

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



**“EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DEL MOLDEO POR ASPERSIÓN EN LA
FABRICACIÓN DE TINAS A BASE DE RESINAS POLIÉSTERES
REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRO”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

CÉSAR FLORENCIO SÁENZ ATANACIO

LIMA – PERU
2002

INDICE

1. Resumen	3
2. Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	4
2.1 Materia prima empleada en PRFV	4
2.1.1 Fibra de vidrio	4
2.1.2 Catalizador	7
2.1.3 Acelerador	7
2.1.4 Resina poliéster	8
2.2 Polimerización de la resina poliéster	10
2.3 Moldeo por contacto	14
2.3.1 Proceso de fabricación de PRFV	17
2.3.1.1 Preparación del molde	17
2.3.1.2 Aplicación del gel coat	17
2.3.1.3 Aplicación del laminado	18
2.3.1.4 Recortado	19
2.3.1.5 Desmolde	19
2.3.1.6 Acabado	19
2.3.2 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de PRFV	20
2.3.3 Control de calidad	21
2.3.3.1 Contenido de vidrio	21
2.3.3.2 Dureza	23
2.3.3.3 Resistencia a la flexión	23
2.3.3.4 Resistencia a la tracción	23
2.3.3.5 Módulo de flexión	23
2.3.3.6 Resistencia química	23
2.3.3.7 Resistencia a la compresión	24
2.3.3.8 Retardo de llama	24
2.3.4 Impacto ambiental	25
2.3.4.1 Desechos	25

2.3.4.2	Emisiones gaseosas	25
2.3.4.3	Disposición de desechos	28
2.3.4.4	Plan de manejo ambiental	29
2.3.4.5	Desarrollo del plan de manejo ambiental	30
2.3.5	Guía de seguridad	34
2.3.5.1	Resina poliéster insaturada	34
2.3.5.1.1	Peligros potenciales	34
2.3.5.1.2	Precauciones generales recomendadas	36
2.3.5.1.3	Medidas de emergencia	37
2.3.5.1.4	Precauciones para su manejo	37
2.3.5.1.5	Primeros auxilios	38
2.3.5.2	Peróxidos orgánicos	39
2.3.5.2.1	Peligros potenciales	39
2.3.5.2.2	Primeros auxilios	39
2.4	Moldeo por aspersión	40
3.	Moldeo por contacto versus moldeo por aspersión	43
3.1	Costo de materia prima	43
3.2	Productividad del trabajo	47
3.3	Costo primo unitario	51
3.4	Inversión adicional de capital fijo	51
3.4.1	Costo de equipo de aspersión	51
4.	Evaluación económica	53
4.1	Método del valor presente de egresos	53
4.1.1	Determinación del punto isocosto	54
4.1.2	Evaluación comparativa del valor presente de egresos	55
5.	Conclusiones	58
6.	Referencias bibliográficas	60
	Apéndice N° 1	61
	Apéndice N° 2	65
	Apéndice N° 3	66

RESUMEN

Los productos de plástico reforzado con fibra de vidrio se caracterizan por su construcción ligera, duradera y extraordinariamente dura, conjuntamente con su excelente resistencia a los agentes químicos. Prácticamente no existen límites de tamaño en los objetos que pueden fabricarse con este material, los cuales destacan por sus propiedades físicas y químicas.

Para la fabricación de estos productos existen diversas técnicas, siendo la más difundida actualmente el proceso de fabricación denominado moldeo por contacto o hand lay-up moulding. En este proceso el molde que puede tener la configuración de macho o hembra, es tratado con agentes desmoldantes, luego se realiza la aplicación del gel coat, después se aplica la resina poliéster y fibra de vidrio, denominado laminado, hasta lograr el espesor deseado. Tradicionalmente, éste proceso se denomina moldeo por contacto, porque las capas sucesivas de fibra de vidrio se colocan manualmente en la superficie del molde.

La finalidad de este trabajo es mostrar otro proceso de fabricación, orientado a tinas hechas con resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio, empleando para ello el método de moldeo por aspersión o spray-up moulding. Este proceso consiste en la aplicación simultánea de resina poliéster y fibra de vidrio cortadas mediante un equipo dispensador de moldeo por proyección. Utilizando este equipo, las fibras de vidrio cortadas entran en la corriente de la resina atomizada y la combinación fibra-resina se aplica sobre la superficie del molde, hasta lograr el espesor adecuado.

Asimismo, se analizará comparativamente los costos implicados por ambos métodos de fabricación (moldeo por contacto y moldeo por aspersión), para determinar cual de ellos es la mejor alternativa.

2. Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRVF)

Es un material compuesto por una resina resiliente y duradera combinada con un vidrio fibroso inmensamente fuerte. La resina constituye el componente principal y normalmente es una resina poliéster, suministrada en forma de líquido viscoso, que fragua y se convierte en masa sólida dura cuando es activada adecuadamente.

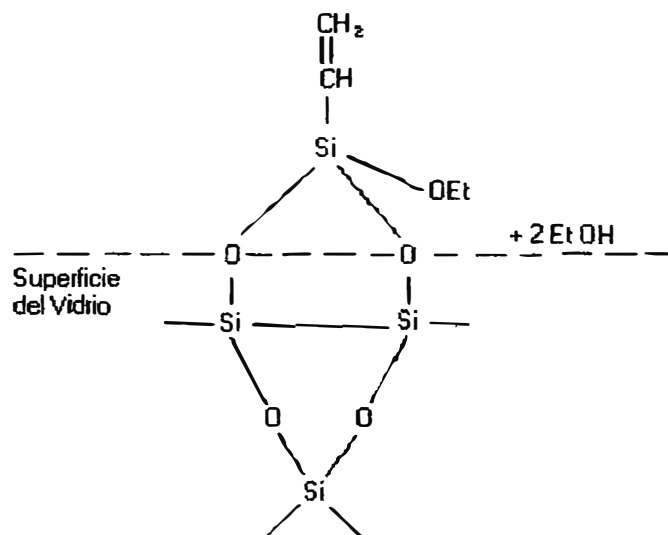
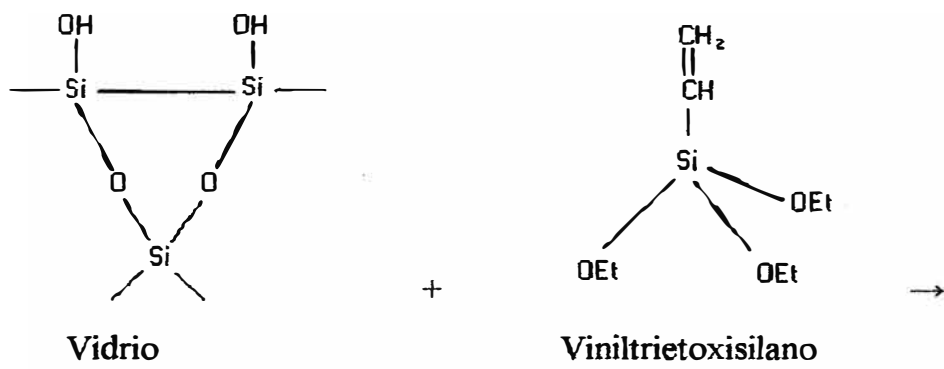
Para la fabricación de productos de plástico reforzado con fibra de vidrio se utiliza un molde de una sola superficie sobre el cual se colocan capas de fibra de vidrio, impregnándolas con resina líquida hasta alcanzar el espesor requerido, formando así un laminado u objeto moldeado. Después de sacar este producto del molde, se puede hacer muchos más del mismo modo.

2.1 Materia Prima empleada en PRFV

2.1.1 Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio empleada es la que ha sido fabricada mediante la atenuación continua del vidrio fundido. Los filamentos continuos de vidrio así obtenidos se agrupan, inmediatamente después del estirado, formando hebras que son recubiertas con un apresto (conteniendo el viniltrietoxisilano como agente potencial de acoplamiento entre el vidrio y la resina poliéster insaturada), según la reacción mostrada en la figura N° 1.

Figura N° 1



Con estas hebras se forma o bien hilos para tejerlos en forma de tela, o bien mechas de fibras. La presentación de la fibra de vidrio en el mercado es, principalmente, como sigue:

- **Mat**

Es una tela no-tejida consistente de hilos de fibra de vidrio cortadas generalmente de 20 – 50 mm de longitud agrupados aleatoriamente en un plano horizontal y unidos con un adecuado aglutinante (generalmente, poliéster en polvo con estearato de zinc). Estos se comercializan en forma de rollos de 50 kg aproximadamente, variando el ancho de 1 a 2 m. La densidad superficial normalmente es 300 ó 450 g/m².

- **Roving Continuo**

Son bobinas cilíndricas que agrupan hilos de fibras de vidrio, denominadas mechas, enrolladas en paralelo, es decir, sin torsión. Típicamente la densidad lineal es de 2400 g/km, consistente de 30 hilos, con un peso por bobina de 20 kg aproximadamente. Las bobinas normalmente tienen dimensiones de 300 mm de diámetro por 250 mm de altura.

