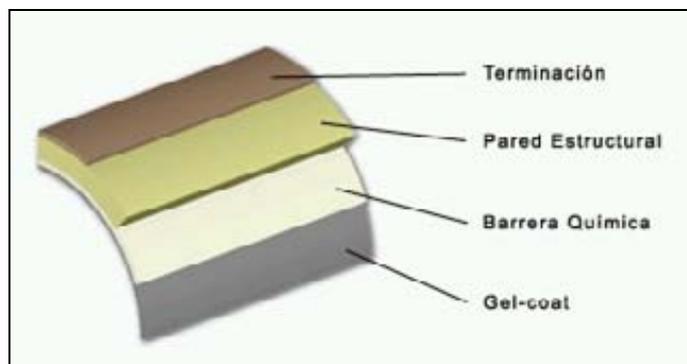


Figura 2.1 Capas de una cañería (Plásticos Huelva, 2006)

- Gel-coat: capa de resina pura responsable de un acabado fino en la superficie en contacto con el molde.
- Barrera química: capa de alto contenido en resina responsable de la integridad de la totalidad del laminado frente a la corrosión.
- Pared estructural: capa de alto contenido en fibras responsable de la resistencia mecánica y rigidez.
- Terminación: capa de alto contenido en resina responsable de la integridad de la totalidad del laminado frente a la intemperie.



Figura 2.2 Cañerías de FRP (fotos tomadas por la autora)

2.2 Resinas

2.2.1 Características y propiedades de las resinas

Las resinas son plásticos que están constituidos por polímeros. El plástico es un compuesto de elevado peso molecular que está formado por moléculas gigantes y en menor porcentaje algunas de bajo peso molecular. Cuando estos compuestos presentan una estructura definida, con repetición de cadenas elementales reciben el nombre de polímeros y aquellos de bajo peso molecular se denominan monómeros. Podemos decir entonces que “los polímeros son moléculas lineales o ramificadas, formadas por la repetición indefinida de grupos funcionales simples (monómeros) que se componen básicamente de C, H, O, N”. (Shackelford, 1998). El número de veces que se repite un monómero en la formación de una molécula grande se denomina grado de polimerización. Cuando el grado de polimerización es bajo, se obtienen líquidos a temperatura ambiente, como aceites

sintéticos y ceras, ahora si el grado de polimerización aumenta se logra un material sólido a temperatura ambiente.



Figura 2.3 Resina lista para ser aplicada (fotos tomadas por la autora)

Existen dos métodos para formar polímeros:

- Polimerización por adición:

En este proceso los monómeros se unen sin que las moléculas pierdan átomos. Por este método se sintetizan por ejemplo: el polietileno, acrílicos y poliestireno.

- Polimerización por condensación:

En la polimerización por condensación los monómeros se unen con la eliminación simultánea de átomos o grupos de éstos. Algunos ejemplos son: los poliésteres, las poliamidas y polietilenos.

Los polímeros se conocen como resinas sintéticas para así diferenciarlas de aquellas naturales como el ámbar.

Los plásticos se extraen de distintas materias de la naturaleza, los polímeros se extraen de derivados del petróleo, carbón o gas natural.

Los plásticos después de ser calentados se clasifican en dos grupos:

- Termoplásticos: estos plásticos se ablandan por calentamiento y vuelven a su estado inicial por enfriamiento lo cual es reversible. Entre los más conocidos tenemos: PVC, polietileno, polipropileno, poliestireno, etc.

- Termoestables: cuando estos plásticos se calientan (están en estado líquido) sus grandes moléculas se vuelven más grandes y después que se solidifican no pueden volver a su estado líquido inicial, si se calienta nuevamente estas se carbonizan. Las resinas pertenecen a los termoestables.

Las moléculas que forman un polímero pueden ser lineales, ramificadas o entre cruzadas. Los termoplásticos pueden tener moléculas lineales o ramificadas, mientras que las entrecruzadas son termoestables. En la figura 2.2 se muestra la estructura de estos polímeros donde R corresponde a la molécula de un monómero.

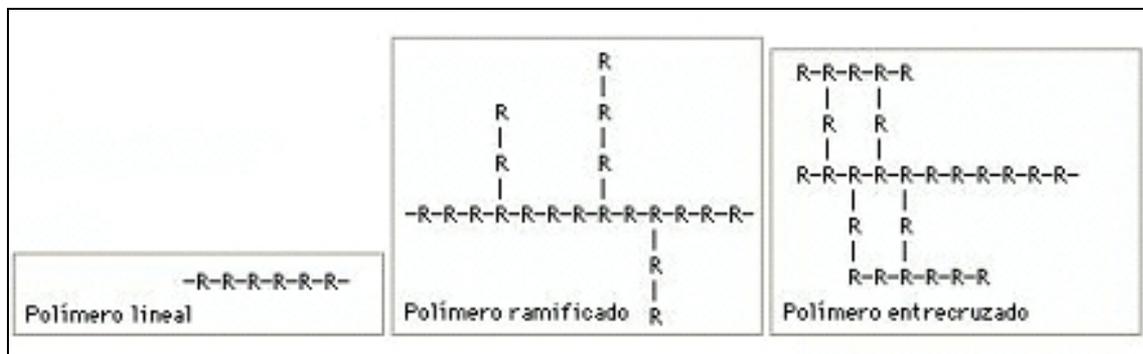


Figura 2.4 Estructura de polímero (Enciclopedia Encarta, 2004)

Algunas características de las resinas pueden ser:

- Tienen un bajo peso, su peso específico se encuentra dentro de 0.9 y 1.8 g/cm^3 .
- Son excelentes aislantes eléctricos para corriente alterna y continua, es por esto que son ampliamente utilizados como dieléctricos.
- Tienen una gran resistencia a la corrosión.
- Poseen una apariencia atractiva.
- Su resistencia mecánica es elevada.
- Es un buen aislante térmico, los plásticos son malos conductores del calor.
- Poseen propiedades adhesivas.

La mayoría de las resinas contribuye poco a la capacidad de carga de los materiales compuestos, pero sí lo hace con la tenacidad, mientras mas dúctil sea la resina la tenacidad aumentará. La función de la resina es la de distribuir las cargas de una fibra a otra, así cuando una fibra se rompe una resina dúctil distribuye mejor las cargas a todas las fibras no solo a la adyacente. Lo que quiere decir que el laminado resistirá mas fibras rotas aumentando la tenacidad del material compuesto. Esto lo podemos ver en la siguiente tabla donde se hace mención de las propiedades típicas de la resina.

Tipo de resina	Resistencia a tracción, MPa	Módulo de elasticidad a tracción, GPa	Deformación, %
Epóxicas	103-172	4.83-6.21	< 2.0
Polyimide	48-83	2.76-5.52	1.73-3.2
Poliéster	21-83	2.76-4.14	1.4-4.0
Termoplásticos	76-103	2.21-4.83	5-10

Tabla 2.1. Propiedades típicas de las resinas (Alarcón, 2002)

2.2.2 Tipos de resina

Existen dos grandes grupos de resinas que son usadas generalmente en la industria de plásticos reforzados, las resinas de poliéster y las resinas epoxi. Pero además de éstas cabe añadir otra a nuestra lista, la resina viniléster, ya que será importante en el transcurso del tema.

- Resinas de poliéster:

Los poliésteres pueden ser saturados e insaturados. En los primeros se encuentra el grupo de las fibras textiles, como ejemplo podemos nombrar una fibra comúnmente llamada Dacrón, y los insaturados que son entrecruzados mezclándolos con un monómero. Las resinas de poliéster insaturado son aquellas a las cuales nos referiremos.

Las resinas de poliéster están compuestas por la mezcla de:

- Un poliéster insaturado producto de la condensación lineal de un diácido (maleico, ftálico, adípico) con un dialcohol (propilenglicol, etilenglicol, neopentilglicol).
- Un monómero insaturado (generalmente estireno).

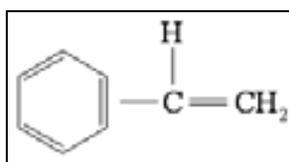


Figura 2.5 Monómero estireno (González, 1992)

Se necesitan entonces cuatro componentes para producir una resina utilizable: un ácido insaturado, un ácido saturado, un alcohol y un monómero reactivo.

Además de estos componentes para que la resina líquida tenga una vida adecuada, debe introducirse un inhibidor luego de que la resina esté fabricada, así se evita la gelificación de la resina durante el almacenamiento.

Las propiedades finales de la resina quedan dadas por los tipos y cantidades de ácidos y glicoles, además del monómero que se utilice. El elemento insaturado más utilizado es el anhídrido maleico y el insaturado el anhídrido ftálico. Todos estos elementos incluido el monómero son derivados del petróleo o del carbón.

Propiedades y características importantes de las resinas de poliéster:

La principal característica de las resinas de poliéster es la propiedad de polimerizar bajo ciertas condiciones. Por acción de un catalizador, el poliéster y el monómero copolimerizan por sus grandes grupos insaturados para dar una resina dura y tridimensional. La reacción de la resina al polimerizar es exotérmica, para grandes espesores la mala conductividad térmica de la resina la puede llevar a elevadas temperaturas, lo que daña la calidad del material.

Las resinas de poliéster aún con los catalizadores no endurecen, o lo hacen lentamente y por debajo de 10°- 15°C.

Las resinas de poliéster insaturado son materiales de baja viscosidad que pueden mezclarse con gran cantidad de materiales de relleno y de refuerzo, pueden contener hasta un 80% en peso de fibra de vidrio. Cuando curan tienen una notable resistencia mecánica, de 172 a 344 MPa, al impacto y química.

Aplicaciones importantes:

Estas resinas se utilizan para hacer paneles de automóviles y piezas de carrocería, para los cascos de barcos pequeños y en la industria de la construcción para paneles y componentes del baño, como bañeras. También su uso abarca tubos, tanques, y conductos donde se requiere buena resistencia a la corrosión.

- Resinas epoxi:

Las resinas epoxi provienen de materiales termoestables que no generan productos de reacción durante el curado (entrecruzamiento) y por ello tienen poca contracción al curar. Se parecen en la forma de trabajar a las de poliéster como en su proceso de curado, pero su comportamiento es diferente, a temperatura ambiente la dosificación de catalizadores es mayor y este no se desprende, sino que entra a formar parte de la reacción química integrándose en la molécula resultante. “Los agentes de curado usados con las epoxidicas no siempre actúan como catalizadores, como sucede con los poliésteres, sino que pueden entrar realmente en la reacción del curado y, por tanto, tener efectos bien marcados en las propiedades finales”. (González, 1992).

Químicamente se caracterizan por tener dos o más grupos epoxi por molécula:

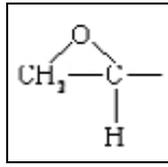


Figura 2.8 Estructura de grupo epoxi (González, 1992)

A continuación se detalla los productos utilizados para la obtención de las resinas epoxi:

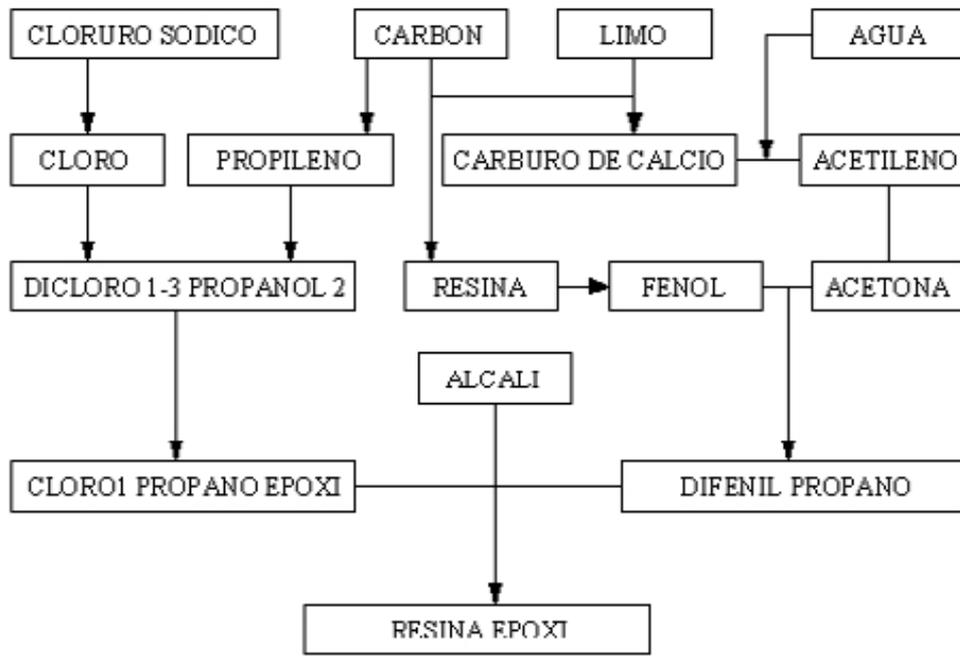


Figura 2.9 Obtención resina epoxi (González, 1992)

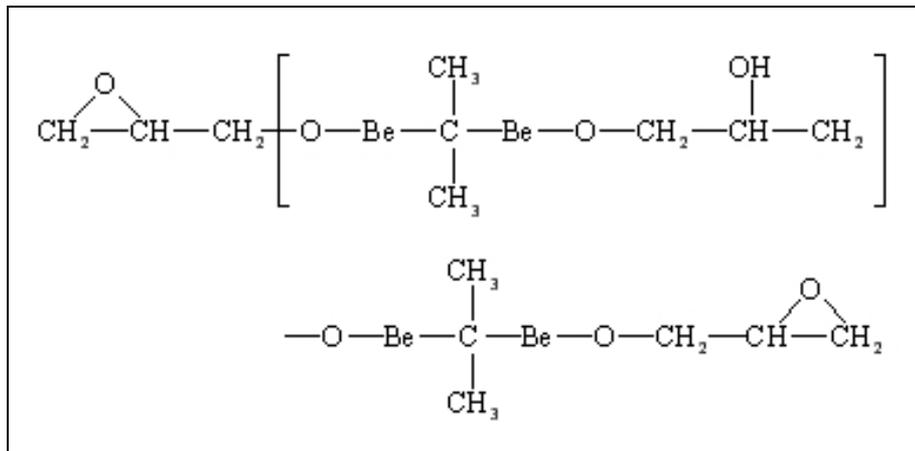


Figura 2.10 Estructura química de resina epoxi (González, 1992)

Propiedades y características importantes de estas resinas:

“El bajo peso molecular de las resinas no curadas en estado líquido les confieren una movilidad molecular excepcionalmente alta durante el proceso. Esta propiedad permite a la resina epoxi líquida empapar rápida y completamente las superficies. Esta acción de mojado es importante para los epoxis utilizados como materiales de refuerzo y adhesivos. Además de la habilidad de mojado es importante para el encapsulado eléctrico. La gran reactividad de los grupos epoxídicos con los agentes de curado como las aminas proporcionan un alto grado de entrecruzamiento y produce gran dureza, resistencia mecánica y química. Puesto que no se generan productos de deshecho durante la reacción del curado, la contracción durante el endurecimiento es pequeña” (Smith, 2000).

Entonces es importante destacar las siguientes propiedades y características.

- No se desprenden gases durante su endurecimiento.
- El material no se contrae una vez terminado el proceso de endurecimiento.
- Tienen buena adhesión sobre los materiales.
- Poseen buenas propiedades mecánicas y como aislante eléctrico.
- No humedecen los paños de fibras tan rápido como las de poliéster y su curado es más lento.
- Tienen un elevado grado de tixotropía.
- Tienen un buen comportamiento ante el agua, al ataque químico, resistencia a la abrasión, y una absorción de agua mejor que las resinas de poliéster, además de una resistencia ambiental.

“Una de las principales ventajas de estas resinas sobre las de poliéster, es su baja contracción (1-2%), que puede reducirse hasta prácticamente cero mediante la adición de cargas” (González, 1992).

Una desventaja que tienen las resinas epoxi es su precio elevado por sobre el de las de poliéster.

Aplicaciones importantes:

La aplicación de estas resinas es muy variada y extensa, como en revestimientos protectores y decorativos por su buena adhesión y resistencia mecánica y química, en especial en revestimientos de latas y bidones, imprimaciones de automóviles, revestimiento de cables. También son utilizadas en la industria eléctrica como aisladores de alto voltaje, conmutadores y encapsulados de transistores, por ser un buen aislante dieléctrico, su baja

contracción en el curado, resistencia ambiental, en especial la humedad y su buena adhesión. Además se utilizan para laminados y como matriz en materiales de plástico reforzado con fibra de vidrio.

- Resina viniléster:

Las resinas viniléster han sido diseñadas y fabricadas para satisfacer los requisitos críticos de los plásticos reforzados. Por su excepcional resistencia a la corrosión, las resinas viniléster son especialmente indicadas para usos industriales bajo las más severas condiciones. Si se produce una rotura química es la resina, generalmente la que es atacada.

Las resinas viniléster tienen insuperables ventajas comparadas con materiales convencionales, una resistencia química y propiedades físicas superiores a las de poliéster, propiedades de manipulación superiores a las resinas de poliéster y epoxi. Entre las ventajas más destacadas se encuentra, la insuperable resistencia a la corrosión, en ambientes ácidos, bases y solventes orgánicos.

La posición de los grupos éster en la estructura química de las resinas poliésteres y viniléster varía el comportamiento de estas frente al ataque químico. En el poliéster estos grupos aparecen en el centro y por eso una vez iniciado el ataque la cadena se divide pudiendo ser objeto de otros ataques químicos. En el viniléster los grupos éster se encuentran situados en los extremos de la cadena y por ello, en el caso de ataque químico, la parte central de la molécula no se ve afectada.

Además de esto la estructura molecular muestra que el poliéster tiene un peso molecular más elevado y por esto una movilidad molecular reducida. Así como los puntos de reactividad disponibles muestra que el viniléster tiene puntos reactivos terminales, mientras que en los poliésteres se encuentran repetidos a lo largo de la cadena. Es por esto que los tiempos de curado son consistentes y las propiedades físicas elevadas. En el poliéster existen numerosos puntos reactivos que dan lugar a un entrecruzamiento aleatorio, lo que conlleva a propiedades físicas inferiores e inconsistentes. Si existen puntos reactivos que no han polimerizado, pueden ser atacados por los agentes químicos. La parte central de las resinas viniléster no contienen puntos de entrecruzamiento, por ello es capaz de utilizar su estructura molecular completamente para la absorción de choques mecánicos y térmicos.

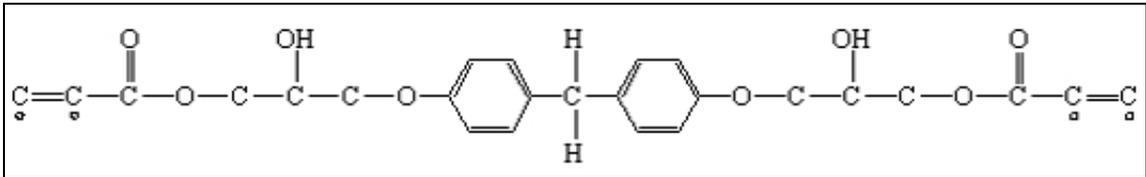


Figura 2.11 Estructura química de resina viniléster (González, 1992)

Algunas de sus características y propiedades son:

- Alta resistencia al impacto
- Alta resistencia a la fatiga
- Alta resistencia mecánica aliada a un bajo peso
- Excelentes propiedades de aislación térmica y eléctrica

Aplicaciones importantes:

Sus aplicaciones principales están en las plantas químicas, tuberías, tanques de almacenamiento y otros donde se requiera una alta resistencia química.

A continuación se muestra una tabla comparativa de los tipos de resinas viniléster más utilizadas, esta contiene tres tipos de fabricantes (Ashland, Reichhold y Basf).

ASHLAND	ASHLAND	REICHHOLD	BASF
Hetron 922	Derakane Momentum 441-350	Dion Ver 9100	Palatal A 430
Hetron FR 992	Derakane Momentum 510-350	Dion Ver 9300	Palatal A 430 FR
Hetron 980	Derakane Momentum 470	Dion Ver 9480 NP	Palatal A 440

Tabla 2.2 Tabla comparativa de Resinas Vinilester (Plastiquímica, 2006)

2.2.3 Proceso de curado

El proceso de curado de las resinas comienza con la adición del catalizador y en algunos casos hasta que se alcanza una temperatura mínima, la que puede disminuirse en presencia de un acelerante.

La polimerización o proceso de curado ocurre por la formación de radicales libres (electrones sin aparear) que comienzan a entrelazarse produciendo una reacción exotérmica, es decir, liberan gran cantidad de calor. A medida que la temperatura aumenta,

también lo hace la producción de radicales libres. El aumento de temperatura puede producir daños al material, como grietas y decoloraciones; por eso debe manejarse muy bien la adición del acelerante, lo que puede depender de factores como la temperatura en la cual se esté trabajando, además de la humedad y otros.