- **Roving Tejido**

Es una tela que se obtiene, generalmente, tejiendo bidireccionalmente bobinas de roving continuo. La densidad superficial varía de 300 a 800 g/m², el espesor es aproximadamente 1 mm. Este producto se comercializa normalmente en rollos de 50 kg aproximadamente, con anchos que varían de 1 a 2 m.

La fibra de vidrio es uno de los materiales más fuertes que existen. La carga de rotura de un solo filamento de fibra de vidrio (diámetro 9 – 15 micras) es de alrededor de 3.5 GN/m².

2.1.2 Catalizador

Los catalizadores son generalmente peróxidos orgánicos. Los grupos activos generados por la descomposición del peróxido orgánico son los encargados de abrir los enlaces dobles de la resina poliéster y del monómero de estireno a fin de que éstos puedan reaccionar. El catalizador más usado es el peróxido de metiletilcetona, y se presenta en una solución de dimetil ftalato. También se emplea el peróxido de benzoilo, que se presenta 100% puro o en solución al 50% en dibutil ftalato.

La cantidad a usar varía de 1.00 a 4.00% en peso por cada 100 partes de resina poliéster dependiendo de la reactividad de la resina poliéster.

2.1.3 Acelerador

A temperatura ambiente, los catalizadores forman los grupos activos en una proporción tan baja, que por razones prácticas deben ser acelerados por un acelerador, en la copolimerización entre el poliéster insaturado y el monómero de estireno.

Los aceleradores más empleados son los basados en una sal de cobalto, como el octoato de cobalto (sal de cobalto del ácido octanoico en solvente aromático) o el naftenato de cobalto (sal de cobalto del ácido nafténico en solvente aromático). También se emplean aceleradores que tienen como base una amina terciaria, como la dimetilanilina y la dietilanilina.

Los aceleradores a base de sales de cobalto (6% de concentración en metal) se caracterizan por su coloración

violeta. La cantidad usual de acelerador varía de 0.05 a 3.00% de la cantidad de resina.

2.1.4 Resina Poliéster

Las resinas poliéster insaturadas se fabrican mediante una reacción de polimerización por etapas de glicoles y ácidos o anhídridos insaturados¹:

- GLICOLES

Glicol propilénico.- Bajo costo, buenas propiedades de equilibrio.

Bisfenol A / Glicol propilénico.- Confiere buena resistencia química, alta temperatura de distorsión térmica.

- ACIDOS O ANHÍDRIDOS INSATURADOS

Anhídrido maleíco.- Provee sitios de curado.

Acido fumárico.- Provee mayores sitios de curado, resistencia al impacto.

- ACIDOS O ANHÍDRIDOS SATURADOS

Anhídrido Ftálico.- Bajo costo, provee dureza.

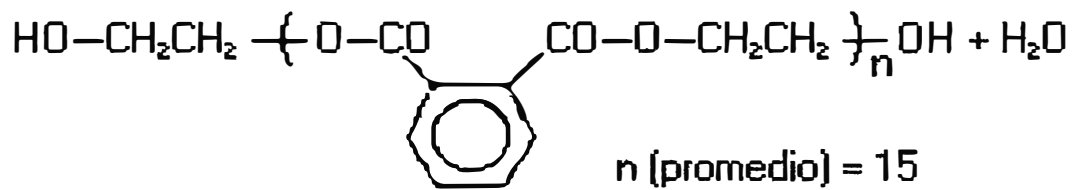
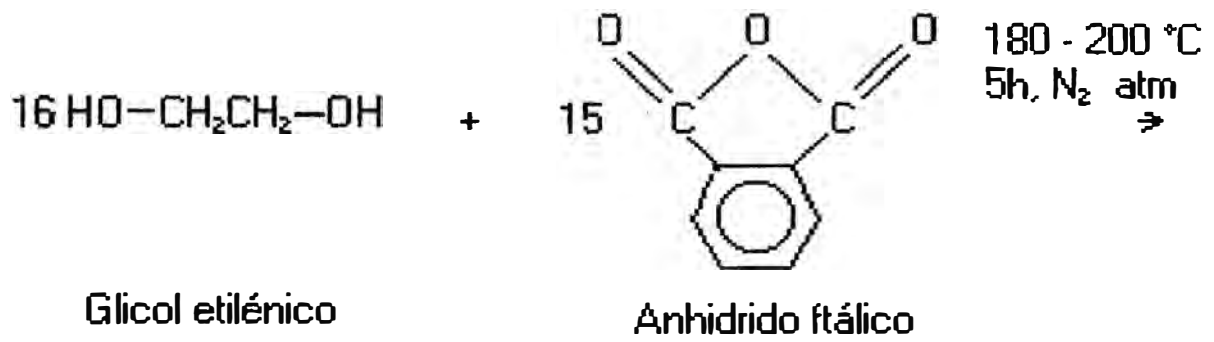
Acido Isoftálico.- Mejora la resistencia química.