Podemos considerar tres etapas para llevar a cabo el proceso de curado:

- Gelificación: proceso en el cual la resina cambia su estado de líquido fluyente a un gel blando.
- Endurecimiento: etapa en donde la resina cambia de un gel blando a un material endurecido que se puede extraer del molde.
- Maduración o curado final: corresponde a la fase en donde la resina adquiere sus propiedades mecánicas y químicas completas.

2.3 Fibra de Vidrio

2.3.1 Características y propiedades de la fibra de vidrio



Figura 2.12 Algunos tipos de fibras de vidrio (fotos tomadas por la autora)

La fibra de vidrio es de origen mineral, es decir inorgánico. Se fabrica moldeando o soplando el vidrio fundido hasta formar hilos. Con ellos se elaboran diversos tipos de refuerzos para diferentes aplicaciones. La fibra que se utiliza en este caso es la fibra de vidrio tipo E, según la norma ASTM D 578 se define como “una familia de fibras de vidrio compuesta principalmente de óxidos de calcio, aluminio y silicón”, de una elevada resistencia a la tracción y gran elasticidad. Posee además excelente estabilidad química, fuerza, resistencia al fuego, al agua y también resistencia a la corrosión y a la intemperie.

Los tejidos de fibra de vidrio solos o combinados con resinas constituyen un muy buen aislamiento eléctrico, además forman un compuesto que combina la solidez y estabilidad química del vidrio con la resistencia al impacto del plástico.

Algunas de las ventajas de la fibra de vidrio son: su bajo peso, lo que facilita su transporte e instalación, además del bajo costo de las herramientas y una menor necesidad de mantenimiento.

El vidrio en masa tiene una baja resistencia mecánica que intuitivamente lo podemos saber, pero éste en forma de fibra se comporta completamente diferente. En la tabla 2.2 se muestran algunos diámetros de fibras con su resistencia específica a la rotura a tracción (tomada por antiguas investigaciones de un fabricante), lo que nos hace ver que a medida que el diámetro de la fibra disminuye, su resistencia es mayor. La resistencia de un vidrio en masa puede ser en algunos casos de 7 Kg/mm² y en forma de fibra puede llegar a 1000 Kg/mm².

Diámetro micras	Resistencia específica a tracción	
	1 Kg/mm ²	2 Kg/mm ²
50	30	-
20	40	-
13	-	122
10	60	148
9	-	148
7	-	155
6	100	155
5	-	180
3	500	-
1	1000	-

Tabla 2.3 Diámetros de fibras con sus resistencias (González, 1992)

1 Datos tomados de un filamento.

2 Datos tomados de un hilo compuesto de varios filamentos.

En general existen diferentes tipos de vidrio, los más utilizados para fabricar fibras son el vidrio tipo A, el vidrio E y el C, también están los tipo R y S que son utilizados en el área aeroespacial por su alta resistencia.

El vidrio A tiene un alto contenido de álcali y a sido desplazado por el vidrio E que tiene un bajo contenido de éste material y posee buenas propiedades eléctricas, mecánicas y químicas. La fibra de vidrio C es utilizada para obtener una alta resistencia química y también tiene un alto contenido de álcali, aunque menor que el vidrio A. Es importante mencionar que el contenido de álcali determina el envejecimiento de la fibra de vidrio, se ha constatado que las fibras que contienen menos de 14% de óxidos alcalinos presentan una

alteración menos pronunciada cuando se someten a la influencia de agentes atmosféricos o acciones químicas desfavorables.

Propiedades de la fibra de vidrio E

1. Características	
Densidad (en fibras)	2.54 g/cm ³
Dureza (escala mohs)	6.5
Absorción agua a 20°C y 65% HR	< 0.1%
Índice de refracción	1.55
2. Propiedades mecánicas	
Módulo de elasticidad a tracción	73 GPa
Resistencia a la tracción sobre filamentos vírgenes	3.5 GPa
Resistencia a tracción referida al vidrio en un compuesto unidireccional	2.2 GPa
Alargamiento a la rotura (en el compuesto)	3%
3. Propiedades térmicas	
Coefficiente de conductividad térmica	1 w/m°C
Calor específico	0.2 cal/g°C
Coefficiente de dilatación térmica	5.10 ⁻⁶ /°C
Punto de reblandecimiento dilatométrico	710 a 720°C
Punto de recocido	660°C
4. Propiedades eléctricas	
Tensión de arco	10 ⁸ V/m
Constante dieléctrica	6 a 10 ⁶ Hz
Tangente del ángulo de pérdida	30.10 ⁻⁴ a 10 ⁶ Hz
Resistividad	10 ¹² a 10 ¹⁹ Ωcm
5. Resistencia al ataque químico	
Resistencia al agua y a los álcalis	Buena
Resistencia a los ácidos	Débil

Tabla 2.4 Propiedades fibra de vidrio E (González, 1992).

Según esto las propiedades más importantes la fibra de vidrio son:

Resistencia:

La resistencia a la tracción de la fibra de vidrio varía de acuerdo al tipo de fibra y al diámetro de ésta. En la tabla 2.2 se observan valores comprendidos entre 30-1000 Kg/mm². El peso específico de la fibra de vidrio varía entre 2.45 y 2.58 a 25°C.

Alargamiento de rotura:

El alargamiento de la fibra de vidrio es pequeño y llega a su fase elástica para un alargamiento entre 2 y 3%, dependiendo del tipo de hilo. Resulta más exacta la medición si se hiciera sobre filamentos unitarios.

Módulo de elasticidad:

Para medir el módulo de elasticidad sólo se pueden tener en cuenta aquellas mediciones realizadas a filamentos unitarios. De acuerdo a esto el módulo de elasticidad de un filamento fibra de vidrio normal es de 7000 Kg/mm².

Propiedades térmicas:

La fibra de vidrio está formada de materiales inorgánicos que no arden. Gracias a esto no hay pérdida de en sus propiedades físicas hasta aproximadamente los 200°C.

Resistencia a la humedad:

La fibra de vidrio no absorbe agua y no se ven afectadas por hongos ni putrefacción, no sufre cambios por la humedad, pero debe evitarse antes de la laminación con las resinas poliéster ya que perjudica la unión con éstas.

Resistencia a la corrosión:

La fibra de vidrio resiste a los efectos de la mayor parte de los álcalis, ácidos disolventes, agua de mar y atmósfera corrosiva.

Propiedades eléctricas:

Las fibras de vidrio tipo E, poseen propiedades dieléctricas elevadas y junto con su resistencia a la humedad y a la temperatura es un material aislante eléctrico ideal.

2.3.2 Tipos de fibras

- Mat de hilos cortados:



Figura 2.13 Fibra de vidrio tipo Mat. Foto izquierda (Vetrotex, 2001), foto derecha (tomada por la autora)

Está fabricado con hilos de vidrio tipo E unidos por un ligante en varias capas, soluble en estireno, que le confiere una excelente compatibilidad con las resinas poliéster y viniléster. La fibra cortada se utiliza para relleno de partes de difícil acceso.

Propiedades:

- Facilidad de moldeo.
- Facilidad de impregnación.
- Excelente transparencia del laminado.
- Buena resistencia a la tracción.
- Ideal para aplicaciones en el combate a la corrosión.

- Tejido Woven Roving:

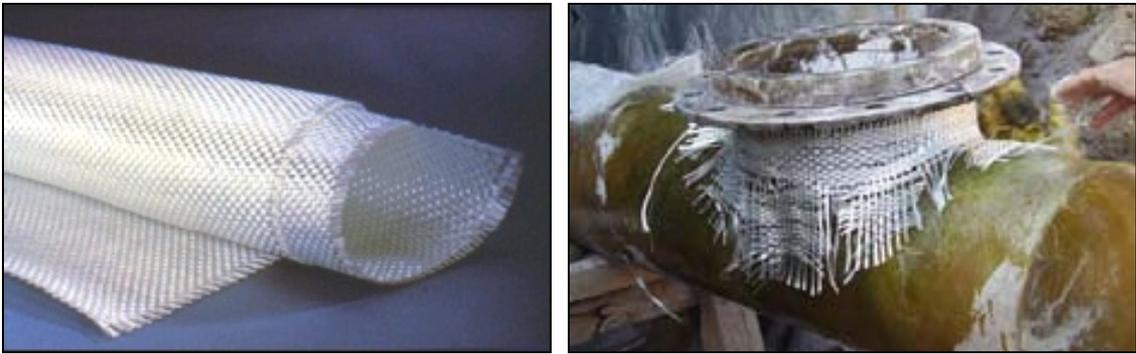


Figura 2.14 Fibra de vidrio tipo Woven Roving. Foto izquierda (Vetrotex, 2001), foto derecha (tomada por la autora)

Es un tejido producido a partir de mechas continuas de fibra de vidrio tipo E, con agentes de acoplamiento compatibles con resinas poliéster, viniléster y epóxi. Se utiliza en el moldeo de piezas en plástico reforzado en general y es recomendado para la laminación manual de partes que exigen alta resistencia a la corrosión, como embarcaciones y tanques para industrias químicas.

Propiedades

- Alta velocidad de impregnación.
- Buena manuseabilidad.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Alta translucidez.

- Filamentos de fibra de vidrio Roving:



Figura 2.15 Fibra de vidrio tipo Roving. Foto izquierda (Vetrotex, 2001), foto derecha (tomada por la autora)

Son rovings fabricados con vidrio tipo E, bobinados sin torsión, en forma cilíndrica. Son destinados a obtener excelentes resultados en aplicaciones de proyección simultánea con resinas poliéster insaturadas de uso general.

Propiedades:

- Facilidad al corte con todos los tipos de pistolas.
- No produce electricidad estática.
- Excelentes propiedades para proyección en paredes verticales.
- Impregnación rápida.
- Fácil eliminación de burbujas.
- Excelentes propiedades mecánica.

- Velo Superficial:



Figura 2.16 Fibra de vidrio tipo Velo superficial. Foto izquierda (Vetrotex, 2001), foto derecha (tomada por la autora)

Esta fibra de vidrio es una fibra suave y ligera, se utiliza como refuerzo para proporcionar una capa rica en resina con mejor resistencia química y frente al ambiente exterior, para asegurar una unión adecuada entre la capa rica en resina y el núcleo del laminado, evitar la formación de grietas en el gel coat, mejorar la resistencia al impacto y a la abrasión debido al grado de elasticidad, y para dar una buena terminación a una superficie.

Se fabrica con vidrio C o con fibras sintéticas.

Propiedades:

- Excelente transparencia.
- Fácil de moldear.
- Impregnación muy rápida.

- Woven Cloth:



Figura 2.17 Fibra de vidrio tipo Woven Roving. Foto izquierda (Vetrotex, 2001), foto derecha (tomada por la autora)

Este tipo de fibra también es conocido con el nombre de Faja, es fabricado con vidrio tipo E continuos y es utilizado para tanques de almacenamiento, botes mobiliario y en productos FRP. Compatibiliza con resinas poliéster y epoxis.

Propiedades:

- Provee una mejor resistencia ala flexión y al impacto.
- Alta resistencia mecánica.
- Rápida impregnación y mojado.

2.4 Aditivos

2.4.1 Tipos de aditivos y sus características

Los aditivos se utilizan para obtener una propiedad requerida o determinada.

- Inhibidores:

Los inhibidores evitan una polimerización anticipada de las resinas prolongando el tiempo de transformación en el endurecimiento. Estos inhibidores ya se encuentran en la resina, pero pueden ser adicionados también antes de su catalización.

- Los inhibidores son aquellos que aseguran una conservación suficiente de la resina cuando está almacenada.
- Retardan la polimerización de la resina catalizada el tiempo suficiente para poder realizar las operaciones de moldeo.
- Limitan la elevación de la temperatura provocada por la reacción exotérmica de la polimerización, prolongando la duración de esta reacción.
- Regularizan la fabricación de la resina para evitar que la reacción de polimerización no complique la reacción de policondensación.

Inhibidores estabilizantes:

Estos inhibidores evitan la polimerización hasta que desaparecen, ya sea por el catalizador o por otro tipo de reacción.

Inhibidores retardadores:

Retardan la polimerización al igual que los inhibidores estabilizantes, pero además estos interfieren de forma permanente.

- Catalizadores:

Son agentes para el curado de resinas a distintas temperaturas en combinación con Acelerantes específicos. Este proceso de curado consiste en la transformación de la resina de estado líquido viscoso a un estado retículo tridimensional sólido.

Los catalizadores se agregan a la resina en el momento de la preparación para su utilización. La función de los catalizadores es la de producir radicales libres que provoquen la iniciación de la polimerización. Estos radicales aparecen en la resina por descomposición

de un peróxido o de un hidroperóxido orgánico, ya sea, por reacción con otro cuerpo llamado promotor o acelerante, o por acción de radiación, o por aportación de energía térmica.

La polimerización de las resinas es más rápida a la luz del sol, ya que las ondas cortas producen radicales libres en la resina y provocan la iniciación de la polimerización.

Los peróxidos orgánicos son altamente inflamables y en algunos casos no contienen aire.

Los catalizadores más usados son los peróxidos de metil-etil cetona (MEKP) y los peróxidos de benzoilo.

En la siguiente tabla se comparan los catalizadores (MEKP) más utilizados en la industria de dos fabricantes de peróxidos (Atofina y Akzo Nobel).

ATOFINA	AKZO NOBEL
Luperox K-1	Butanox M-50
Luperox K-12	Butanox LPT
Luperox ANS-50	Lucidol BT-50

Tabla 2.5. Tabla comparativa de peróxidos (Plastiquímica, 2006)

- **Acelerantes:**

Son compuestos que se agregan a las resinas, para acelerar la descomposición del peróxido catalizador, permitiendo la formación de radicales libres, lo que dará inicio a la reacción química de endurecimiento.

La función de los acelerantes es la de reforzar la acción de los catalizadores y permitir polimerizar a temperaturas menos elevadas, se añade a la resina al momento de su utilización. Se recomienda no mezclar el acelerante con el catalizador, ya que tiene una reacción violenta y puede provocar una explosión.

Existen principalmente dos tipos de acelerantes, los acelerantes de cobalto y los acelerantes de dimetilnilina (DMA), los primeros se utilizan con peróxidos de metil-etil cetona y los segundos con peróxidos de benzoilo.

- **Agente superficial:**

Agente de superficie fabricado a base de parafina disuelta en monoestireno, capaz de eliminar la pegajosidad superficial de productos expuestos al aire. Su utilización en proporción dependerá del tipo de resina a utilizar.

- Desmoldante:

Agentes de uso general utilizados como medio para desmoldar piezas fabricadas a base de resinas. La aplicación de este agente se realiza directamente sobre el molde.

- Agentes tixotrópicos:

Son compuestos de forma coloidal de densidad muy baja que entregan a la resina propiedades tixotrópicas, con el objeto de ser aplicadas sobre superficies verticales o muy inclinadas sin sufrir deslizamiento hasta su geledificación.

- Monoestireno:

Monómero reactivo líquido utilizado como medio diluyente de resinas. Su adición dependerá de la temperatura de trabajo y campo de aplicación requerida de la resina.

2.5 Aplicaciones en obras industriales

2.5.1 Fluidos que requieren un revestimiento de FRP

Los fluidos que requieren un revestimiento de FRP son aquellos corrosivos, en general fluidos químicos, además de gases. Estos fluidos pueden ser ácidos o bases, dependiendo de su pH que a su vez dependen de la concentración de iones hidrógeno que tengan.

En la figura 2.18 se detalla el pH de algunas sustancias conocidas y de algunos que se detallan más adelante.

Sustancias	pH	
Ácido clorhídrico	0,0	Ácido
Jugos gástricos	1,0	
Jugo de limón	2,3	
Vinagre	2,9	
Vino	3,5	
Jugo de tomate	4,1	
Café	5,0	
Lluvia ácida	5,6	
Orina	6,0	
Agua de lluvia	6,5	
Leche	6,6	
Agua destilada	7,0	
Sangre	7,4	
Levadura	8,4	
Disolución de bórax	9,2	
Pasta de dientes	9,9	
Leche de magnesia	10,5	
Agua de cal	11,0	
Amoniaco doméstico	11,9	Básico
Hidróxido de sodio (NaOH)	14,0	

Figura 2.18 pH de diferentes sustancias (Enciclopedia Encarta, 2004)

Según el pH algunas sustancias pueden ser ácidos o bases. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Figura 2.19 Obtención del pH (Enciclopedia Encarta, 2004)

Donde H^+ es la concentración de iones hidrógeno en moles por litro.

Según esto cuanto más pequeña sea la concentración de iones hidrógeno el pH de la sustancia se acercará a las bases. Si es mayor a $3,16^{-7}$ moles por litro entonces será un ácido.

Podemos nombrar algunos ejemplos como: ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido clorhídrico (HCl), soda cáustica (NaOH), ácido crómico (CrO_3), cloro (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaClO), y otros. Algunas de sus características son:

- **Ácido sulfúrico:**

El ácido sulfúrico es intensamente corrosivo y ataca prácticamente todos los metales desprendiéndose gas hidrógeno, las construcciones que lo contengan deben ser cuidadosamente elegidas. Tienen sabor amargo, de gran viscosidad, incoloro, conducen la electricidad, neutralizan los álcalis, tiene una densidad de 1,85 y es soluble en agua.

Es un importante agente desecante. Actúa tan vigorosamente en este aspecto que extrae el agua, y por lo tanto carboniza, la madera, el algodón, el azúcar y el papel. Debido a estas propiedades desecantes, se usa para fabricar éter, nitroglicerina y tintes

- **Ácido clorhídrico:**

Es un líquido altamente corrosivo que ataca a la mayoría de los metales obteniendo como sub-producto el hidrógeno.

Principalmente es utilizado en las industrias metalúrgicas, tratamiento de efluentes, limpieza de acabado en las construcciones de pisos, revestimientos. Debido a que es libre de sedimentos o materias en suspensión, es también utilizado en los sectores alimenticio y farmacéutico, debido a su alto grado de pureza y bajo contenido de hierro.

- **Soda cáustica (hidróxido de sodio):**

Es un sólido blanco, higroscópico (absorbe humedad del aire), que corroe la piel y se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor. Generalmente se utiliza

en forma sólida o en solución. El hidróxido de sodio es uno de los principales compuestos químicos utilizados en la industria. Por ejemplo, es ampliamente utilizado en la fabricación de papel, en la industria del algodón, en la industria textil, en la fabricación de jabón y en la fabricación de muchos otros productos químicos.

- **Ácido crómico:**

Es una sustancia química corrosiva, inodora y oscura, de color morado y apariencia similar a la arena. Se utiliza en el cromado, los medicamentos, el vidriado de cerámicas y en pinturas.

- **Cloro:**

Es un elemento gaseoso amarillo verdoso altamente reactivo, a temperaturas y presiones ordinarias puede licuarse fácilmente bajo una presión de 6,8 atmósferas a 20 °C. Los mayores consumidores de cloro son las compañías que producen dicloruro de etileno y otros disolventes clorinados, resinas de cloruro de polivinilo (PVC), clorofluorocarbonos (CFCs) y óxido de propileno. Las compañías papeleras utilizan cloro para blanquear el papel. Las plantas de tratamiento de agua y de aguas residuales utilizan cloro para reducir los niveles de microorganismos que pueden propagar enfermedades entre los humanos (desinfección).

- **Hipoclorito de sodio:**

Es obtenido a partir de la absorción del gas cloro en una solución de soda cáustica. Su concentración o poder oxidante es expresado como cloro activo. El producto puede ser descompuesto gradualmente por la presencia de la luz y del calor, o espontáneamente, reduciendo su concentración. Por su poder oxidante y propiedades de blanqueamiento, el hipoclorito de sodio es utilizado en varias aplicaciones industriales, como industrias textiles, de papel y celulosa, tratamiento de aguas y muchas otras. En su forma diluida es utilizado en nuestros hogares como limpiador, desinfectante y desodorizante.

2.5.2 Uso del FRP en otros tipos de construcciones y productos

Los materiales de plástico reforzado con fibra de vidrio tienen variadas aplicaciones, pero la principal se encuentra en el ámbito de la construcción. Según el gráfico esta área tiene un porcentaje de aplicación de un 31%, en segundo lugar está el transporte con 26%, luego le siguen aplicaciones eléctricas, electrónica y marina que tomando la media mundial (en Asia este porcentaje gira en torno al 30% debido a la gran industria electrónica que allá existe)

tiene un porcentaje de 13%, los bienes de consumo representan una media mundial de 13% (en América del norte este está alrededor del 20%) y en equipamientos industriales y agrícolas corresponden el 9%, aunque esta aplicación es mayor en Europa (aproximadamente el 15%) debido al gran uso de sus compuestos en tanques, silo, tuberías, etc.