Acido Adipíco.- Confiere flexibilidad, dureza.

En la figura N° 2 se muestra una reacción típica para la fabricación de la resina poliéster insaturada.

¹Douglas J. Gardner, Poliéster and Vinyl Ester Resin, www.umaine.edu/adhesion/gardner/5502002/polyester%20resins.pdf

Figura N° 2



Resina poliéster insaturada

La resina poliéster una vez elaborada, para mantenerla en forma fluida, es disuelta en monómero de estireno. La solubilidad de la resina en el monómero de estireno es variable, dependiendo de la formulación de la resina, ésta puede variar de 60 a 70 partes de poliéster por 30 a 40 partes de monómero de estireno. Por lo tanto, se debe tener en consideración, no excederse de esos valores para evitar la separación de fase entre la resina poliéster y el monómero de estireno.

El monómero de estireno actúa como solvente y como reactivo potencial, permitiendo a la resina poliéster polimerizarse a temperatura ambiente por una vía de radicales libres usando un par redox (como el peróxido de metiletilcetona con naftenato de cobalto), sin generación de subproductos, esto es, entrelazando las cadenas del polímero formando una red tridimensional muy compleja.

Las resinas poliéster son inestables. Al cabo de varios meses de almacenamiento acaban coagulándose formando un gel gomoso, incluso a la temperatura ambiente normal. Este período es la duración en el almacén, y varía de un tipo de poliéster a otro. La duración en almacén se reduce bastante a temperaturas superiores a los 25° C. La mayoría de las resinas tienen en promedio una duración de conservación en la oscuridad y a 20° C de tres meses como mínimo, y en algunos casos más de un año.

2.2 Polimerización de la resina poliéster

La reacción de polimerización de una resina poliéster comienza cuando se le agrega un catalizador adecuado. La velocidad de la reacción depende de la resina y de la actividad del catalizador. Sin la

adición de un acelerador, calor o radiación ultravioleta, la resina tiene una duración en el envase de horas o a veces días. Por lo tanto, para realizar la polimerización a temperatura ambiente es necesario añadir un acelerador. La cantidad de acelerador que se añade determina el tiempo que tarda en gelificarse la resina y la velocidad de endurecimiento.

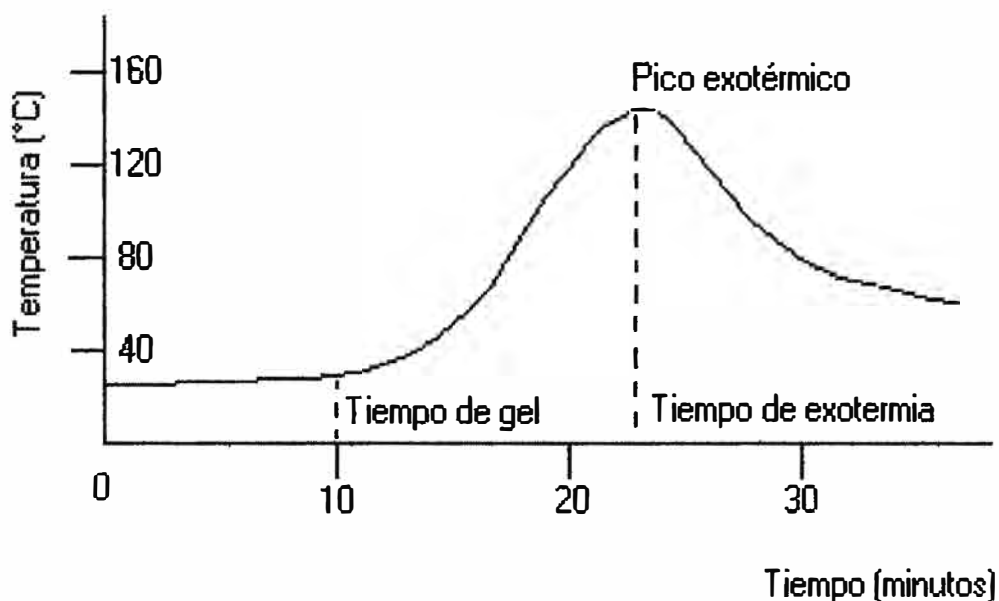
Durante el curso de la polimerización termoestable, el monómero (un líquido viscoso) se transforma dentro de una mezcla de polímero (un material elástico de viscosidad infinita, esto es, dando inicio a la fase conocida como gelificación del polímero, y esencialmente de infinito peso molecular promedio, en virtud al método de medición del peso molecular promedio basado en la dispersión de la luz por partículas pequeñas de polímero geladas¹ . El principio de la gelificación marca la división de la mezcla de polímero en dos partes: una fase gel, la cual es insoluble en todos los solventes no degradantes (monómeros polimerizables como el estireno, metacrilato de metilo, acetato de vinilo, acrilonitrilo), y una fase sol, la cual consiste de pequeñas moléculas y pueden ser extraídas del gel. La gelificación ocurre a diferentes conversiones dependiendo del sistema y de las condiciones de la polimerización. La polimerización continúa más allá del punto gel. La cantidad de la fase gel aumenta a expensas de la fase sol.

En la polimerización de la resina poliéster, considerando la velocidad de reacción como una función del tiempo, tenemos al comienzo un tiempo de inducción, luego de esto, tenemos un rápido aumento en la velocidad de reacción y en el grado de polimerización (numero de unidades en el sistema que reaccionaron del número total de moléculas del sistema), éste aumento repentino en rapidez es pronunciado cuando se forma un polímero de alto peso molecular,

puesto que la viscosidad de la solución aumenta en proporción al peso molecular elevado, en muchos casos, entre la segunda y décima potencia. La disminución de la velocidad de reacción ocurre a causa de limitaciones difusionales, esto es, los radicales libres no pueden encontrar fácilmente otros radicales para terminar la reacción a causa del incremento de la viscosidad.

La reacción de la resina poliéster es exotérmica y el incremento de la temperatura del pico exotérmico puede variar entre 80 a 180 °C en un vaciado sin carga, dependiendo de la reactividad de la resina y la dosis de acelerador y catalizador. Pero en un laminado el aumento de temperatura es bastante menor. La curva exotérmica típica de un vaciado corriente se muestra en la siguiente figura N° 3. Vaciado de 100 gramos de resina sin carga. Se aprecia que la temperatura en el punto gel (inicio de la gelificación del polímero), está en el rango de 30 a 35° C.

Figura N° 3



¹ Rodríguez F., Principles of Polymer Systems, pág 152.

Existen tres fases bien diferenciadas durante el curado que son:

- **Tiempo de gelificación**
Tiempo que transcurre desde la adición del catalizador hasta que la resina cuaja formando un gel blando.
- **Tiempo de endurecimiento**
Tiempo que transcurre desde que fragua la resina hasta el punto en que está lo bastante dura para que el objeto moldeado o el laminado pueda retirarse del molde.
- **Tiempo de maduración**
Tiempo que tarda el objeto moldeado o laminado en adquirir su plena dureza, resistencia química y estabilidad.

En las aplicaciones que precisen la máxima resistencia al calor es esencial la fase de postcurado en etapas, hasta alcanzar la temperatura a que vaya estar sometido el objeto.

Una cantidad de acelerador demasiado baja origina resinas subcuradas y a la vez una baja cantidad de catalizador no permite la obtención de una cura completa de la resina.

El tiempo de gel, pico exotérmico y el tiempo de desmolde de una resina puede ser ajustado a través de una dosis adecuada de catalizadores y aceleradores.

Una dosis excesiva de catalizador puede bloquear o neutralizar la reacción de curado produciendo una resina subcurada.

La polimerización de la resina poliéster involucra el rompimiento de los enlaces de los grupos $-\text{CH}=\text{CH}-$. Durante el laminado de la fibra de vidrio con la resina poliéster (disuelta en monómero de estireno), se producen enlaces del grupo vinil proveniente del apresto de la fibra de vidrio y del monómero de estireno con la resina poliéster.

La reacción en forma esquemática se muestra en la figura N° 4 .

Las propiedades físicas de los plásticos reforzados con fibra de vidrio se muestran en la tabla N° 1.

2.3 Moldeo por Contacto

El moldeo por contacto es el principal proceso de fabricación empleado en la industria de los plásticos reforzados.

Para el moldeo por contacto solo se necesita un molde, que puede ser un molde macho o hembra, dependiendo de cuál de las caras del objeto moldeado ha de quedar lisa.