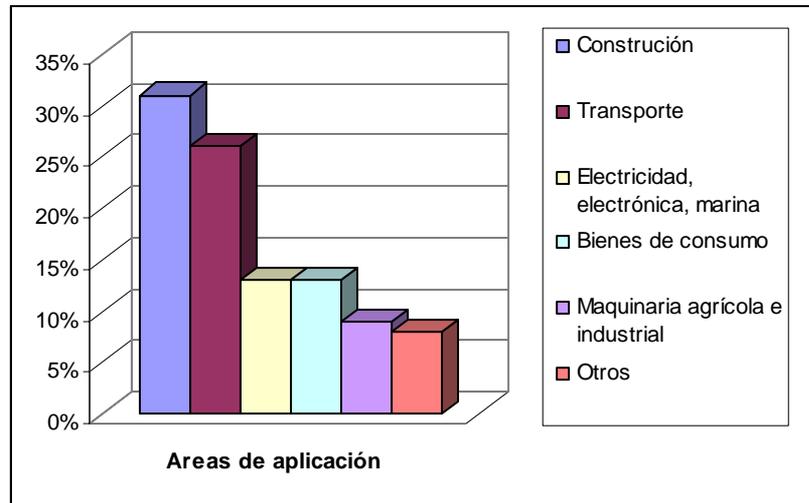


Figura 2.20 Gráfico con porcentajes de usos del FRP (Roca, 2005)

Algunas de estas aplicaciones importantes son:

- Construcción:



Figura 2.21 Casetas de FRP (Star line, 2006)

En el área de la construcción el plástico reforzado con fibra de vidrio es muy utilizado por su gran resistencia a la intemperie, además de una vida útil perdurable. El bajo peso que este posee facilita su transporte e instalación.

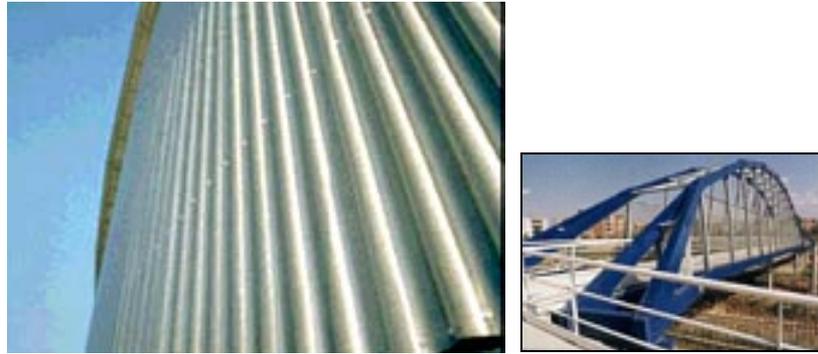


Figura 2.22 Foto izquierda fachada exterior de FRP (Vetrotex, 2001), foto derecha Puente de Lleida en el cual sus elementos estructurales fueron construidos de FRP a excepción de sus pilares fundamentales y cimentación (Roca, 2005)

Dentro de las aplicaciones en el área de la construcción se encuentran: paneles decorativos, coberturas, domos, paneles de fachada, formas para concreto, silos para agricultura, depósitos y recipientes para tratamientos de agua, componentes de casas pre-fabricadas, bañeras, etc.

- Transporte:



Figura 2.23 Camión con carrocería de FRP (Vetrotex, 2001)

Equipamiento y bancos para autos, camiones, carrocerías, ómnibus, tren, camiones-tanques, motocicletas, etc.

- Aplicaciones eléctricas-electrónicas:

Placas aislantes, placas moldeadas, perfiles poltruidos, tubos fabricados por enrollamiento, alojamientos de lámparas, postes para iluminación, etc.

- Aplicaciones náuticas:



Figura 2.24 Embarcación de FRP (Vetrotex, 2001)

Construcción, mantenimiento y reparaciones de casco, equipos y accesorios de embarcaciones de recreo o militar, boyas, etc.

- Aplicaciones industriales:

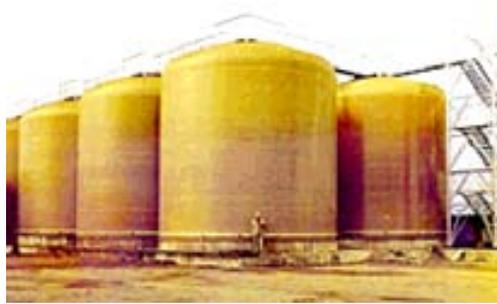


Figura 2.25 Estanques de FRP (Vetrotex, 2001)

Filtros, contenedores de batería, revestimiento de paredes de naves, discos abrasivos, lijas abrasivas, tanques, tubos, conexiones, ductos, bombas, partes de ventilador, contenedores, componentes de torres de enfriamientos, partes para recipientes de tratamiento de agua y residuos industriales, tanques sépticos, revestimientos de tanques.

- Aplicaciones bélicas y aeronáuticas:

Misiles, componentes para armas, naves particulares, comerciales y militares, de pequeño o grandes dimensiones, blindajes, lanzadores de cohetes, etc.

2.6 Cañerías de FRP para uso en la industria de la celulosa

La celulosa es elaborada mediante el proceso denominado "kraft", a través del cual los chips de maderas son cocidos en una solución alcalina basada en sulfitos y soda cáustica para extraerles la lignina; estos componentes químicos son posteriormente recuperados para su uso, en un proceso cíclico cerrado.



Figura 2.26 Celulosa Kraft (Papelneta, 2004)

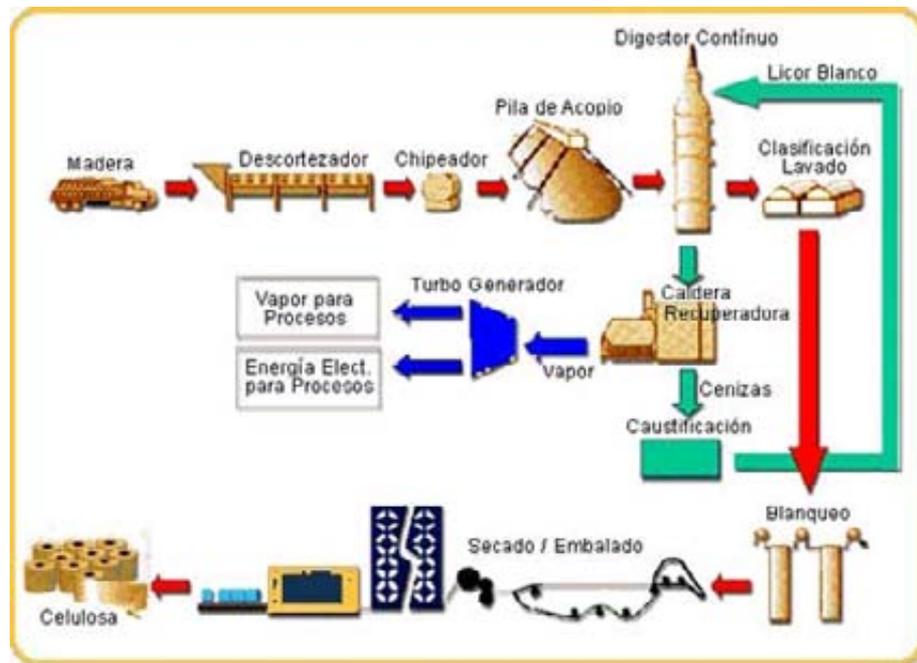


Figura 2.26 Proceso de producción de celulosa Kraft (Papelnet, 2004)

Los rollizos de maderas son descortezados, chipeados y enviados a una pila de acopio de astillas para su homogeneización.

Desde la pila de acopio, los chips o astillas, son extraídos, clasificados y conducidos al proceso de cocción en el digestor continuo con licor blanco, una solución alcalina de soda cáustica y sulfito de sodio. Resultante del proceso de cocción es la pasta de celulosa, que se clasifica, se lava y se blanquea. Una vez blanqueada, se procede a su secado y embalado final.

El licor blanco usado en la cocción, junto con la lignina disuelta, se convierte en un licor negro, el cual se concentra para luego ser quemado en calderas recuperadoras. La parte orgánica del licor negro (lignina y otros compuestos de la madera) produce la energía en el proceso de combustión, generando el vapor que se utiliza en la producción de energía eléctrica y, posteriormente, en diferentes procesos dentro de la planta industrial. La parte inorgánica, las sales minerales (cenizas), se recuperan después del proceso de combustión y son usadas en la etapa de caustificación para regenerar el licor blanco usado en cocción.

Las cortezas de los rollizos de madera, recuperadas en los descortezadores, son quemadas en calderas de poder para producir vapor y energía eléctrica, usados para los diversos procesos productivos de la planta.

El residuo líquido procedente de la planta de blanqueo es conducido a la planta de tratamiento primario para su neutralización y filtrado antes de devolverlo a los ríos. La pasta resultante, prácticamente libre de lignina, puede ser secada para obtener la celulosa blanca kraft.

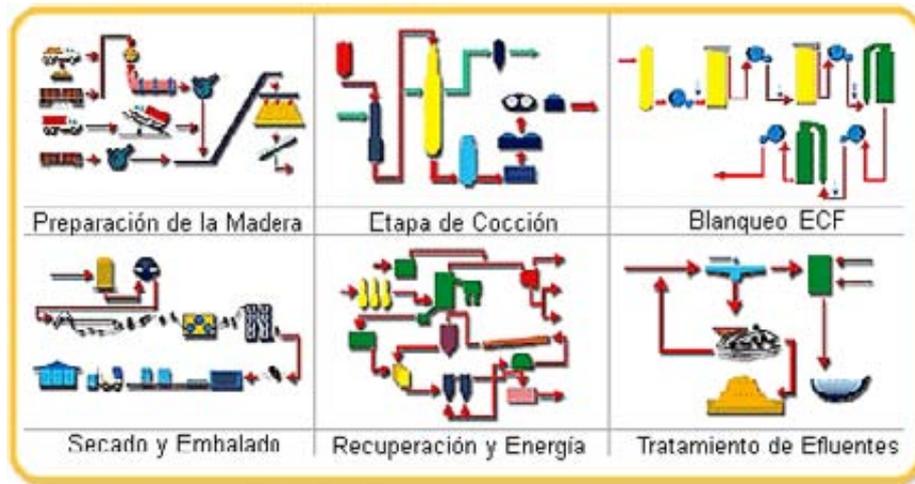


Figura 2.27 Etapas del proceso de producción de celulosa Kraft (Papelnet, 2004)

En el proceso de fabricación de la celulosa se utilizan cañerías de diferentes materiales tales como: acero inoxidable, acero galvanizado, titanio, HDPE, hormigón comprimido, PVC y plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP). Este último material es preferentemente usado para el transporte de fluidos corrosivos en el proceso de blanqueo.

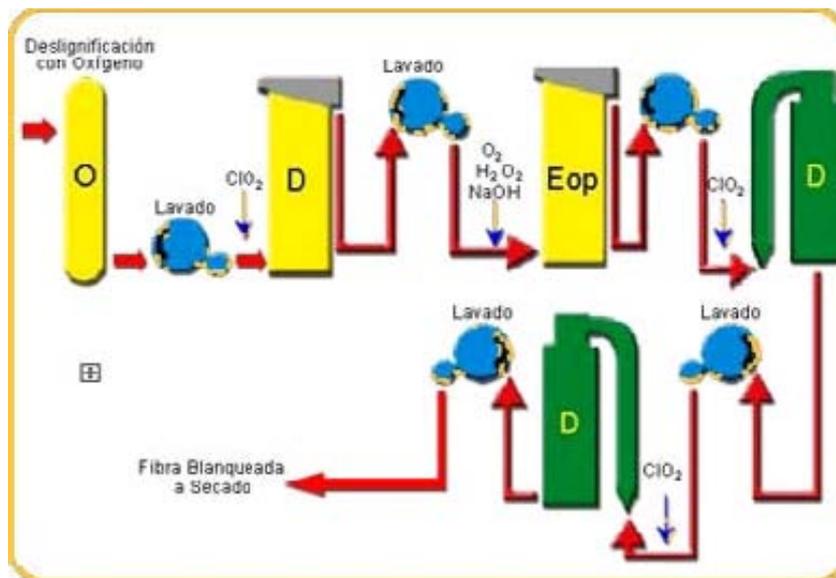


Figura 2.28 Proceso de blanqueo (Papelnet, 2004)

De acuerdo a la figura 2.26, la pasta clasificada y lavada avanza hacia varias etapas de blanqueo, en las cuales se utilizan diferentes productos químicos, tales como dióxido de cloro, oxígeno, peróxido y soda cáustica, lo que genera que este fluido tenga un pH de rango entre 2-5. Estas etapas de blanqueo buscan eliminar el remanente de lignina contenida en la pasta, proceso ya iniciado en la etapa de cocción, evitando una disminución de la resistencia de las fibras.

El proceso de blanqueo significa, una reducción de rendimiento, por cuanto se elimina una parte importante de la lignina que aún permanece en la pasta café y, además, una parte de las fibras de celulosa se degradan debido a los agentes químicos que intervienen en el

proceso. Normalmente, en todo el proceso de blanqueo se pierde entre un 5 y 9% de la pasta café, para alcanzar blancura de 87-90%, norma ISO (International Standardization Organization).

Las cañerías de plástico reforzado con fibra de vidrio transportan la pulpa en proceso de blanqueo desde estanques (también del mismo material) hacia otras cañerías de FRP tanto subterráneas como aéreas.

Estas cañerías están conformadas por tramos pequeños, cuyas longitudes e identificaciones están especificadas en los planos. Los tramos se denominan “spooles” y se identifican con una serie única que indica la línea a la cual pertenece, por ejemplo en la figura 2.29 se muestra una cañería cuyo nombre es 547-V55-1109 spool D, donde 547 indica la etapa de producción a la que pertenece el spool, o sea la etapa de blanqueo, V55 es un recorrido específico de esa área, 1109 indica un trazo más pequeño de ese recorrido y el spool D es una parte de ese trazo.

La identificación de los spooles facilita la ubicación y posterior instalación de estos, debido a la gran red de cañerías existentes, en especial las aéreas. La unión de estos spooles se realiza mediante una soldadura que se elabora en un taller especialmente habilitado y luego en terreno.

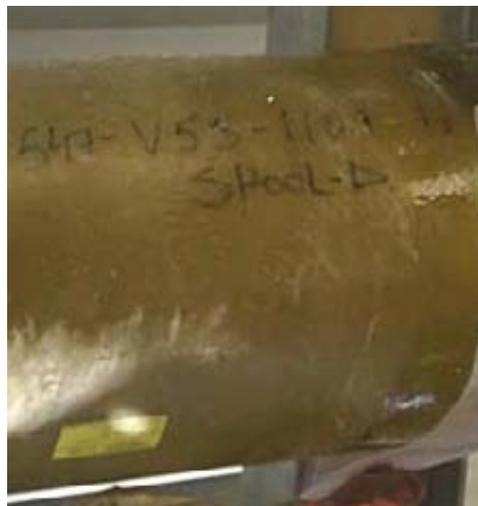


Figura 2.29 Identificación cañerías (Fotos tomadas por la autora)

Se utilizan cañerías de diferentes diámetros y espesores, los que dependen de la presión, del caudal y de las velocidades requeridas para el transporte, ya que si el diámetro es pequeño el fluido tendrá gran velocidad, pero si el diámetro es mayor la velocidad será baja.



Figura 2.30 Cañerías de FRP (Fotos tomadas por la autora)

Las presiones están dadas por las siglas PN1 y PN10 que indican la presión nominal para la cual están diseñadas las cañerías. En la industria de la Celulosa Nueva Aldea se utilizaron varias presiones nominales, pero las más usadas fueron las anteriormente nombradas y a las cuales se hará referencia.

PN1: Presión Nominal de 1 bar

PN10: Presión Nominal de 10 bar

1 bar = 1,01972 Kg/cm²

Las medidas de los diámetros y espesores para cañerías PN1 y PN10 utilizadas en la Planta Celulosa Nueva Aldea se muestran en las tablas 2.6 y 2.7. En cañerías PN1 los diámetros nominales se encuentran entre 25mm y 1000mm con un espesor máximo de 10mm y en cañerías PN10 los diámetros nominales se encuentran entre 15mm y 600mm con más diámetros intermedios y un espesor real máximo de 13.7mm.

GEOMETRÍA CAÑERÍAS PARA PN1 (mm)			
DN	e	D interior	D exterior
25	5	25	35
50	5	51	61
200	6	203	215
300	6	302	314
350	7	356	370
400	9	409	427
500	10	511	531
600	6	606	618
700	6	701	713
1000	9	1002	1020

Tabla 2.6 Diámetros de cañerías para PN1 (Sigdo Koppers, 2006)

DN: Diámetro nominal.

e: Espesor.

GEOMETRÍA CAÑERÍAS PARA PN10 (mm)				
DN	e iso	e real	D int. Iso	D ext.iso
15	6	8,9	21	33
25	6	8,6	29	41
32	6	6,5	38	50
50	6	10,1	58	70
80	7	8,6	83	97
100	7	8,7	102	116
125	7	9,5	126	140
150	7	10,7	156	170
200	7	12,4	209	223
250	7	10,8	257	271
300	7	11,0	303	317
350	7,5	12,2	352	367
400	8,5	12,0	402	419
500	10,5	12,9	508	529
600	12,4	13,7	593	618

Tabla 2.7 Diámetros de cañerías para PN10 (Sigdo Koppers, 2006)

DN: Diámetro nominal.

e Iso.: Espesor según norma Iso.

Capítulo III. Selección de materiales para la soldadura

3.1 Tipo de resina a utilizar

La resina que se utilizó en la fabricación de las soldaduras de FRP en la Celulosa Nueva Aldea fue una resina epoxi-vinilester, Palatal A 440. Estas resinas resultan de modificaciones iniciales de epoxi, a las que se agregan dobles enlaces (vinílicos) y agregados éster.

Palatal A 440 es apropiada para la fabricación de piezas de plástico reforzado con fibras de vidrio con buenas propiedades mecánicas y que requieran una excelente resistencia química y térmica. Además los laminados que sean fabricados con esta resina presentan una excelente resistencia al calor en el largo plazo y a cargas mecánicas dinámicas.

La resina Palatal A 440 por su baja viscosidad tiene un gran comportamiento en la impregnación tanto de fibras de vidrio como de cargas minerales.

Propiedades de la resina Palatal A 440 endurecida (sin cargas)

Propiedad	Valor	Unidad
Resistencia a la tracción	95	MPa
Módulo de elasticidad en tracción	3650	MPa
Elongación a la ruptura	3,4	%
Resistencia a la flexión	150	MPa
Módulo de elasticidad en flexión	3700	MPa
Resistencia al impacto ⁽¹⁾	18	KJ/m ²
	135 ⁽²⁾	°C
Temperatura por distorsión por calor	147 ⁽³⁾	°C

Tabla 3.1 Propiedades medidas en ambiente estándar de laboratorio según DIN 50 014 (23/50-2) (BASF, 2001)

⁽¹⁾: Péndulo 15 J, distancia entre soportes 70 mm, espécimen 15mm x 10 mm x 120 mm.

⁽²⁾: Especimen 4 mm x 10 mm x 120 mm, poscurado 24 h a 120° C

⁽³⁾: Especimen ¼" x ½" x 5", poscurado 24 h a 120° C.

Propiedades específicas de piezas y partes fabricadas con Palatal A 440:

- Excelente resistencia a medios ácidos y alcalinos.
- Excelente resistencia a los solventes.
- Buena experiencia en el sector de la electrólisis cloro-alcalina.
- Apropiado para la fabricación de estanques de FRP para el almacenamiento de combustibles líquidos derivados del petróleo.

Palatal A 440 debe almacenarse en recipientes cerrados, en ambientes frescos y protegidos de la luz. Bajo condiciones adecuadas y a temperaturas de hasta 25° C puede conservarse durante 6 meses desde la fecha de elaboración. Temperaturas superiores reducen el tiempo de almacenamiento.

3.1.1 Selección de aditivos

Los aditivos utilizados fueron los siguientes:

- Octoato de cobalto:

El octoato de cobalto es un acelerante que promueve el secado rápido de películas de aceites poliinsaturados y barnices o resinas a base de los mismos.

Si se desea obtener tiempos breves de secado al tacto el octoato de cobalto es muy adecuado para ello.

Para evitar el arrugado que podría producir el uso exclusivo de secante de cobalto, debe combinarse su uso con secantes de otros metales, que favorecen el secado en profundidad.

Su color azul-violáceo produce un efecto de blanqueo óptimo sobre los materiales a los que es agregado.

- Agente superficial:



Figura 3.1 Agente superficial (Fotos tomadas por la autora)

El agente superficial es una cera parafínica disuelta en monómero estireno. Se adiciona a las resinas para evitar que la superficie expuesta al aire quede con tactosidad residual. El mecanismo de acción del Agente Superficial, es la formación de una película de parafina sobre la superficie expuesta al aire, la que impide que el oxígeno presente en el aire provoque la inhibición de la reacción de curado.

El agente superficial se adiciona a resinas y gelcoats que curan expuestas al aire y su dosificación depende de la naturaleza de estos. Se recomienda que la temperatura de la

resina o gelcoat esté entre 18 y 35 ° y la temperatura del agente superficial debe estar sobre los 25 ° C para asegurar una buena incorporación de la cera.

Existe una alternativa en la aplicación de la cera, que consiste en rociar con pistola la superficie una vez que la resina o gelcoat haya gelado.

- Butanox M-50:



Figura 3.2 Butanox M-50 (Fotos tomadas por la autora)

Butanox M-50 es un peróxido de metil-etil acetona (MEKP) de propósito general para el curado de resinas de poliéster insaturadas en presencia de un acelerante de cobalto en un lugar cerrado y temperaturas elevadas.

El sistema de curado Butanox M-50 y acelerante de cobalto es particularmente adecuado para el curado de resinas gel coat, resinas laminadas, lacas y fundiciones.

La experiencia práctica a lo largo de muchos años ha probado esto por el bajo contenido de agua y la ausencia de compuestos polares en Butanox M-50, por lo que este peróxido es muy adecuado en productos de plástico reforzado con fibra de vidrio, por ejemplo en aplicaciones marinas.

Es insoluble en agua y soluble en ftalatos. Se descompone violentamente bajo la influencia de calor o por el contacto con agentes reductores. Nunca se mezcle con aceleradores.

Tiene la apariencia de un líquido incoloro, también está disponible en colores azul, amarillo y rojo.

Dependiendo de las condiciones de trabajo, las dosificaciones recomendadas de peróxido y acelerante son las siguientes:

Butanox M-50	1 – 4 %
Acelerante	0.5 – 3 %

- Secán 706:

Es un producto líquido, de baja viscosidad, de color violeta oscuro, que imparte poco olor a las pinturas, soluble en aceite y solventes orgánicos. Es un fuerte catalizador de oxidación, es el secante más activo. Su acción está dirigida únicamente hacia la superficie de la película del recubrimiento, seca rápidamente la parte de la película que está en contacto con la atmósfera. Por su alto poder oxidante Secán 706 se utiliza en proporciones muy pequeñas. De acuerdo al propósito que se quiere lograr, la cantidad a utilizar está entre 0.02 y 0.05% de Cobalto como metal, porcentaje basado en el contenido de sólidos del vehículo para pinturas de secamiento al aire se utiliza como secante en barnices transparentes y pinturas de color y blancas a base de resina alquídica y en imprimantes.

- Tinuvin 320:



Figura 3.3 Tinuvin 320 (Fotos tomadas por la autora)

Tinuvin 320 es un polvo cristalino ligeramente amarillo que absorbe los rayos ultravioletas, lo cual protege polímeros así como también pigmentos orgánicos de la radiación UV, ayudando a preservar la apariencia original y la integridad física de los artículos moldeados, películas y fibras durante el desgaste externo.

Las características de Tinuvin 320 son: fuerte absorción UV, excelente compatibilidad en una amplia variedad de sustratos y baja volatilidad.

Es altamente efectivo para una variedad de plásticos y otros sustratos orgánicos incluyendo poliésteres insaturados y PVC. También se esperan buenos resultados cuando Tinuvin 320 es usado en policarbonatos, poliuretanos, poliamidas, fibras artificiales y en lacas, particularmente aquellos con una resina de base poliéster, alquídica o epoxica.

Los niveles de uso de Tinuvin 320 están entre 0.10 y 1.0 %, dependiendo de los requisitos del sustrato y de la aplicación final. El producto puede ser usado solo o en combinación con

otros aditivos como estabilizadores ligeros, antioxidantes y otros estabilizadores funcionales

3.1.2 Factores influyentes

Los aditivos utilizados dependen del tipo de resina y sus componentes, de las condiciones ambientales y de los resultados que se quieren obtener.

- La resina Palatal A 440 es un tipo de resina que no está preacelerada, por lo que se debe adicionar acelerante de cobalto o amina para el endurecimiento a temperatura ambiente.
- Palatal A 440 se puede mezclar con estireno. Sin embargo la adición de estireno puede dar como resultado un deterioro de las propiedades físicas.
- Para prevenir el escurrimiento en superficies inclinadas, es recomendable el uso de agentes tixotrópicos, estos agentes se adicionan sobre la resina en proporciones no inferiores al 1%.
- Para el curado se pueden utilizar peróxidos de metil-etil cetona con bajo contenido de peróxido de hidrógeno.
- La temperatura a la cual se está fabricando la unión de las tuberías es un factor que influye en el tiempo que se demorará en curar la resina, es por eso que se debe regular con el acelerante. Si la temperatura es muy elevada se debe disminuir la cantidad de acelerante, ya que al curar la resina libera gran cantidad de calor con lo cual se podría quemar la soldadura, cuando esto ocurre la soldadura queda con manchas de un color más claro, (Figura 3.1).



Figura 3.4 Soldaduras fabricadas a exceso de temperatura (Fotos tomadas por la autora)

3.1.3 Tiempos de gel de la resina a distintas temperaturas y dosificaciones

Las cantidades indicadas de peróxido y acelerante deben agregarse sobre 100 gramos de resina. Los tiempos de gel o tiempos de curado se determinaron en una mezcla de 100 g de mezcla de resina y agentes de curado. El comportamiento específico del curado depende en cada caso del tiempo de almacenamiento previo de la resina y del peróxido, así como de las condiciones ambientales.

Temperatura °C	Acelerante (1) (g/Kg)	Peróxido (2) (g/Kg)	Tiempo Gel (3) (± 2 min.)
15	2,0	20	25
	1,5	15	34
	1,0	15	39
20	2,0	15	15
	1,2	15	19
	0,8	15	23
25	1,0	15	14
	0,8	10	25
	0,5	10	39
30	1,0	10	13
	0,6	10	29
	0,3	10	43

Tabla 3.2 Tiempos de gel (BASF, 2005)

(1) Acelerante: Octoato de cobalto al 6% de Co.

(2) Peróxido: Butanos LPT, Akzo Nobel.

(3) Mediciones realizadas en base a 100g de resina.

3.2 Tipos y cantidades de fibras según espesor y diámetro de la cañería

A continuación se detalla la cantidad de capas y tipos de fibras que se utilizan para fabricar una soldadura, de acuerdo a su diámetro y a la presión para la que están diseñadas. (Las unidades utilizadas están en milímetros).

Se utilizara la siguiente simbología para definir cada capa de fibra.

m: Mat 450 g/m²

m*: Mat 300 g/m²

wr: Woven roving 630 g/m²

fw: Woven cloth 155 g/m²

ym: Velo superficial 30 g/m²

T: Topcoat, resina y solución de parafina

3.2.1 Para cañerías tipo PN1

Uniones para cañerías con $DN \leq 100$

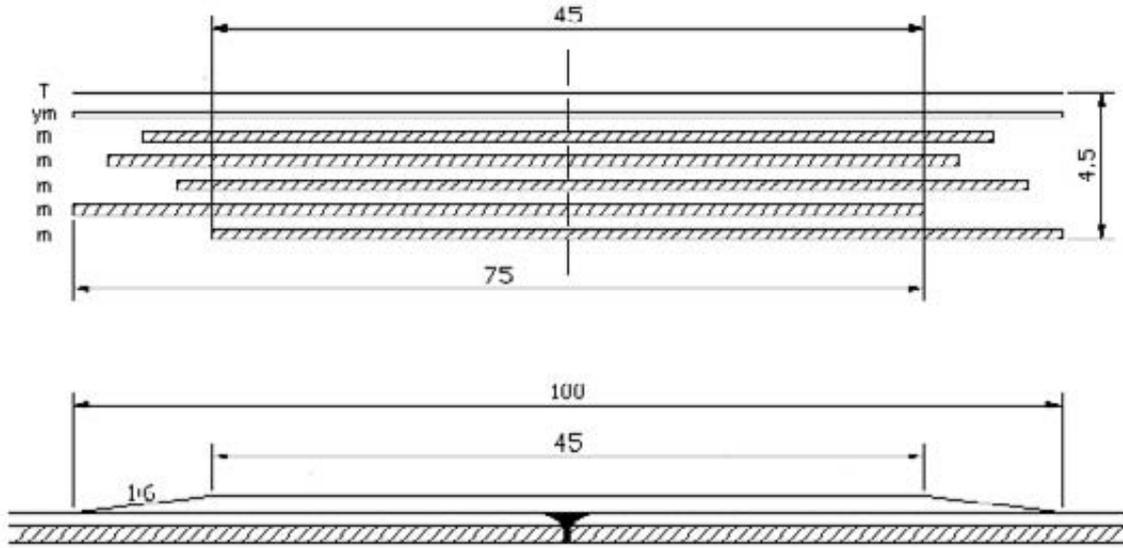


Figura 3.5 Capas de cañerías para $DN \leq 100$ PN1 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con $DN 150 - 250$

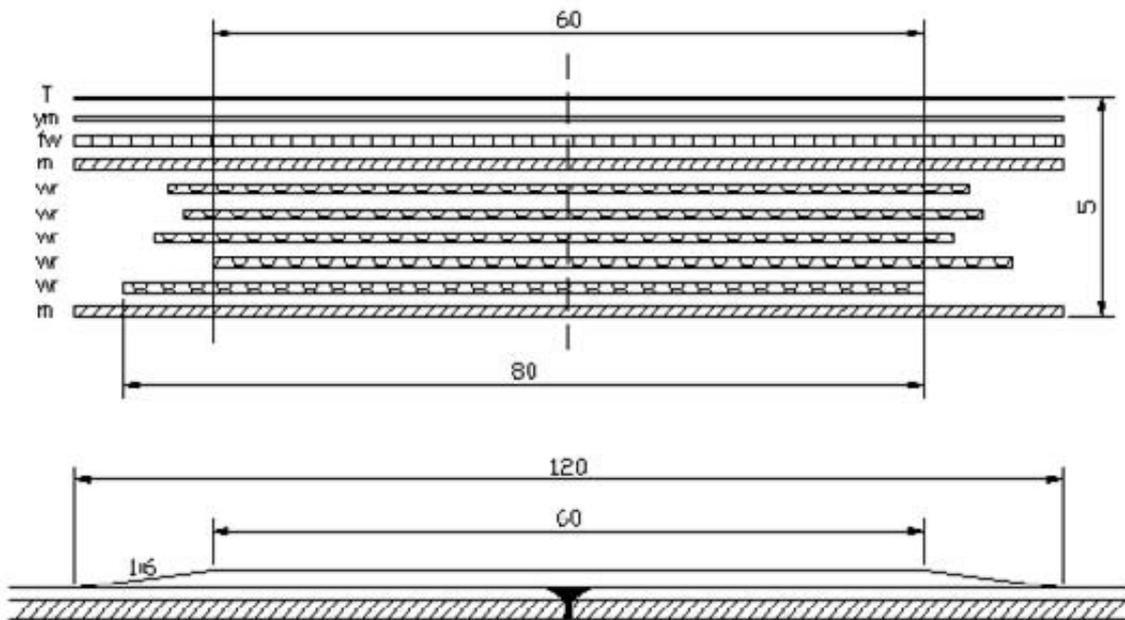


Figura 3.6 Capas de cañerías para $DN 150 - 250$ PN1 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 300 – 450

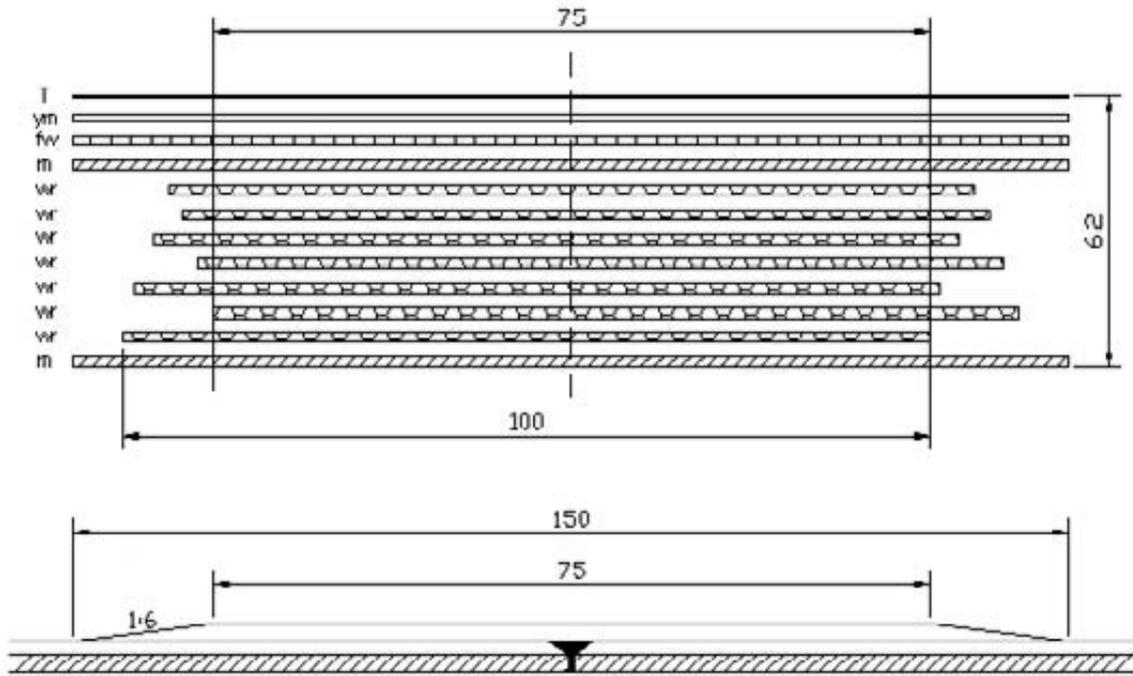


Figura 3.7 Capas de cañerías para DN 300 – 450 PN1 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 500 – 700

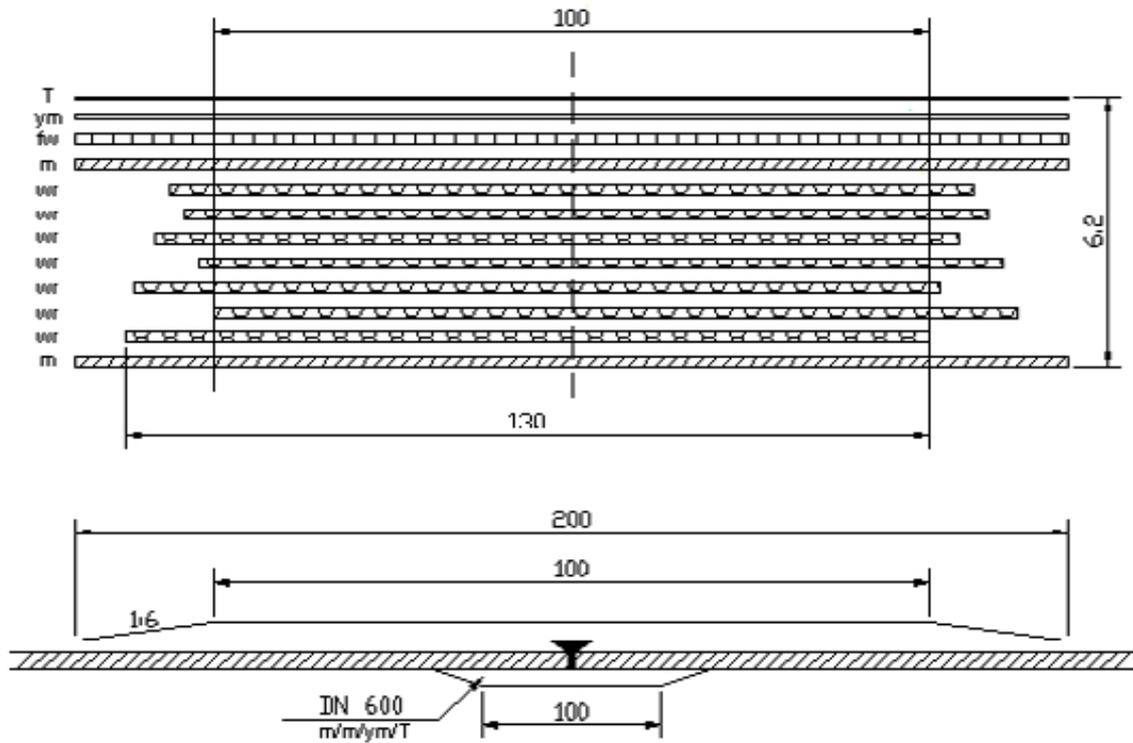


Figura 3.8 Capas de cañerías para DN 500 – 700 PN1 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 800 – 1000

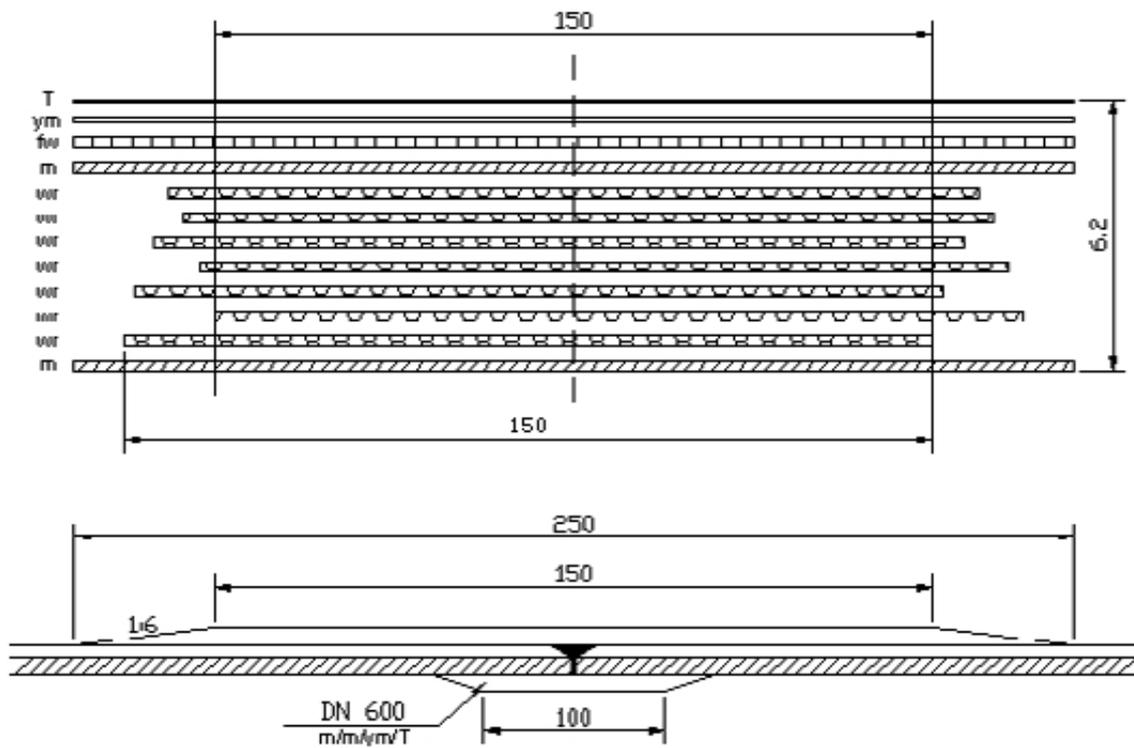


Figura 3.9 Capas de cañerías para DN 800 – 1000 PN1 (Kvaerner, 2004)

3.2.2 Para cañerías tipo PN10

Uniones para cañerías con DN ≤ 80

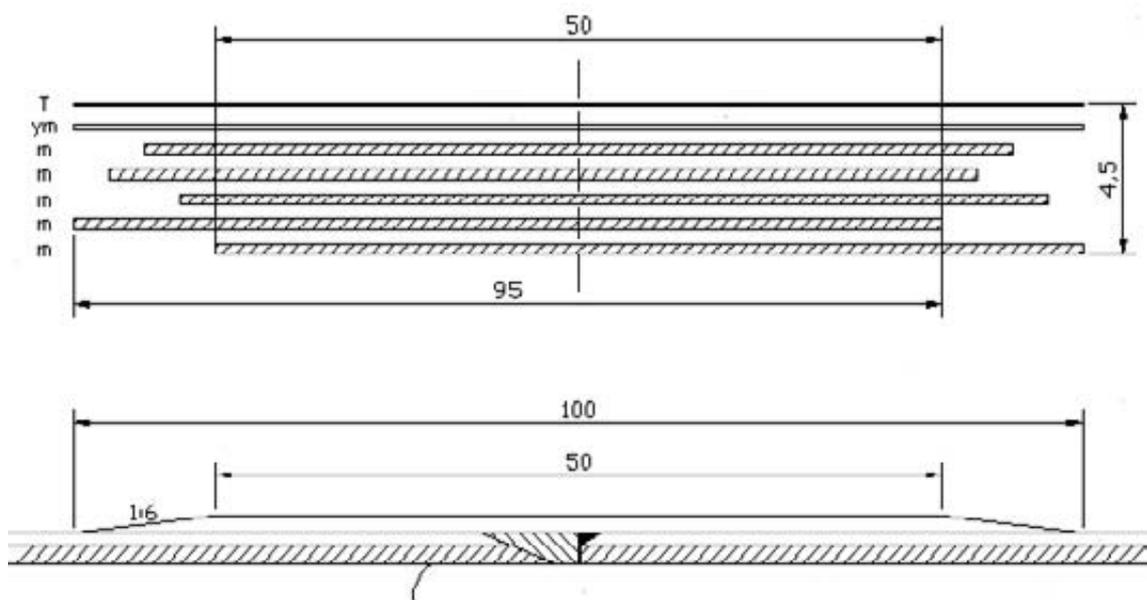


Figura 3.10 Capas de cañerías para DN ≤ 80 PN10 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 100 – 150