Los moldes se hacen generalmente de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio, empleando modelos de madera o metal o con yeso sobre un armazón de madera.

Figura N° 4

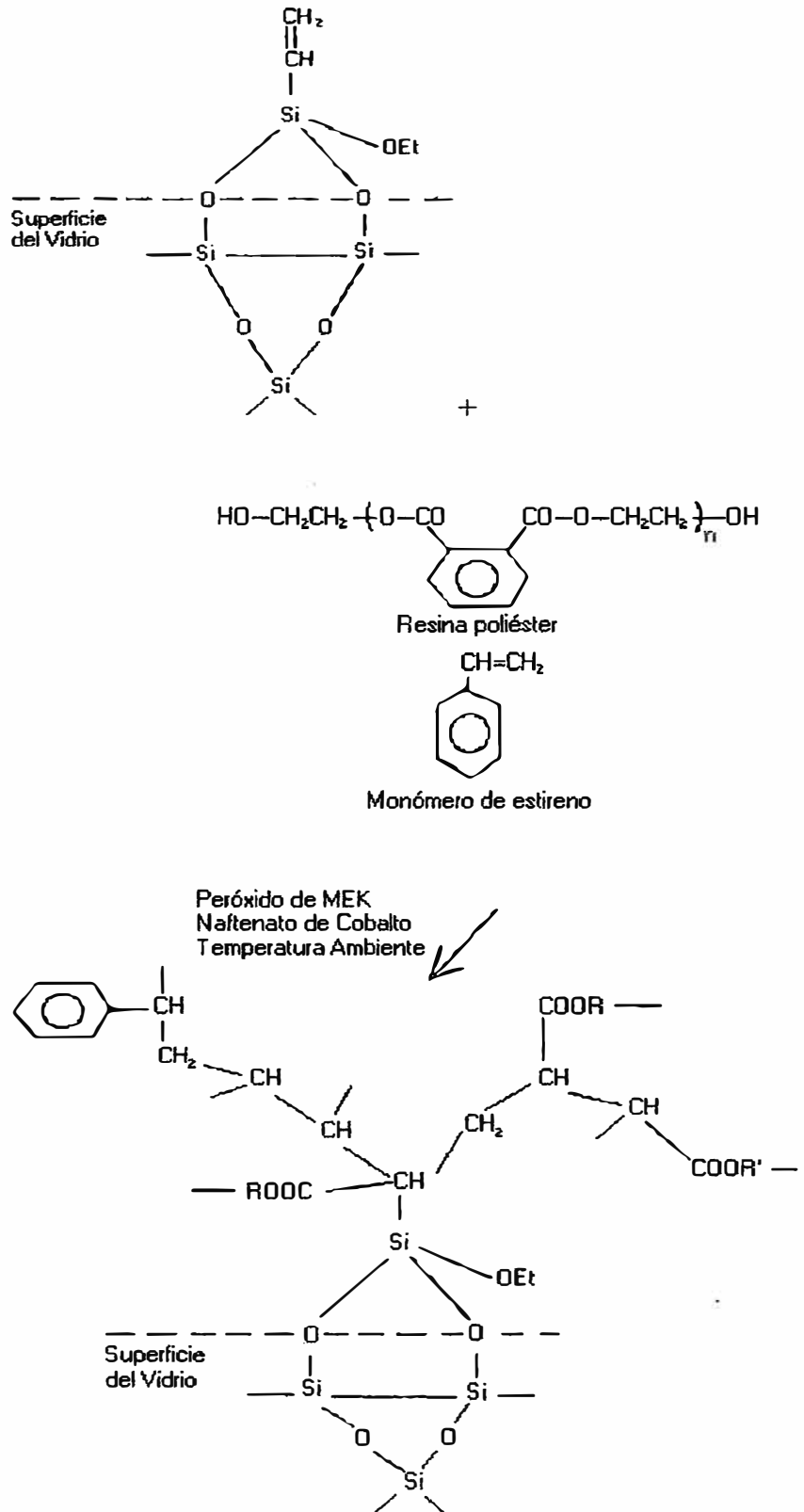


Tabla N° 1

**PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS DE LOS PLÁSTICOS REFORZADOS
CON DISTINTOS TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO**

Propiedades	Unidad	Mat	Roving Tejido	Roving Continuo
Contenido de Vidrio	% peso	30	45	70
Peso específico	g/cm ³	1.4	1.6	1.9
Resistencia a la tracción	MN/m ²	100	250	800
Resistencia a la compresión	MN/m ²	150	150	350
Resistencia a la flexión	MN/m ²	150	250	1000
Módulo de flexión	GN/m ²	7	15	45
Resistencia al impacto, Izod	KJ/m ²	75	125	250
Coefficiente de dilatación lineal	x 10 ⁻⁶ / °C	30	15	10
Conductividad térmica	W/m °C	0.20	0.24	0.29

2.3.1 Proceso de fabricación de PRFV

2.3.1.1 Preparación del molde

El molde está hecho de fibra de vidrio, con una superficie lisa sobre la cual se moldea el artículo que se va a fabricar. La preparación del molde consiste en la aplicación de cera sobre el molde para evitar que el producto moldeado quede unido de forma permanente al molde sobre el que ha sido fabricado.