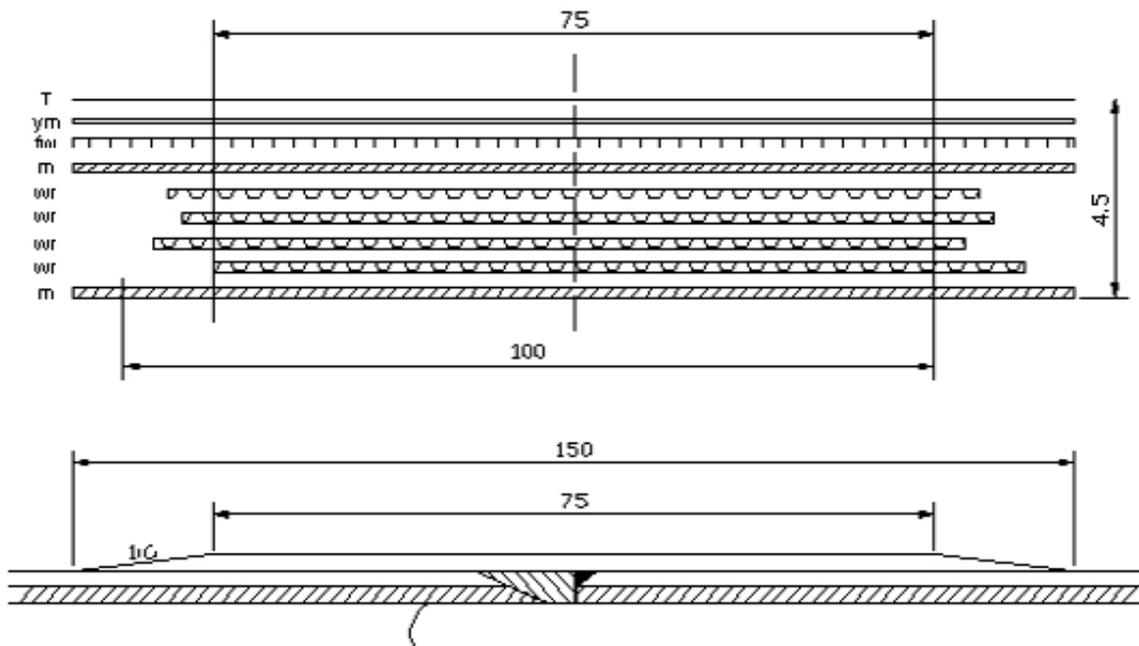


Figura 3.11 Capas de cañerías para DN 100 – 150 PN10 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 200

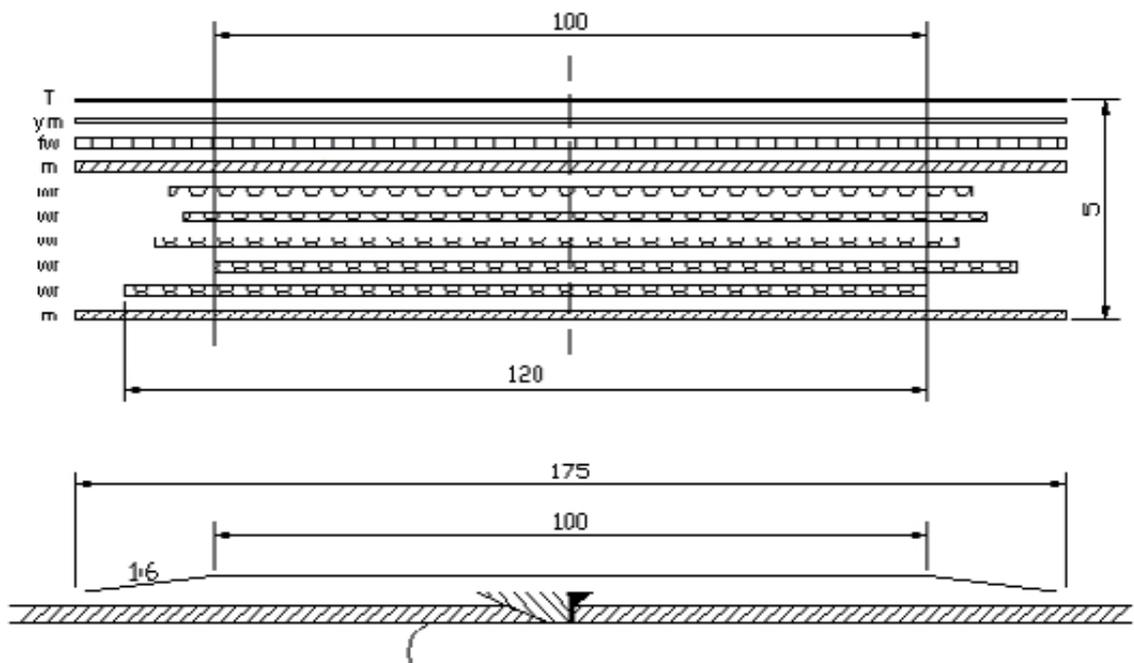


Figura 3.12 Capas de cañerías para DN 200 PN10 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 250

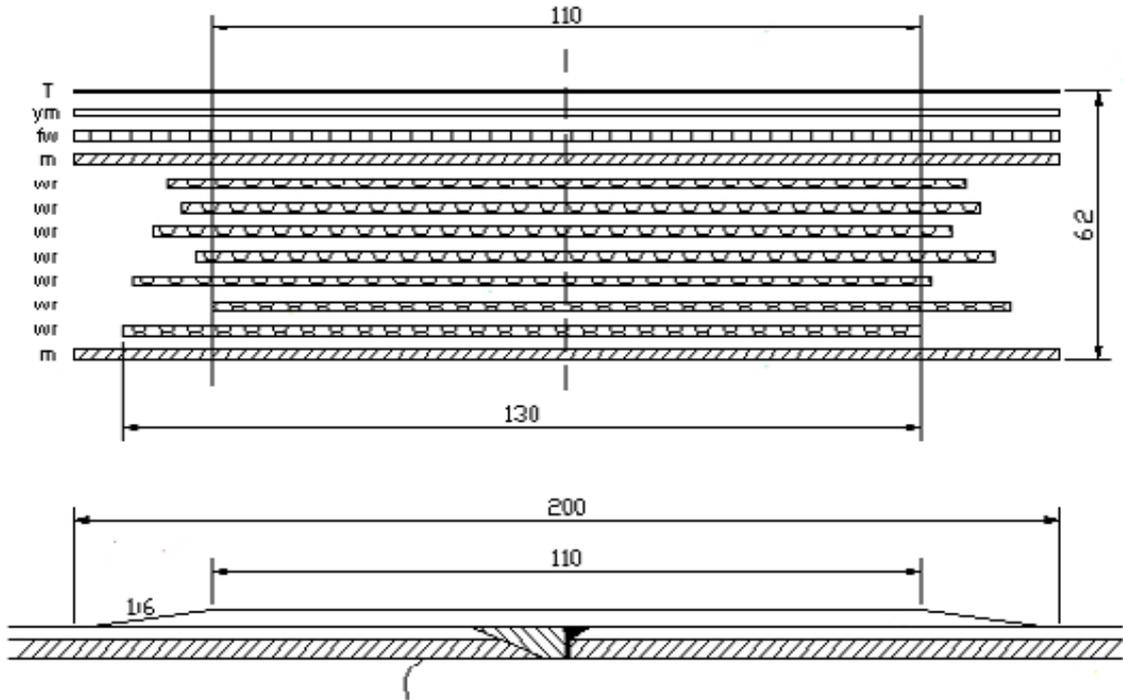


Figura 3.13 Capas de cañerías para DN 250 PN10 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 300

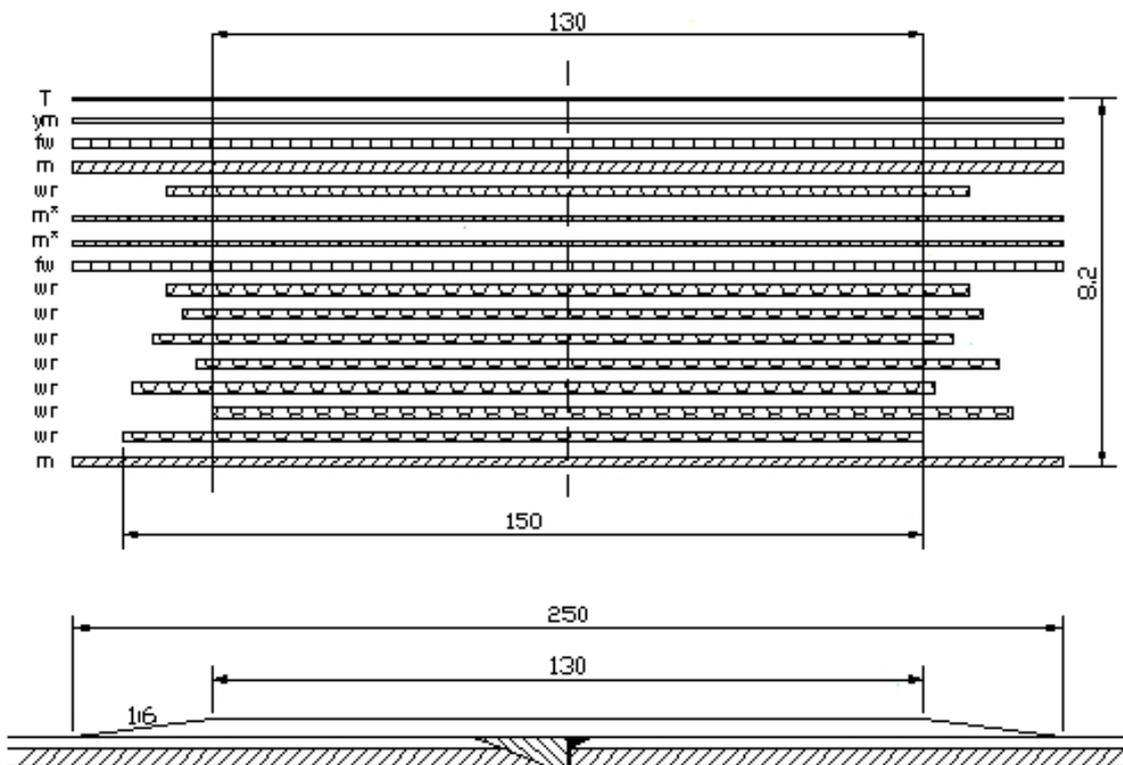


Figura 3.14 Capas de cañerías para DN 300 PN10 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 350

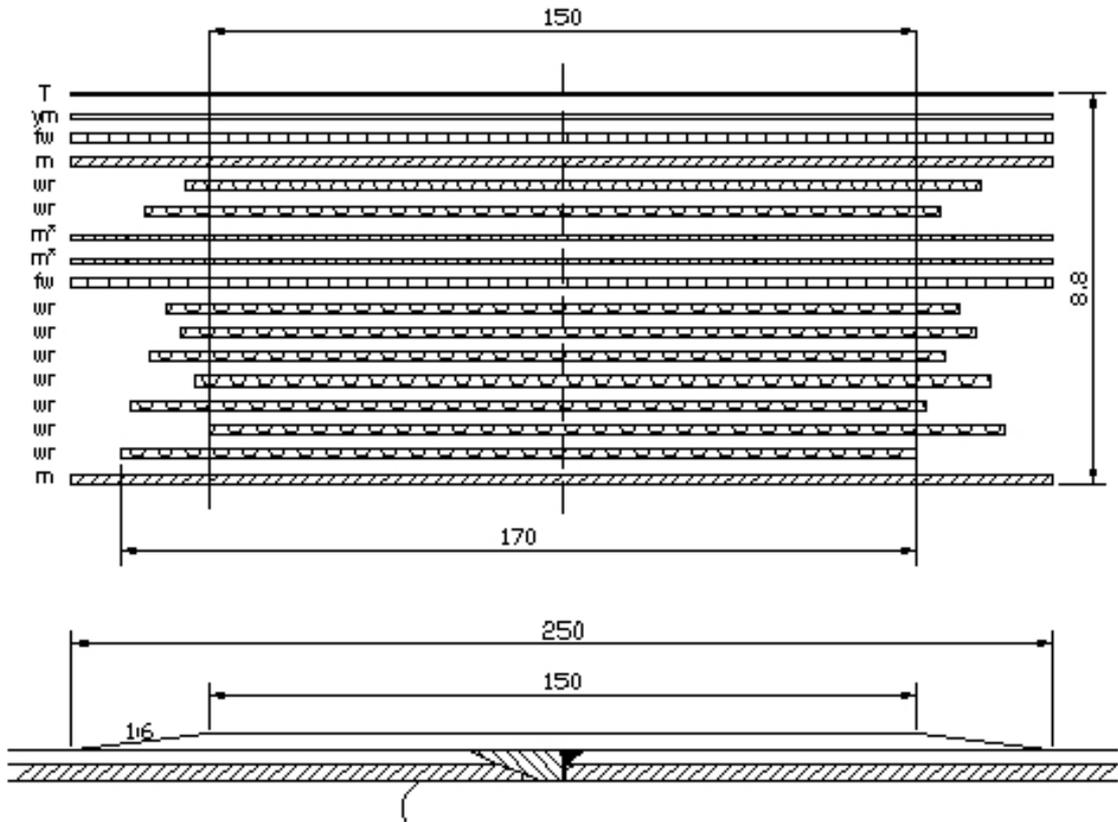


Figura 3.15 Capas de cañerías para DN 350 PN10 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 400

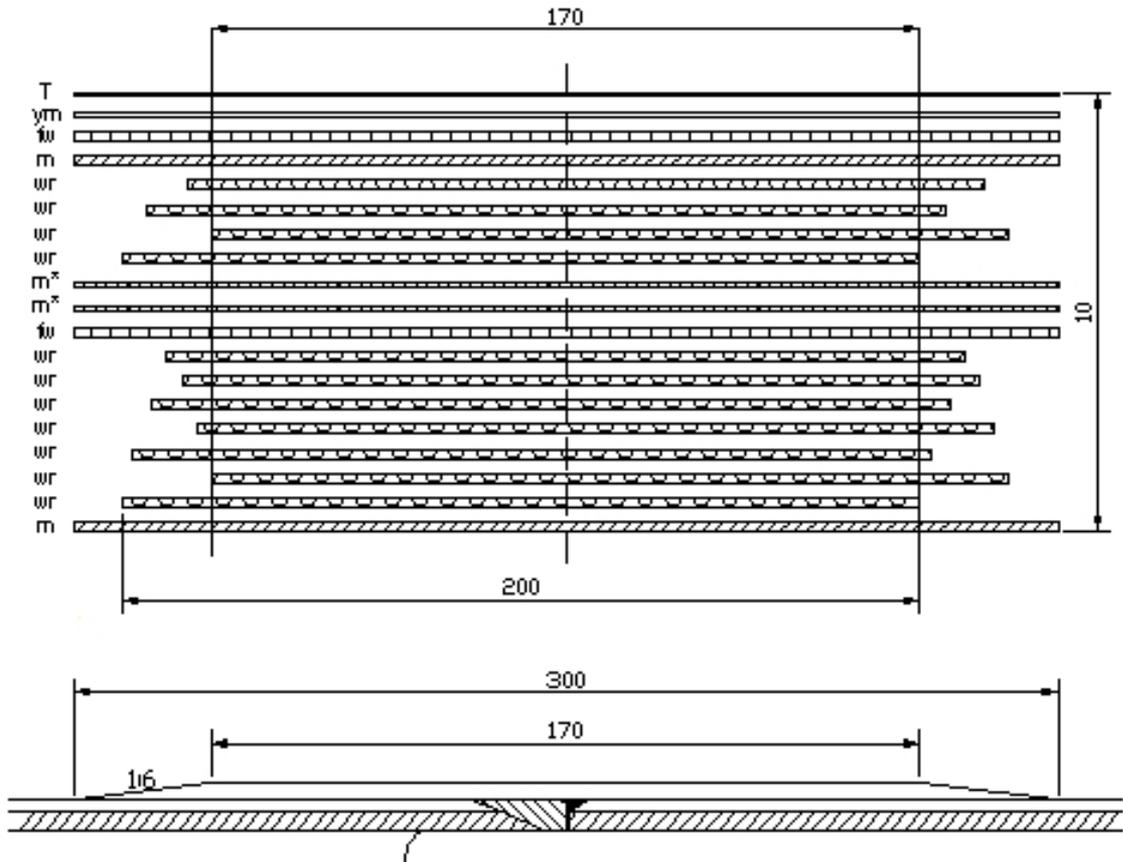


Figura 3.16 Capas de cañerías para DN 400 PN10 (Kvaerner, 2004)

Uniones para cañerías con DN 500

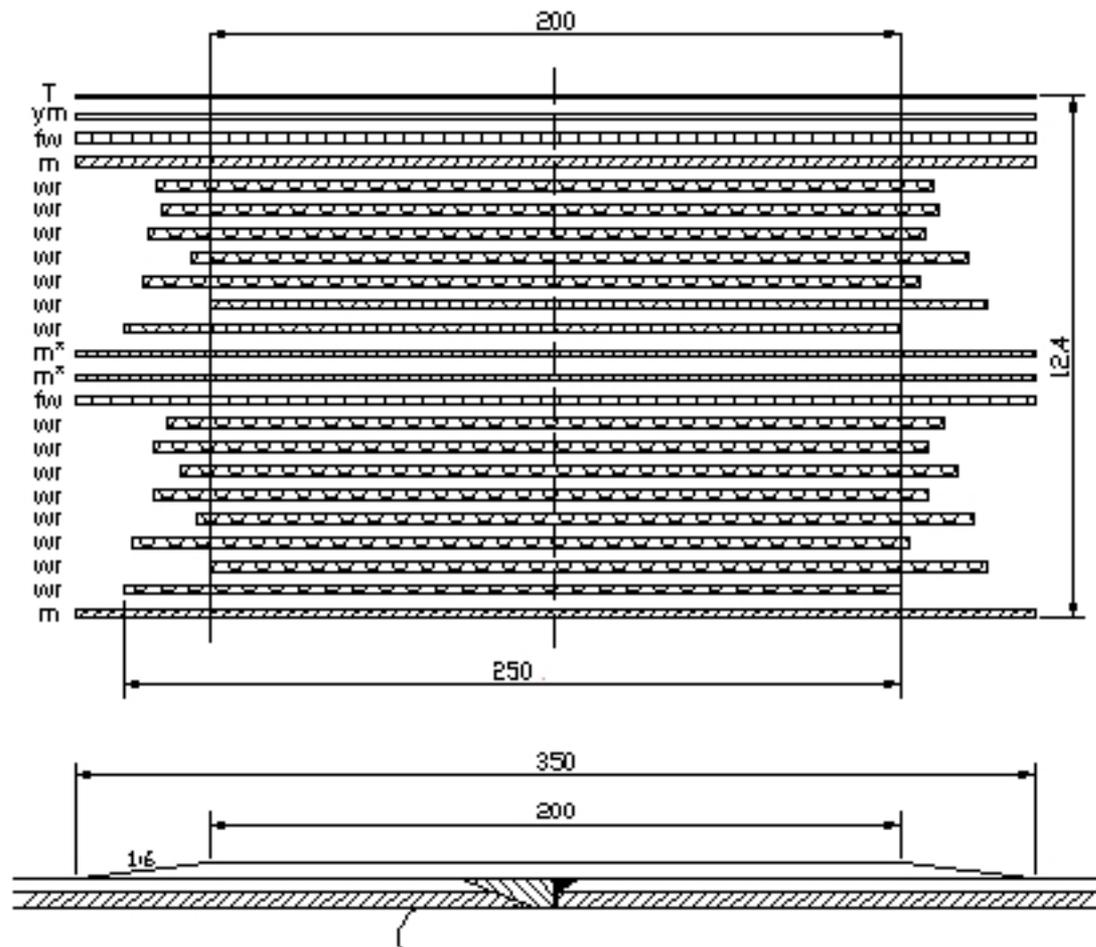


Figura 3.17 Capas de cañerías para DN 500 PN10 (Kvaerner, 2004)

Capítulo IV. Aspectos constructivos de la soldadura

4.1 Especificaciones de construcción

4.1.1 Especificación de materiales que componen la unión

Las siguientes especificaciones de materiales, son aquellas que la empresa Kvaerner Pulping entregó a la empresa Sigdo Koppers para realizar las uniones de tuberías de FRP en la empresa de Celulosa.

- Fraguado por calor

Como ya se mencionó anteriormente la resina a ocupar será Palatal A 440, si se usa otro fraguado debe ser equivalente a Palatal A 440 y tener propiedades idénticas.

- Refuerzos

Los materiales para el refuerzo de la resina de curado térmico serán un grado sustentable de fibra de vidrio con propiedades equivalentes. Una malla superficial de vidrio C se usará para refuerzo de las capas superficiales.

Los productos de fibra de vidrio para refuerzos tendrán un contenido alcalino máximo de 1%.

Las mantas de fibra de vidrio unidas con emulsiones no deberán ser usadas.

Las siguientes propiedades que garantizarán una calidad uniforme están determinadas de acuerdo al estándar o de otra forma equivalente:

- El contenido de material combustible en hiladas, mallas y telas de fibra de vidrio de acuerdo a SS 22 40 49.
- La densidad lineal de roving de acuerdo a estándar sueco SS 22 40 05.
- Peso por área de mat de fibra de vidrio de acuerdo a SS 22 41 37.
- Peso por área de woven cloth o tela de fibra de vidrio de acuerdo a SS 22 41 45.
- Cada entrega roving, mat o tela serán chequeadas en su contenido de humedad, el cual no debe exceder el 0,2 %. El contenido de humedad se determina de acuerdo a SS 22 40 11 o de manera equivalente.

- Aditivos

Se usarán las recomendaciones de los abastecedores de resina, endurecedores, catalizadores y acelerantes para las osificaciones sin poder ser cambiadas.

La cantidad usada de estos materiales es crítica y puede afectar tanto en la reacción química como llegar a extenderse hasta el curado.

El uso limitado de agentes tixotrópicos está permitido, previniendo que estos no interfieran con la inspección visual y con la resistencia química del laminado.

- Barrera de corrosión

Con el objeto de asegurar las propiedades óptimas, la construcción de los laminados en contacto con el corrosivo, deberá protegerse contra el ataque de este por una superficie y capa sellante (barrera química) o forros protectores termoplásticos.

- Capa superficial

Una capa superficial rica en resina reforzada con un velo superficial (de vidrio C), de espesor entre 0,25mm y 0,5mm, con un máximo de contenido de vidrio en peso de 20%.

- Capa sellante

La capa sellante contendrá un mínimo de 1,8Kg/m² de Mat, con un contenido de entre 20% y 30% de vidrio en peso.

- Capa sellante para cañerías y fittings PN1

La capa sellante contendrá un mínimo de 900Kg/m² de mat, con un contenido de vidrio entre 20% y 30% es peso.

- Capa estructural

Con el objetivo de asegurar propiedades óptimas, la capa estructural comenzará con una capa de mínimo 0,8Kg/m² de fibra de vidrio, cuando se usa filamento bobinado. La capa estructural tendrá un contenido de vidrio en peso de 35% a 75%.

- Otras superficies

Una capa superficial reforzada con gran contenido de resina con un velo superficial de espesor entre 0,25mm y 0,5mm y contenido de vidrio 20% máximo en peso. Se aplicará un recubrimiento superior con protector UV.

4.1.2 Especificación de uniones tipo PN1

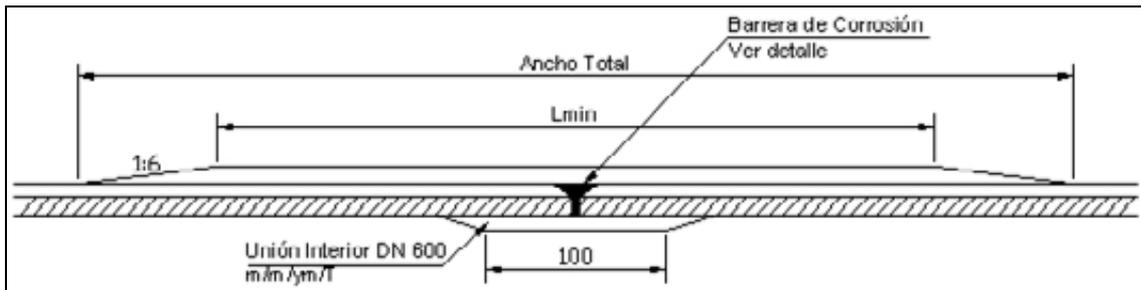


Figura 4.1 Especificación de la unión (Kvaerner, 2004)

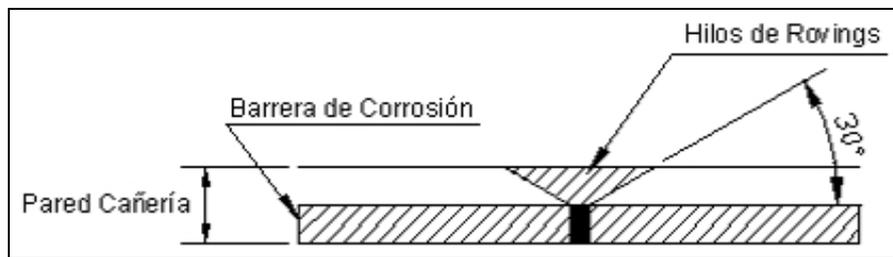


Figura 4.2 Detalle del corte (Kvaerner, 2004)

1. Cortar y pulir los bordes de la tubería, aproximadamente con un ángulo de 30°, hasta la barrera de corrosión.
2. Comprobar el alineamiento de las partes de la tubería a unir, teniendo especial cuidado con que los fondos queden paralelos. Arregle las partes durante el curado.
3. Como refuerzo para la barrera de corrosión, se colocará 1 capa de velo superficial, mas 2 capas de mat. Luego se pondrán filamentos de rovings impregnados en resina (4 vueltas) y finalmente cubrir la abertura con mat.
4. El curado debe ser a través de secuencias, cuando este proceso dure más de 3 horas. La superficie debe ser pulida antes de que la laminación pueda continuar.

4.1.3 Especificación de uniones tipo PN10

Con molde interior

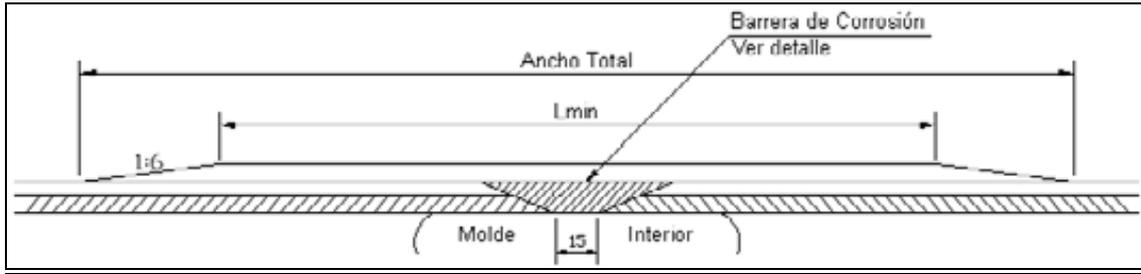


Figura 4.3 Especificación de la unión (Kvaerner, 2004)

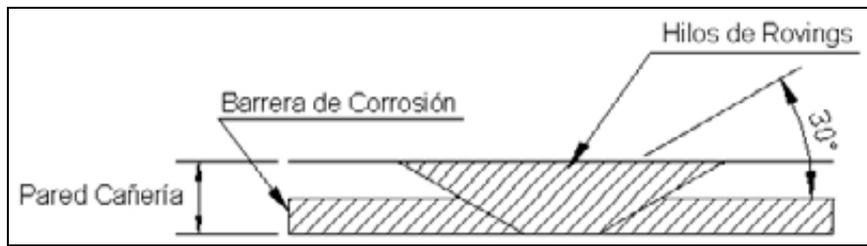


Figura 4.4 Detalle del corte (Kvaerner, 2004)

1. Cortar y pulir los bordes de las tuberías.
2. Alinear las partes con el molde interior como refuerzo.
3. La barrera de corrosión debe estar compuesta por 1 capa de velo superficial y cuantas capas de mat sean necesarias par llenar el corte.
4. El curado debe ser a través de secuencias, cuando este proceso dure más de 3 horas. La superficie debe ser pulida antes de que la laminación pueda continuar.

Con unión interior

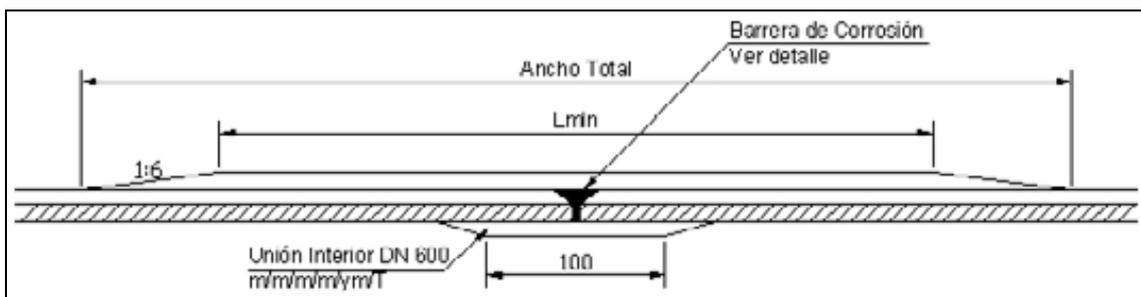


Figura 4.5 Especificación de la unión (Kvaerner, 2004)

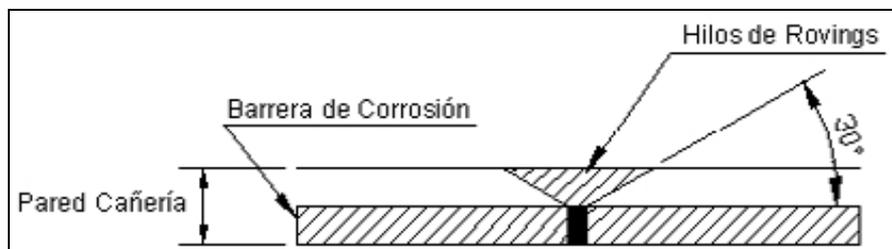


Figura 4.6 Detalle del corte (Kvaerner, 2004)

1. Cortar y pulir los bordes de la tubería, aproximadamente con un ángulo de 30°, hasta la barrera de corrosión.
2. Comprobar el alineamiento de las partes de la tubería a unir, teniendo especial cuidado con que los fondos queden paralelos. Arregle las partes durante el curado.
3. Como refuerzo para la barrera de corrosión, se colocará 1 capa de velo superficial, mas 2 capas de mat. Luego se pondrán filamentos de rovings impregnados en resina (4 vueltas) y finalmente cubrir la abertura con mat.
4. El curado debe ser a través de secuencias, cuando este proceso dure más de 3 horas. La superficie debe ser pulida antes de que la laminación pueda continuar.

4.1.4 Especificación de arranques para cañerías tipo PN1

Cuando $d / D > 0,8$

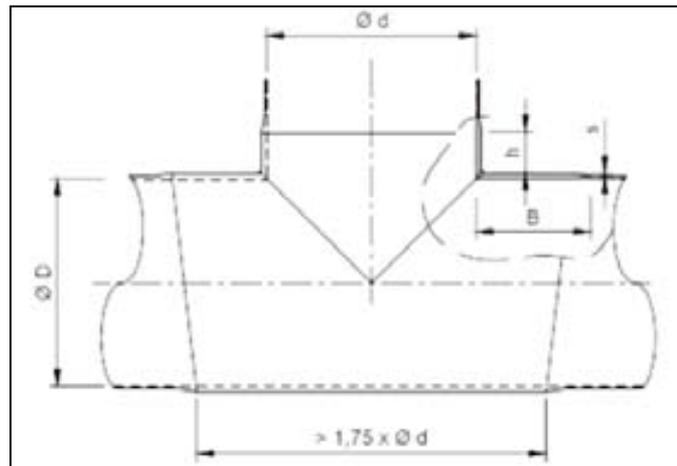


Figura 4.7 Especificación del arranque (Kvaerner, 2005)

La superficie de las tuberías debe ser pulida para lograr una buena adherencia entre ambas partes.

En la siguiente tabla se muestran las medidas de la tubería y las del arranque, las que determinan la cantidad de fibra que se debe poner en la unión de estas.

- La distancia D indica el diámetro de la cañería y d el diámetro del arranque a unir.
- B indica la distancia horizontal que debe cubrir la fibra en la unión.
- h es la distancia vertical que debe cubrir la fibra.
- s es el espesor total de fibra que compondrá la unión.
- La medida inferior indica que la fibra debe cubrir una distancia mayor a 1,75 veces el diámetro d al final de su proyección.

D mm	d mm	B mm	h mm	s₂ mm	Laminas de Fibras
150	150	125	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
200	200	125	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
250	250	150	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
300	250 300	150 175	50 50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
350	300 350	175 200	50 50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
400	350 400	200 225	50 75	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
500	500	275	75	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
600	500 600	275 300	75 100	4,5 6,3	m/m/m/m/m/ym/T m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
700	600 700	300 350	100 100	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
800	700 800	350 400	100 100	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
900	800 900	400 450	100 100	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
1000	900 1000	450 500	100 100	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T

Tabla 4.1 Fibras para arranque $d / D > 0,8$ (Kvaerner, 2005)

- m: Mat 450 g/m²
 wr: Woven roving 630 g/m²
 fw: Woven cloth 155 g/m²
 ym: Velo superficial 30 g/m²
 T: Topcoat, resina y solución de parafina

Cuando $d / D \leq 0,8$

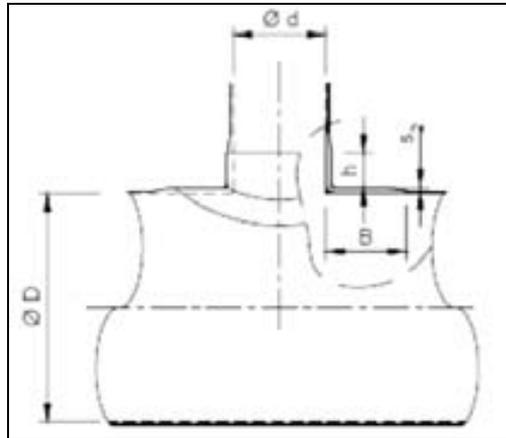


Figura 4.8 Especificación del arranque (Kvaerner, 2005).

La superficie de las tuberías debe ser pulida para lograr una buena adherencia entre ambas partes.

- La distancia D indica el diámetro de la cañería y d el diámetro del arranque a unir.
- B indica la distancia horizontal que debe cubrir la fibra en la unión.
- h es la distancia vertical que debe cubrir la fibra.
- s es el espesor total de fibra que compondrá la unión.

D mm	d mm	B mm	h mm	s₂ mm	Láminas de fibras
150	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
200	150	125	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
250	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
300	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
350	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
400	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
	300	200	50		
500	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
	300	200	50		
	400	225	75		
600	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
	300	200	50		
	400	225	75		

Tabla 4.2 Fibras para arranque $d / D \leq 0,8$ (Kvaerner, 2005)

D mm	d mm	B mm	h mm	s₂ mm	Láminas de Fibras
700	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
	300	200	50		
	400	225	75		
	500	275	75		
800	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
	300	200	50		
	400	225	75		
	500	275	75		
900	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
	300	200	50		
	400	225	75		
	500	275	75		
	600	300	100	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
1000	100	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
	150 - 200	125	50		
	250	150	50		
	300	200	50		
	400	225	75		
	500	275	75		
	600	300	100		
	700	350	100	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
800	400	100			

Tabla 4.3 Fibras para arranque $d / D \leq 0,8$ (Kvaerner, 2005)

m: Mat 450 g/m²

wr: Woven roving 630 g/m²

fw: Woven cloth 155 g/m²

ym: Velo superficial 30 g/m²

T: Topcoat, resina y solución de parafina

4.1.5 Especificación de arranques para cañerías tipo PN10

Cuando $d / D > 0,4$

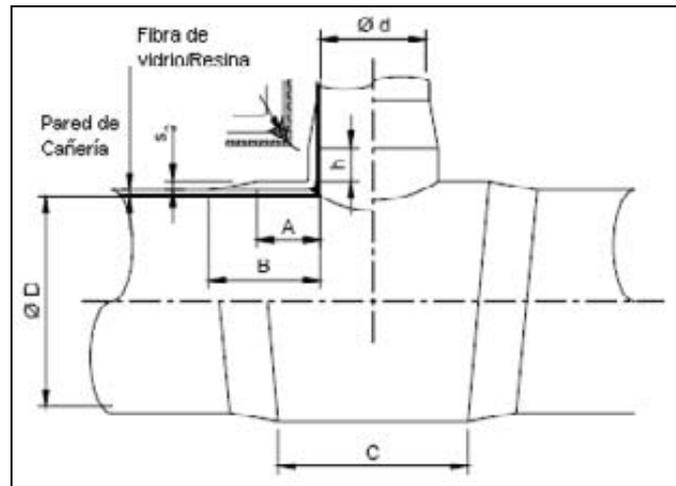


Figura 4.9 Especificación del arranque (Kvaerner, 2005).

La superficie de las tuberías debe ser pulida para lograr una buena adherencia entre ambas partes.

- La distancia D indica el diámetro de la cañería y d el diámetro del arranque a unir.
- B indica la distancia horizontal que debe cubrir la primera capa de fibra en la unión.
- A indica la distancia que debe cubrir la segunda capa de fibra.
- h es la distancia vertical que debe cubrir la fibra.
- s es el espesor total de fibra que compondrá la unión.
- La medida inferior indica que la fibra debe cubrir una distancia C al final de su proyección.

D mm	d mm	A mm	B mm	C mm	h mm	s ₂ mm	Láminas de Fibras
50	25	75	100	200	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
65	32	75	100	200	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
80	40	75	100	200	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
100	50	75	100	200	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
125	65	75	100	200	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
150	65 80	75	100	200	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
200	100	90	125	250	75	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
250	125	90	125	250	75	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
300	125 150	90 100	140 150	280 300	75 75	8,7	m/wr/m/wr/m/wr/m/C m/wr/ m/m/ym/T
350	150 200	100 100	160 160	320 320	75 100	10,2	m/wr/m/wr/m/wr/m/C m/wr/ m/wr/m/m/ym/T
400	200 250	100 125	165 200	330 400	100 100	10,8	(m/wr/m/wr/m/wr/m/C) x 2 /ym/T
500	250 300 350	125 150 175	200 225 250	400 450 500	100 100 125	13,2	(m/wr/m/wr/m/wr/m/C) x 2 m/wr/m/ym/T
600	250 300 350 400	125 150 175 200	225 250 275 300	450 500 550 600	100 100 125 125	16,2	(m/wr/m/wr/m/wr/m/C) x 3 ym/T

Tabla 4.4 Fibras para arranque $d / D > 0,4$ (Kvaerner, 2005)

- m: Mat 450 g/m²
 wr: Woven roving 630 g/m²
 fw: Woven cloth 155 g/m²
 ym: Velo superficial 30 g/m²
 T: Topcoat, resina y solución de parafina

Cuando $d / D \leq 0,4$

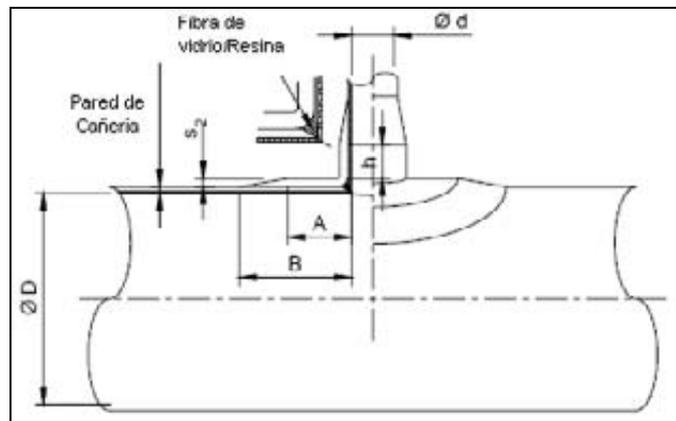


Figura 4.10 Especificación del arranque (Kvaerner, 2005)

La superficie de las tuberías debe ser pulida para lograr una buena adherencia entre ambas partes.

- La distancia D indica el diámetro de la cañería y d el diámetro del arranque a unir.
- B indica la distancia horizontal que debe cubrir la primera capa de fibra en la unión.
- A indica la distancia que debe cubrir la segunda capa de fibra.
- h es la distancia vertical que debe cubrir la fibra.
- s es el espesor total de fibra que compondrá la unión.