2.3.1.2 Aplicación del Gel Coat

Consiste en la aplicación de una capa rica en resina, denominada gel coat. La durabilidad de un objeto moldeado de plástico reforzado depende principalmente de la calidad de la superficie expuesta. El tipo de gel coat a emplear dependerá del uso final del producto.

Los tipos de gel coats son:

- **ORTOFTALICOS:** A base de una resina ortoftálica. De uso general donde no hay exigencias de resistencia al agua o a la intemperie.
- **ISOFTALICOS:** A base de una resina isoftálica. Confieren mejor resistencia química, a la corrosión, mayor resistencia y desempeño a la intemperie.
- **ISOFTALICO CON NEOPENTILGLICOL:** A base de una resina con ácido isoftálico y neopentilglicol en una relación apropiada para lograr una mejor resistencia química y al ambiente. Confieren resistencia al impacto, a la abrasión, a cambios térmicos, al manchado, alta resistencia hidrolítica y a la corrosión.

- **VINILESTER:** A base de una resina vinilester. Su alta resistencia química los hace excelentes frente al agua y otros agentes químicos agresivos.

2.3.1.3 Aplicación del Laminado

El laminado consiste en colocar las capas de refuerzo de fibra de vidrio con la resina poliéster. En el moldeo por contacto se emplea la fibra de vidrio en su presentación como mat y/o roving tejido. Esta operación puede comenzar en cuanto la primera capa rica en resina haya endurecido lo suficiente para resistir el ataque del disolvente de la resina de laminación.

Para el proceso de laminación por contacto se utiliza la fibra de vidrio generalmente en su presentación denominada mat, que consiste en fibras de vidrio trozadas y aglomeradas en forma de una manta enrollada, aunque también se pueden usar mechas entreteljadas de fibra de vidrio. El refuerzo de fibra de vidrio se prepara antes de que comience la laminación, puede cortarse en trozos y en las formas que sea necesario para poder colocarlo adecuadamente sobre el molde. La proporción de resina y fibra de vidrio es aproximadamente 2.33:1 en peso (30% de fibra de vidrio en peso).

Se unta con una brocha una capa abundante de resina por encima de la capa gel, lo más uniforme posible, y se aprieta firmemente en posición la primera capa de fibra de vidrio, luego se impregna con más resina utilizando la brocha a modo de puntillazos y se consolida pasando un rodillo. La resina subirá a través de la fibra con bastante facilidad y

disolverá el aglutinante que mantiene unida las fibras. El tejido pierde entonces identidad y se convierte en una distribución aleatoria de fibras que se amoldan fácilmente a los contornos del molde.

2.3.1.4 Recortado

Después de que la resina se ha gelificado se conserva en un estado gomoso blando durante un periodo limitado. En estas condiciones puede recortarse rápidamente las rebabas del laminado a las dimensiones del molde.

2.3.1.5 Desmolde

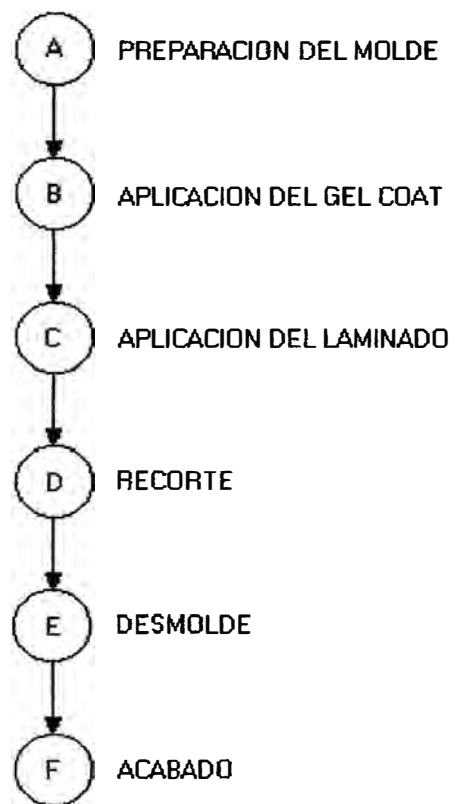
Una vez que el laminado haya curado suficientemente, la pieza moldeada se desmoldará fácilmente dando un tirón, o en caso de formas más complejas, empleando aire comprimido y cuñas de madera blanda entre el molde y el objeto moldeado.