D mm	d mm	A mm	B mm	h mm	s ₂ mm	Láminas de Fibras
50	15	50	75	30	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
65	15 - 25	50	75	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
80	15 - 32	75	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
100	15 - 40	75	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
125	15 - 50	75	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
150	15 - 50	75	100	50	4,5	m/m/m/m/m/ym/T
200	15 - 80	75	115	50	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
250	15 - 80 100	75 90	115 125	50 75	6,3	m/wr/m/wr/m/wr/m/m/ym/T
300	15 - 80 100 - 125	75 90	125 150	50 75	8,7	m/wr/m/wr/m/wr/m/C m/wr/ m/m/ym/T
350	15 - 80 100 - 125	75 90	140 150	50 75	10,2	m/wr/m/wr/m/wr/m/C m/wr/ m/wr/m/m/ym/T
400	15 - 80 100 - 125 150	75 90 100	145 165 175	50 75 75	10,8	(m/wr/m/wr/m/wr/m/C) x 2 /ym/T
500	15 - 80 100 - 125 150 200	75 90 100 100	155 170 180 180	50 75 75 100	13,2	(m/wr/m/wr/m/wr/m/C) x 2 m/wr/m/ym/T
600	15 - 80 100 - 125 150 200	75 90 100 100	170 190 200 200	50 75 75 100	16,2	(m/wr/m/wr/m/wr/m/C) x 3 ym/T

Tabla 4.5 Fibras para arranque $d / D \leq 0,4$ (Kvaerner, 2005)

m: Mat 450 g/m²

wr: Woven roving 630 g/m²

fw: Woven cloth 155 g/m²

ym: Velo superficial 30 g/m²

T: Topcoat, resina y solución de parafina

4.2 Proceso de construcción

4.2.1 Preparación de uniones

En la figura 4.11 se prepara la unión con un esmeril angular, para lograr mayor adherencia.



Figura 4.11 Preparación de una unión PN1 (Kvaerner, 2005)



Figura 4.12 Preparación de unión finalizada (Kvaerner, 2005)



Figura 4.13 Preparación de unión PN10 finalizada (Kvaerner, 2005)

Preparación para alineamiento de juntas con molde inflable interior.



Figura 4.14 Alineamiento de las cañerías (Kvaerner, 2005)

Colocación del molde.



Figura 4.15 Colocación del molde (Kvaerner, 2005)

Colocación de la lámina de poliéster en el molde para prevenir o impedir que la resina se una al molde.



Figura 4.16 Colocación lámina de poliéster (Kvaerner, 2005)



Figura 4.17 Colocación lámina de poliéster (Kvaerner, 2005)

Se puede usar una bomba de bicicleta normal para inflar el molde o ingresar aire a presión desde sistema de molino portátil.



Figura 4.18 Inflado del molde (Kvaerner, 2005)

Luego de haber inflado el molde se debe verificar que este tope el borde de la cañería.



Figura 4.19 Verificación de alineamiento (Kvaerner, 2005)

Inflado satisfactorio del molde y alineamiento de la junta.



Figura 4.20 Unión preparada (Kvaerner, 2005)



Figura 4.21 Vista del molde a través del fitting (Kvaerner, 2005)

4.2.2 Unión de la barrera de corrosión



Figura 4.22 Unión barrera de corrosión (Kvaerner, 2005)

En la Figura 4.23 se está aplicando resina en el borde de una tapa, aquí no puede entrar el molde. Esta soldadura se consigue sólo con la unión de la barrera de corrosión.



Figura 4.23 Aplicación de resina (Kvaerner, 2005)

Se prepara la primera capa de fibra que se aplicará a la unión.



Figura 4.24 Preparación del velo superficial (Kvaerner, 2005)

Se coloca la primera capa de la barrera de corrosión, el velo superficial que se impregna con resina



Figura 4.25 Aplicación del velo (Kvaerner, 2005)

Después del velo se aplica la fibra de vidrio tipo mat, al igual que el velo esta se impregna en resina.



Figura 4.26 Aplicación de mat (Kvaerner, 2005)

En seguida se coloca el roving alrededor de la unión debido al pequeño agujero que se forma entre ambas partes.



Figura 4.27 Aplicación de roving alrededor de la unión (Kvaerner, 2005)



Figura 4.28 Aplicación de resina (Kvaerner, 2005)

Se aplican mas capas de mat en la barrera de corrosión.



Figura 4.29 Aplicación de mat (Kvaerner, 2005)

Para finalizar la barrera de corrosión se agrega la molienda que resultó de la preparación para aumentar el refuerzo de la unión.



Figura 4.30 Barrera de corrosión finalizada (Kvaerner, 2005).

En la figura 4.31 se muestra otro ejemplo de la unión de la barrera de corrosión, para una cañería PN10, con un molde interno para mantener ambas partes acopladas. Se aplica el mat con el rollo debido al tamaño de la cañería.



Figura 4.31 Unión de la barrera de corrosión (Kvaerner, 2005)

En esta unión no se usa roving, ya que el agujero que se forma entre ambas partes de la cañería es más ancho.



Figura 4.32 Impregnación del mat en resina (Kvaerner, 2005)



Figura 4.33 Curado intermedio (Kvaerner, 2005)

Al finalizar la unión se agrega la molienda que resultó de la preparación para aumentar el refuerzo.



Figura 4.34 Barrera de corrosión finalizada (Kvaerner, 2005)

4.2.3 Unión de capas estructurales

Luego del curado intermedio y de la molienda se aplica una capa de resina.



Figura 4.35 Aplicación de resina (Kvaerner, 2005)

El mat se corta por capas para ser aplicado.



Figura 4.36 Aplicación de mat (Kvaerner, 2005)

Luego se impregna de resina, en este caso se hace con una brocha, pero de preferencia se debe usar un rodillo.



Figura 4.37 Mat saturado en resina (Kvaerner, 2005)

La aplicación del tejido debe ser como lo indica la figura 4.39, y este no será cortado hasta que todas las vueltas sean aplicadas.

Se enrolla el tejido tirando con tensión, esto causa que la resina fresca que está en el interior impregne otras vueltas de tejido y de esta manera la capa queda más firme y se evitan las burbujas de aire.



Figura 4.38 Aplicación del woven roving (Kvaerner, 2005)

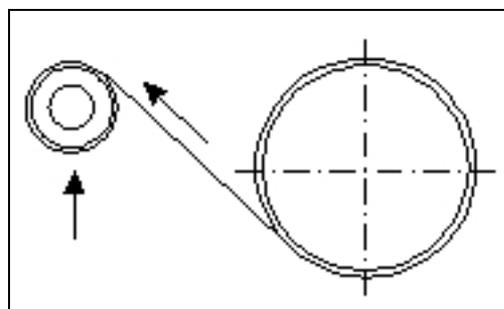


Figura 4.39 Metodo de aplicación del enrollado (Kvaerner, 2005)

Se utiliza un rodillo de metal dentado para impregnar el tejido de resina, si fuese necesario se aplica resina adicional.



Figura 4.40 Aplicación de rodillo metálico (Kvaerner, 2005)

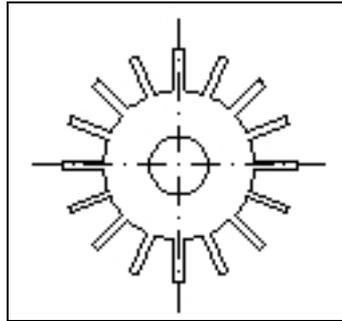


Figura 4.41 Forma de la sección del rodillo metálico dentado (Kvaerner, 2005)



Figura 4.42 Proceso de saturación (Kvaerner, 2005)

Se utiliza el rodillo metálico para eliminar las burbujas de aire que han quedado entre las fibras.



Figura 4.43 Eliminación de burbujas (Kvaerner, 2005)

La colocación del woven cloth debe ser de igual forma que el woven roving, el rollo de tela no debe ser cortado hasta que todos los giros sean aplicados. Se tira con tensión el rollo para que la resina se sature desde el interior al exterior.



Figura 4.44 Aplicación del woven cloth (Kvaerner, 2005)



Figura 4.45 Saturación del woven cloth (Kvaerner, 2005)

Ultima capa de mat aplicado antes del curado intermedio.



Figura 4.46 Aplicación de mat (Kvaerner, 2005)

Respecto al curado de la unión es importante seguir las instrucciones para prevenir las reparaciones de las secciones intermedias de la capa, debido a la generación de calor excesivo en la junta por la reacción química.

Se aplica una última capa de velo superficial.



Figura 4.47 Aplicación del velo superficial (Kvaerner, 2005)



Figura 4.47 Unión finalizada (Kvaerner, 2005)

Capítulo V. Evaluación del proceso de construcción de la soldadura de cañerías de FRP en 5 casos de la Planta de Celulosa Nueva Aldea

5.1 Introducción

La intención de realizar el análisis de algunas uniones surgió de la percepción basada en observaciones, por parte de la autora del presente trabajo durante los cuatro meses de práctica en el área de Piping de Sigdo Koppers S.A. en la construcción de la Planta de Celulosa Nueva Aldea, de que algunas de las soldaduras de las cañerías de plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) no estarían siguiendo en su totalidad el procedimiento.

Como se indicó anteriormente, las soldaduras de cañerías de FRP requieren de una serie de procesos constructivos para lograr una unión resistente. Estos procesos y las especificaciones correspondientes, se presentaron en los capítulos III y IV. La posible causa de que no se aplicara en un cien por ciento los procedimientos podrían estar ligados a eventuales dificultades de acceso a determinadas áreas de la soldadura, como también podría haber descuido por parte del personal que la estaba construyendo.

Un componente central en toda evaluación son los criterios, elementos a partir de los cuales se puede establecer la comparación entre lo realmente ejecutado y lo especificado. Los criterios que se fijaron para la evaluación son los siguientes:

En cuanto a los tipos y cantidades de fibras según espesor y diámetro de la cañería (ver capítulo III, 3.2): se refieren a la secuencia de colocación de las fibras, los tipos y cantidades de fibras a colocar, según el diámetro y la cañería.

En cuanto a los procesos constructivos de la soldadura (ver capítulo IV, 4.1.4, 4.1.5, 4.2): se refieren a las especificaciones de arranque, la preparación de las uniones, la unión de la barrera de corrosión y la unión de capas estructurales, y dentro de estas encontramos la forma de aplicación de las fibras y la resina, la eliminación de burbujas de aire, la colocación del molde interno y la lámina de poliéster.

En el capítulo siguiente se describe, para cada caso, el proceso tal como se llevó a cabo, apoyado por fotografías tomadas por la autora durante la construcción de cada una de las soldaduras y, a continuación, se efectúa el análisis de las diferencias entre los casos y las especificaciones.

5.2 Descripción del proceso constructivo y evaluación técnica

Los cinco casos seleccionados se describen a continuación.

En el primer caso se muestra la unión de la barrera de corrosión de una cañería PN1 con un diámetro de 500mm, en la cual se utiliza el molde negro para sostener ambas cañerías y una lámina de poliéster para que la resina no se adhiera al molde.

En el segundo caso se realiza la unión de capas estructurales de un arranque que ya tiene hecha la unión de la barrera de corrosión. Esta soldadura se hizo a aproximadamente 10 metros de altura, utilizando arnés de seguridad y sobre andamios.

El tercer caso es una parte intermedia de cañería en forma vertical, se une al arranque anteriormente visto en la parte superior y a un codo en la parte inferior. Se realiza la unión de la barrera de corrosión y la unión de las capas estructurales.

En el cuarto caso se unirá una tapa de una cañería subterránea, la cual corresponde al final de una parte de la red de cañerías totales. Este mismo caso se mostró en las especificaciones de construcción en el capítulo IV.

El quinto caso corresponde a la unión de una cañería PN10 de diámetro pequeño a un flange, se comienza con la terminación de la unión de la barrera de corrosión y luego se realiza la unión de las capas estructurales.

Caso1:

La primera soldadura se realizó en terreno, pero bajo una carpa por la elevada temperatura del momento, por ello la coloración naranja de las fotos tomadas.

Para comenzar a unir dos partes de cañerías, como ya vimos, es necesario hacer una preparación lijando los extremos a unir.

En la figura 5.1 vemos las partes ya preparadas para soldar y el molde interior que permite apoyar las cañerías.



Figura 5.1 Preparación de la unión y molde interior (Fotos tomadas por la autora)

La figura 5.2 corresponde a una ampliación de la fotografía que muestra la unión a soldar con el molde y la lámina de poliéster.



Figura 5.2 Unión lista para soldar (Fotos tomadas por la autora)

Es necesario impedir el movimiento de las partes a unir debido al tamaño de la cañería, por esto se sostuvo con un prensa.

La soldadura comenzó con la unión de la barrera de corrosión, la cual sirve para no dejar penetrar la corrosión hacia las capas estructurales. En la obra se conoce con el nombre de “Pinchazo”.

En la figura 5.3 después de haber aplicado resina a las partes lijadas de las cañerías se colocó una capa de velo superficial, este se adhiere fácilmente gracias a la resina antes aplicada.



Figura 5.3 Colocación del velo superficial (Fotos tomadas por la autora)

Luego de haber colocado el velo superficial este se impregnó de resina y se preparó más velo superficial para la parte inferior de la cañería.



Figura 5.4 Impregnación del velo en resina (Fotos tomadas por la autora)

Se colocó velo superficial en la parte inferior de la unión y se impregnó de resina.



Figura 5.5 Colocación de velo superficial (Fotos tomadas por la autora)

Luego se procedió a colocar el mat en todo el perímetro de la junta.



Figura 5.6 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Después el mat se impregnó con suficiente resina para que la siguiente capa de fibra se adhiera fácilmente.



Figura 5.7 Impregnación del mat con resina (Fotos tomadas por la autora)

Se le aplicó más resina para que se sature la fibra y luego el roving se adhiriera perfectamente para cubrir el espacio entre la junta.



Figura 5.8 Aplicación de resina (Fotos tomadas por la autora)

El roving es mojado con resina antes de ser aplicado para que logre mayor saturación.



Figura 5.9 Roving mojado en resina (Fotos tomadas por la autora)

Se colocó el roving alrededor de las cañerías de forma que cubra el espacio entre ambas.



Figura 5.10 Colocación del roving (Fotos tomadas por la autora)

A continuación se aplicó otra capa de mat sobre el roving y se impregnó de resina.



Figura 5.11 Colocación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Mientras se continuó colocando la última capa de mat en todo el contorno de la junta, se eliminaron las burbujas del mat ya saturado en resina con el rodillo metálico.



Figura 5.12 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

Evaluación:

La unión de la barrera de corrosión se ajusta a casi todas las especificaciones que hemos visto en el capítulo IV (4.2.2) desde la preparación de la unión (4.2.1), la colocación de la lámina de poliéster (4.2.1), hasta la secuencia de colocación de las fibras (4.2.2). Sin embargo el último procedimiento que se aplicó en la fabricación de esta soldadura fue el de eliminación de burbujas (figura 5.12) y, al contrario de lo que se señala en las especificaciones (figura 4.30, del capítulo IV, 4.2.2), no se aplicó la molienda que se obtenía de la preparación de la unión. Esto trae como consecuencia una disminución del refuerzo de la soldadura, que puede derivar una rotura de la unión por la presión que ejerce el fluido sobre ella o también una necesidad más frecuente de mantención.

Caso 2:

En la siguiente soldadura se realizó la unión de las capas estructurales de un arranque con la barrera de corrosión elaborada, a una altura aproximada de 10 metros, por lo que se utilizó arnés de seguridad y se trabajó sobre andamios, esto dificultó la operación de trabajo agregando además que la unión es vertical y se encuentra sobre la cabeza del soldador.

Según las especificaciones de arranque mencionadas en el Capítulo IV (4.1.4), que determinan la cantidad y tipos de fibras en arranques de cañerías, de acuerdo a la fracción

d/D ($d = 400\text{mm}$ diámetro menor y $D = 600$ diámetro mayor), resulta un decimal inferior a 0,8, por lo que según la tabla 4.2 las capas de mat corresponden a cinco, las capas de velo superficial a una y se termina con una capa de resina.

En la figura 5.13 se muestra la unión de la barrera de corrosión finalizada, pero en la cual lamentablemente no se aplicó la molienda obtenida de la preparación de la unión, al aplicar la molienda se proporciona mayor refuerzo a la soldadura.



Figura 5.13 Unión para aplicar capas estructurales (Fotos tomadas por la autora)

Se preparó el material, cortándolo en forma ovalada y en varias partes que cubran la superficie de la cañería. Además de esto se le realizaron cortes entre medio para que se acomode a la curvatura, (figura 5.14).



Figura 5.14 Preparación del material (Fotos tomadas por la autora)

A la resina (que contiene el acelerante) se le agregó el catalizador para que comience la reacción química para el curado.



Figura 5.15 Dosificación de catalizador (Fotos tomadas por la autora)

Se impregnó la fibra con resina sobre un cartón ocupando un rodillo en una plataforma horizontal, ya que es difícil mantener la fibra sobre la unión en posición vertical para agregar la resina.



Figura 5.16 Aplicación de resina al mat (Fotos tomadas por la autora)

Antes de poner la fibra se aplicó resina sobre la superficie para la adherencia del mat.



Figura 5.17 Aplicación de resina (Fotos tomadas por la autora)

En la figura 5.18 se colocó el mat ya impregnado en resina, debido a que la soldadura se encontraba en una posición alta e incómoda, era más fácil para el soldador impregnar primero el material y luego colocarlo en la unión, de esta forma se acoplaría rápidamente.



Figura 5.18 Colocación del mat (Fotos tomadas por la autora)

Se comenzó a eliminar las burbujas de aire con el rodillo metálico.



Figura 5.19 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

Se pusieron las otras partes de mat y se adhirieron a la cañería.



Figura 5.20 Colocación del mat (Fotos tomadas por la autora)

Como se muestra en las figuras 5.18 y 5.20, se colocaron las partes de mat saturados en resina, que estaban constituidos por varias capas de mat apiladas. En las especificaciones (4.2.3) esto se realiza en forma individual, para evitar la formación de burbujas de aire en gran cantidad y lograr una mayor impregnación de resina.

La primera parte de esta soldadura ha finalizado, luego se debió esperar el tiempo necesario hasta que la temperatura disminuyó, debido a la reacción exotérmica.



Figura 5.21 Unión casi finalizada (Fotos tomadas por la autora)

Después de esto se aplicaron las capas de mat restantes según las especificaciones de arranque de la forma ya expuesta.

Por último se aplicó una capa de velo superficial y se impregnó de resina.



Figura 5.22 Unión finalizada (Fotos tomadas por la autora)

Evaluación:

En este caso la aplicación del mat no se hizo correctamente, se apilaron varias capas de fibras y se impregnaron de resina para luego colocarlas en la unión todas a un mismo tiempo, como se muestra en las figuras 5.18 y 5.20. Según las especificaciones (4.2.3) la aplicación de las capas de mat se debe hacer en forma individual, así se evita la formación

de burbujas de aire en gran cantidad, se logra una mayor impregnación de resina y compactación para la firmeza de la unión. Esta falta puede causar que la soldadura se dañe a corto plazo por la resistencia insuficiente que esta adquirió cuando fue fabricada.

Caso 3:

La siguiente unión es un trozo de cañería que se soldó junto al arranque que vimos en el caso anterior y un codo que se ubicaba en la parte inferior. Se realizó primero la unión de la barrera de corrosión y luego la unión de las capas estructurales que están especificadas en el capítulo III (3.2.1), según este capítulo la cañería se encuentra entre DN 300-450mm, por lo tanto, las capas de fibras corresponden a las anunciadas en este caso con la siguiente secuencia, 1 capa de mat, 7 capas de woven roving (también llamado tejido), 1 capa de mat, 1 capa de woven cloth (también llamado tela), 1 capa de velo superficial y para terminar una capa de resina.

Se comenzó con la localización de la cañería utilizando una cuerda para facilitar su montaje.



Figura 5.23 Localización de la cañería (Fotos tomadas por la autora)

La cañería se terminó de instalar cuando el tramo de cañería quedó a tope con ambos extremos.



Figura 5.24 Cañería instalada (Fotos tomadas por la autora)

Una vez localizada la cañería se procedió a la construcción de la unión de la barrera de corrosión, aplicando primeramente el velo superficial y sobre este una capa de mat impregnándolos con resina.



Figura 5.25 Colocación de velo superficial y mat (Fotos tomadas por la autora)

Luego se aplicó el roving en todo el perímetro de la cañería para cubrir el espacio que se forma entre ambas partes a unir y se impregnó de resina para que se adhiera.



Figura 5.26 Colocación roving (Fotos tomadas por la autora)

Se cortaron las otras partes de mat y se les aplicó resina.



Figura 5.27 Preparación del mat (Fotos tomadas por la autora)

Antes de colocar el mat se eliminaron las burbujas con el rodillo metálico dentado.



Figura 5.28 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

Para apurar el secado de la unión se le aplicó aire caliente con un secador eléctrico.



Figura 5.29 Secado (Fotos tomadas por la autora)

A continuación se procedió a esperar el secado de la unión por la generación de calor, este tiempo depende de las circunstancias del momento, como la temperatura y la humedad, se debió proseguir luego que la temperatura de la soldadura haya bajado.

En este caso nuevamente no se ha aplicado la molienda de la preparación de las uniones.

Luego de haber esperado que la unión de la barrera de corrosión haya bajado su temperatura se procede a construir las capas estructurales, como se especifica en el capítulo III (3.2.1).

En la figura 5.30 se observa que los soldadores preparaban el material a colocar, una capa de mat y varias de woven roving en tiras. Como se ha visto en el capítulo IV (4.2.3) figura 4.39, la aplicación del woven roving se realizó con el mismo rollo tensado, sin cortarlo hasta tener el total de vueltas correspondientes a las capas especificadas, en este caso 7. Esto se hace precisamente para que la unión sea más resistente y se eviten burbujas de aire, sin embargo no se fabricó según la especificación, esto implica que la unión pierde resistencia mecánica.



Figura 5.30 Preparación tejido (Fotos tomadas por la autora)

Se colocaron las capas de fibras antes preparadas e impregnadas en resina, las fibras fueron aplicadas en gran número al mismo tiempo de forma apilada, esto implica que las fibras no quedan bien compactadas y adheridas entre si y las burbujas de aire no se eliminan correctamente, esto también disminuye la resistencia mecánica de la unión.



Figura 5.31 Aplicación del woven roving o tejido (Fotos tomadas por la autora)

Luego de haber aplicado el mat y las capas de woven roving, estos se impregnaron con resina.



Figura 5.32 Aplicación de resina (Fotos tomadas por la autora)

Según las especificaciones del Capítulo III (3.2.1), luego de colocar el woven roving se debe aplicar 1 capa de mat y luego 1 capa de woven cloth, pero como se muestra en la figura 5.33 luego del woven roving se colocó el woven cloth y no el mat que era lo que correspondía. Este cambio de secuencia en las fibras puede afectar también a la resistencia de la unión, ya que el mat aplicado entre el woven roving y el woven cloth ayuda a la uniformidad de las fibras que tienen forma de mallas o tejido.

La aplicación del woven cloth se realizó en forma correcta a pesar de que no se cumple la secuencia de colocación de las fibras. Se aplicó sin cortar el rollo lo que le da mayor firmeza a la unión.



Figura 5.33 Aplicación del woven cloth o tela (Fotos tomadas por la autora)

Luego de haber aplicado la capa de woven cloth, este se impregnó de resina.



Figura 5.34 Aplicación de resina (Fotos tomadas por la autora)

Se colocó la capa de mat que correspondía anteriormente.



Figura 5.35 Aplicación de la capa de mat (Fotos tomadas por la autora)

Se saturó con resina para luego eliminar las burbujas y aplicar la última capa de fibra que corresponde.



Figura 5.36 Impregnación de resina (Fotos tomadas por la autora)

Se eliminaron las burbujas de aire con el rodillo metálico dentado.



Figura 5.37 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

Luego se colocó la capa de velo superficial.



Figura 5.38 Colocación del velo superficial (Fotos tomadas por la autora)

Se aplicó la última capa de resina sobre el velo y se eliminaron las burbujas de aire.



Figura 5.39 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

La unión superior fue finalizada.



Figura 5.40 Unión finalizada (Fotos tomadas por la autora)

La unión inferior se realizó de igual forma.



Figura 5.41 Unión superior finalizada (Fotos tomadas por la autora)

Evaluación:

En este caso nuevamente no se ha aplicado la molienda de la preparación de las uniones en la unión de la barrera de corrosión, lo que disminuye el total refuerzo que puede llegar a obtener si esta se le aplicara.

Como se ha visto en el capítulo IV (4.2.3) figura 4.39, la aplicación del woven roving se realiza con el mismo rollo tensado, sin cortarlo hasta tener el total de vueltas correspondientes a las capas especificadas, en este caso 7 esto se hace precisamente para que la unión sea más resistente y se eviten burbujas de aire, sin embargo no se fabricó

según la especificación, o sea se aplicaron las capas de woven roving cortadas y no con el rollo tensado, esto conduce a que la unión pierda resistencia mecánica.

Se colocaron además las capas de fibras correspondientes a la unión de capas estructurales en gran número al mismo tiempo de forma apilada, esto implica que las fibras no quedan bien compactadas y adheridas entre si y las burbujas de aire no se eliminan correctamente, esto también disminuye la resistencia mecánica de la unión.

Según las especificaciones del Capítulo III (3.2.1), luego de colocar el woven roving se debe aplicar 1 capa de mat y luego 1 capa de woven cloth, pero como se muestra en la figura 5.33 luego del woven roving se colocó el woven cloth y no el mat que era lo que correspondía. Este cambio de secuencia en las fibras puede afectar también a la resistencia de la unión, ya que el mat aplicado entre el woven roving y el woven cloth ayuda a la uniformidad de las fibras que tienen forma de mallas o tejido.

Estas faltas pueden ocasionar la rotura de la soldadura por fisuras expuestas en un período no muy largo y una mantención frecuente de las cañerías.

Caso 4:

La siguiente soldadura se hizo en un extremo de una cañería subterránea, se soldó la tapa con la que se ponía fin a una etapa de la red de cañerías. En la figura 5.42 se muestra en forma general el lugar y la cañería que se soldó. Este procedimiento tiene como especificación la unión de la barrera de corrosión mostrada en el Capítulo IV (4.2.2), que será el criterio para la evaluación.



Figura 5.42 Visión general del sitio (Fotos tomadas por la autora)

La figura 5.43 muestra el extremo al cual se soldó la tapa.



Figura 5.43 Extremo a soldar (Fotos tomadas por la autora)

Se preparó la unión lijando el extremo con un esmeril angular, en esta etapa es donde se debió guardar la molienda de esta preparación, para luego cubrir el término de la barrera de corrosión, pero como podemos ver no se guardó esta molienda y por ende luego no se cubre la barrera de corrosión.



Figura 5.44 Preparación de la tubería (Fotos tomadas por la autora)

Una vez que se preparó la unión se localizó la tapa y se sostuvo para el proceso de soldadura.



Figura 5.45 Colocación de tapa (Fotos tomadas por la autora)

Se aplicó resina antes y después del mat, así este tiene mayor adherencia.



Figura 5.46 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Se eliminaron las burbujas de aire con el rodillo metálico.



Figura 5.47 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

Se aplicó mat a la parte del perímetro que falta y se impregnó con resina para su adherencia.



Figura 5.48 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Se colocó el roving en todo el contorno de la unión para cubrir el espacio que se forma entre ambas partes que se unen.



Figura 5.49 Aplicación de roving (Fotos tomadas por la autora)

Se aplicó calor para el secado de la soldadura, esto debido a que en ese momento la temperatura había disminuido y fue necesario acelerar el proceso de curado.



Figura 5.50 Aplicación de calor (Fotos tomadas por la autora)

Es necesario que el calor sea aplicado en todo el perímetro de la cañería, así el curado será uniforme. Esta unión se realizó al término de una jornada de trabajo, por esto se postergó el resto del procedimiento para el próximo día, la aplicación de calor fue el último proceso de este día.



Figura 5.51 Aplicación de calor (Fotos tomadas por la autora)

Al inicio del día siguiente se aplicó resina para la adherencia de las otras fibras que se colocaron.



Figura 5.52 Aplicación de resina (Fotos tomadas por la autora)

En las especificaciones del Capítulo IV (4.2.2), luego de haber colocado el roving se aplica otra capa de mat, en este caso primero se pone woven roving y luego se aplica mat. Esto se realiza para darle mayor refuerzo al término de esta cañería.



Figura 5.53 Aplicación de tejido (Fotos tomadas por la autora)

El tejido que aquí se utilizó lamentablemente no estaba en las condiciones aptas para ser utilizado, ya que como se observa en la figura 5.53, la trama del tejido era muy irregular, lo cual afecta la uniformidad de la soldadura. Si se quiere lograr un mejor resultado de refuerzo las fibras a colocar deben estar bien formadas, o no se lograrán los resultados esperados.



Figura 5.54 Aplicación de tejido (Fotos tomadas por la autora)

Luego de haber aplicado el woven roving se colocó el mat y se impregnó en resina.



Figura 5.55 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Se continuó aplicando mat por todo el perímetro de la unión.



Figura 5.56 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Una vez que finalizada la aplicación del mat se debiera colocar la molienda para dar mayor refuerzo a la soldadura, pero esto no se realizó.



Figura 5.57 Unión finalizada (Fotos tomadas por la autora)

Evaluación.

Como se ha visto en los casos anteriores la omisión de la molienda es algo que se repite, se preparó la unión lijando el extremo pero no se guardó para luego cubrir el término de la unión de la barrera de corrosión. Esto causa que la soldadura pierda refuerzo importante para lograr una buena resistencia, que puede ocasionar un daño más próximo de lo esperado si se hubiese aplicado la molienda y por ello una mantención más frecuente de la cañería. Como se ve en las figuras 5.53 y 5.54 el woven roving (tejido) que aquí se utilizó, tenía separados los rovings que lo conforman, su forma era muy irregular, lo cual afecta la uniformidad de la soldadura.

Caso 5:

En la siguiente soldadura se muestra la terminación de la unión de la barrera de corrosión de una cañería PN10, aplicando el roving y la resina. Después se realizó la unión de las capas estructurales según lo especificado en el Capítulo III y IV.



Figura 5.58 Unión de la barrera de corrosión (Fotos tomadas por la autora)

Se colocó el roving sobre el mat aplicado anteriormente e impregnado en resina.



Figura 5.59 Aplicación de roving (Fotos tomadas por la autora)

Luego de haber aplicado resina sobre el roving se eliminaron las burbujas de aire con el rodillo metálico dentado. En la figura 5.60 se puede ver una manguera que sale de un extremo de la cañería, esta corresponde al molde interno que se infla por medio de esta.



Figura 5.60 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

Se aplicó la última capa de mat a la unión impregnado en resina.



Figura 5.61 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Al finalizar se agregó una capa de resina y además se debió agregar la molienda obtenida de la preparación de la unión lo cual no se realizó.



Figura 5.62 Barrera de corrosión finalizada (Fotos tomadas por la autora)

Se esperó el tiempo necesario para que la temperatura de la soldadura disminuya, por la reacción exotérmica y luego se prosiguió con la unión de capas estructurales.

Transcurrido el tiempo de enfriamiento se inició la unión de las capas estructurales. Esta unión corresponde a una cañería PN10 de DN entre 100-150mm por lo que según las especificaciones del capítulo III (3.2.2), las capas de fibras a colocar en secuencia son, 1 capa de mat, 4 de woven roving, 1 mat, 1 de woven cloth, 1 de velo superficial y por último 1 de resina.

En la figura 5.63 podemos ver que el molde ya fue retirado por no ser necesario, ya que la barrera de corrosión fue terminada. Se comenzó aplicando una capa de mat a la unión.



Figura 5.63 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

El mat se impregnó de resina utilizando el rodillo.



Figura 5.64 Aplicación de resina (Fotos tomadas por la autora)

A continuación se aplicaron las 4 capas de woven roving de la forma especificada en el capítulo IV tensando el rollo de forma correcta sin cortarlo, como se ha visto en la figura 4.39 (4.2.3).



Figura 5.65 Aplicación de tejido (Fotos tomadas por la autora)

Se le agregó resina a las capas de woven roving, tensando el rollo de fibra, esto causa que la resina fresca que está en el interior impregne otras vueltas de tejido y de esta manera la capa queda más firme y se evitan las burbujas de aire.



Figura 5.66 Aplicación de resina al tejido (Fotos tomadas por la autora)

Luego del woven roving según la especificación del capítulo III (3.2.2) corresponde una capa de mat, pero como se muestra en la figura 5.67 se colocó primero la capa de woven cloth y luego el mat.



Figura 5.67 Aplicación de tela (Fotos tomadas por la autora)

La aplicación del woven cloth también se realizó de forma correcta, tensando el rollo, aunque no en la secuencia especificada.



Figura 5.68 Aplicación de tela (Fotos tomadas por la autora)

Luego de haber finalizado la aplicación de la capa de woven roving, se cortó el rollo de fibra. En la figura 5.69 podemos ver que al tensar el rollo la resina que esta debajo impregna también la nueva capa de fibra, esto es lo que también se espera del tensado.



Figura 5.69 Aplicación de tela (Fotos tomadas por la autora)

Se finaliza la aplicación del woven roving y se satura en resina.



Figura 5.70 Fibras impregnadas en resina (Fotos tomadas por la autora)

Después de esto se colocó la capa de mat faltante y se le agregó resina.



Figura 5.71 Aplicación de mat (Fotos tomadas por la autora)

Se eliminaron las burbujas de aire con el rodillo metálico dentado.



Figura 5.72 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)



Figura 5.73 Eliminación de burbujas (Fotos tomadas por la autora)

Luego de haber eliminado las burbujas de las anteriores capas de fibras se colocó el velo superficial agregándole la última capa de resina.



Figura 5.74 Aplicación de velo superficial (Fotos tomadas por la autora)

Evaluación:

Al finalizar la unión de la barrera de corrosión correspondía agregar la molienda obtenida de la preparación de la unión, lo cual no se realizó. Como se ha dicho antes esto causa que la unión pierda un importante refuerzo con el que hubiese adquirido mayor resistencia, la unión puede desarrollar un desgaste temprano comparado con el que hubiese desarrollado si la molienda se hubiese aplicado.

En cuanto a la secuencia de colocación de las capas de fibras, según la especificación del capítulo III (3.2.2), luego del woven roving corresponde una capa de mat, pero se colocó primero la capa de woven cloth y luego el mat, como se muestra en la figura 5.67 esto puede afectar la resistencia mecánica de la soldadura, ya que como complementan sus formas al adherirse unas a otras, si se cambia esta distribución no se logrará la uniformidad requerida para una mayor resistencia y se puede generar la rotura de la unión.

Capítulo VI. Comentarios y conclusiones

El plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) es utilizado mayormente en la construcción y el transporte, como revestimientos exteriores, partes de puentes y carrocerías de camiones, en los cuales se hace uso de su gran resistencia a la intemperie y una vida útil perdurable. Este material compuesto es también utilizado en la industria por su resistencia a la corrosión, que le permite estar en contacto con químicos de alto poder corrosivo como ácidos o bases.

En la industria de la Celulosa Nueva Aldea se utiliza el plástico reforzado con fibra de vidrio, para cañerías y estanques que transportan pulpa en proceso de blanqueo, a la cual se le agregan distintos químicos como dióxido de cloro, oxígeno, peróxido y soda cáustica. Esto genera que este fluido sea corrosivo, para lo cual es conveniente la utilización de FRP.

Las cañerías de plástico reforzado con fibra de vidrio requieren de uniones con propiedades y características similares o superiores a las de fabricación. Las soldaduras de estas uniones de FRP se componen de varios materiales, pero sin duda los principales son la resina y las fibras de vidrio, los que esencialmente le aportan al compuesto, resistencia química y resistencia mecánica respectivamente.

De acuerdo a los objetivos se estudiaron las cañerías de FRP de uso industrial, y en especial las soldaduras. Estas soldaduras, debido a que deben fabricarse generalmente *in situ*, sobre las cañerías ya montadas y a veces a gran altura, aplicando de acuerdo a especificaciones la resina, las fibras de vidrio y los aditivos, muchas veces se pueden producir complicaciones para su aplicación, ya que hay factores que son difíciles de predecir, como la temperatura. Y aunque el proceso de curado se regula con el acelerante, estos factores ambientales pueden variar en el proceso de construcción de la unión, causando la quemadura de esta por el aumento de temperatura debido a la reacción exotérmica del curado.

En relación a la evaluación del procedimiento de fabricación de la soldadura se destacaron fallas en los 5 casos estudiados, como, la aplicación de la molienda obtenida de la preparación de la unión, la cual aumentaría el refuerzo de la soldadura y aplicaciones en forma inadecuada del tejido en las capas estructurales, especialmente en el tensado de las fibras. La colocación de las capas de fibras se realiza de acuerdo a lo especificado en relación a las cantidades y los tipos, se colocan las capas de fibras según el diámetro de la cañería y según la presión (PN1 o PN10), se agregan los aditivos (catalizador y acelerante) en los porcentajes especificados a la resina y se esperan los tiempos necesarios durante el curado de la unión para proseguir con la aplicación de las demás capas. Lo que no se realiza

como lo indican las especificaciones es la secuencia de colocación de las fibras y la colocación de las capas de fibras apiladas en gran cantidad (las cuales se aplican a un mismo tiempo), esto debería hacerse en forma individual por la formación de burbujas en gran cantidad y por la compactación de las fibras. Todo esto ocasiona una disminución de la resistencia mecánica de la soldadura, que podría generar una rotura de la unión por no soportar la presión del fluido y/o la necesidad más frecuente de mantenimiento de la cañería.

Se observó también que en el proceso de construcción el personal encargado prestó atención apropiada a factores ambientales que influyen en la soldadura, asegurando protección contra la radiación solar, la lluvia y procurando mantener dentro de rangos apropiados la temperatura del curado.

En conclusión se detectaron errores importantes en la construcción de la soldadura que puede haberse debido a la falta de conocimiento de las especificaciones técnicas por parte de los trabajadores, o simplemente por comodidad de trabajo en la realización de la soldadura, además de no haber una adecuada supervisión que habría evitado que cometieran estas fallas.

Bibliografía

- ALARCÓN, A.L. 2002. *Estudio teórico-experimental sobre la reparación y refuerzo de puentes de dovelas de fibras de carbono*. Tesis Dr. Barcelona, Univ. Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos de Barcelona.
- BENDEZÚ, J.R. 2002. *Los plásticos reforzados en fibra de vidrio (PRFV), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional*. Tesis Ingeniero Industrial. Lima, Univ. Nacional Mayor de San Marcos, Fac. Ing. Ind.
- ENCICLOPEDIA ENCARTA, 2004. *Polímero*.
- GONZALEZ, J.D. 1992. *Materiales compuestos: Tecnología de los plásticos reforzados*. 3ª Edición. Madrid. Fondo editorial de ingeniería naval. Págs. 577.
- GORDON, J.E. 1999. *Estructuras o por qué las cosas no se caen*. Madrid. Celeste Ediciones. Págs. 472.
- KVAERNER, A. 2004. *Specification; Pipe material specification FRP piping, material entregado a Sigdo Koppers S.A. para construcción de celulosa*. Nueva Aldea. Págs. 14.
- KVAERNER, A. 2005. *Specification; Pipe material specification FRP piping, joint specification, PN1, material entregado a Sigdo Koppers S.A. para construcción de celulosa*. Nueva Aldea. Págs. 8.
- KVAERNER, A. 2005. *Specification; Pipe material specification FRP piping, joint specification, PN10, material entregado a Sigdo Koppers S.A. para construcción de celulosa*. Nueva Aldea. Págs. 15.
- KVAERNER, A. 2005. *Standard; FRP piping PN1 Branch specification, material entregado a Sigdo Koppers S.A. para construcción de celulosa*. Nueva Aldea. Págs. 4.
- KVAERNER, A. 2005. *Standard; FRP piping PN10 Branch specification, material entregado a Sigdo Koppers S.A. para construcción de celulosa*. Nueva Aldea. Págs. 4.
- ROCA, X.R. 2005. *Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos avanzados en la construcción de edificios industriales*. Tesis Dr. Terrassa, Univ. Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa.
- SHACKELFORD, JF. 1998. *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. 4ª Edición. Madrid. Prentice Hall Iberia. Págs. 675.

SMITH, W.F. 2000. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 3ª Edición. Madrid. McGraw-Hill. Págs. 715.

TRINCADO, L.V. 1985. *Las resinas de poliéster y los plásticos reforzados con fibra de vidrio*. Santiago. Editorial Universitaria. Págs. 99.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. 1997. *Composite Materials for Civil Engineering Structures*. Washington. Technical Letter No. 1110-2-548.

STRAPLAS. 2003. *P.R.F.V. Straplas*. Disponible en:

[http:// www.straplas.com.ar/prfv.htm](http://www.straplas.com.ar/prfv.htm)

Consultado el: 11 de mayo de 2006.

PLASTIFER. 2003. *Plastifer*. Disponible en:

<http://www.plastifer.cl>

Consultado el: 15 de mayo de 2006.

STARLINE. 2006. *Starline*. Disponible en:

<http://www.starline.cl>

Consultado el: 20 de mayo de 2006.

VETROTEX. 2001. *Saint-GobainVetrotex*. Disponible en:

<http://www.saint-gobain-vetrotex.com>

Consultado el: 11 de junio de 2006.

EPOXA. 2006. *Epoxa*. Disponible en:

<http://www.epoxa.cl>

Consultado el: 11 de junio de 2006.

BASF. 2005. *Basf*. Disponible en:

<http://www.basf.es>

Consultado el: 11 de junio de 2006.

PLÁSTICOS HUELVA. 2006. *Plásticos Huelva*. Disponible en:

<http://www.plasticoshuelva.com>

Consultado el: 11 de junio de 2006.

PLATIQUIMICA. 2006. *PQ*. Disponible en:

<http://www.pq.cl>

Consultado el 20 de junio de 2006.

PAPELNET. 2004. *Papelnet*. Disponible en:

<http://www.papelnet.cl>

Consultado el: 22 de junio de 2006.