2.3.1.6 Acabado

Para el acabado del producto moldeado, se completa el recorte de las rebabas mediante amoladoras angulares para luego darle el pulido del producto mediante máquinas pulidoras. En esta etapa también se hacen los agujeros del desagüe y rebose.

2.3.2 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de PRFV

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO



2.3.3 Control de Calidad

2.3.3.1 Contenido de Vidrio

El contenido de vidrio se determina de acuerdo a la norma ASTM Designación D 2584 – 67 T , “Tentativa de Método de Ensayo para Pérdida por Ignición de Resinas Reforzadas Curadas”.

Las propiedades mecánicas y químicas de un laminado plenamente curado resultan afectadas más por la relación resina/vidrio que por cualquier otro factor aislado. Ver Tabla N°2.

Como regla general, un contenido alto de vidrio proporciona un laminado de elevada resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor mientras que un alto contenido de resina proporciona un laminado con mejor resistencia a los ataques químicos, al agua y a la intemperie.

Tabla N°2

EFFECTO DEL CONTENIDO DE FIBRA DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES DE LOS LAMINADOS MOLDEADOS POR CONTACTO (VALORES TIPICOS)

Relación Resina: Vidro	en Peso	2:1	2.5:1	3:1
Contenido de vidrio,	% peso	33	29	25
Peso específico,	g/cm ³	1.5	1.45	1.4
Resistencia a la tracción,	MN/m ²	120	100	70
Resistencia a la flexión,	MN/m ²	210	175	140
Módulo en flexión,	GN/m ²	8	6	5
Absorción de agua, 24h	%	0.16	0.14	0.12

2.3.3.2 Dureza

La dureza se determina de acuerdo a la norma ASTM Designación D2583-67, “Método estándar de Ensayo de Dureza por Hincadura de Plásticos por medio de un Impresor Barcol”.

2.3.3.3 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión se determina según el procedimiento A y la Tabla I de la norma ASTM Designación D 790 – 66, “Método Normalizado de Ensayo de las Propiedades de los Plásticos”.

2.3.3.4 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción se determina de acuerdo con la norma ASTM Designación D 638 – 68, “Ensayo para las Propiedades de los Plásticos”.

2.3.3.5 Módulo de flexión

El módulo tangencial de elasticidad en flexión se determina según la norma ASTM Designación D 790 – 66 T.

2.3.3.6 Resistencia química

La resistencia química se realiza según la norma ASTM Designación C 581 – 68, “Método de Ensayo Normalizado para Resistencia Química de Resinas Termoendurentes Usadas en Estructuras Reforzados con Fibra de Vidrio”.

2.3.3.7 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se determina de acuerdo con la norma ASTM Designación D 695 – 63 T, “Tentativa de Método de Ensayo para las Propiedades de Compresión de Plásticos Rígidos”.

2.3.3.8 Retardo de llama

El retardo de llama se determina de acuerdo con la norma ASTM Designación E 84 – 68, “Método de Norma para Ensayo de Características de Combustión de Superficies de Materiales de Construcción”.

Los ensayos arriba mencionados se muestran en el Apéndice N° 1

2.3.4 Impacto Ambiental

2.3.4.1 Desechos

Los desechos producidos por este tipo de industrias consisten básicamente de:

- Emisiones particuladas (polvos)
- Emisiones gaseosas
- Residuos de materias primas
- Aguas servidas y de limpieza
- Basura doméstica e industrial

No hay uso de combustibles, por lo tanto, no hay contaminación por emisión de gases de combustión.

El resumen de las emisiones de una planta de PRFV y las acciones preventivas se muestran en la matriz de impactos ambientales (ver apéndice N° 2).

2.3.4.2 Emisiones gaseosas

Las únicas emisiones gaseosas significativas en esta categoría son los componentes orgánicos. Los componentes vapores orgánicos (VOC) son emitidos desde la superficie de la resina fresca durante el proceso de fabricación y del uso de solventes de limpieza de manos, herramientas, moldes y equipos (usualmente acetona).

- Emisiones de estireno

Las emisiones orgánicas del proceso de fabricación de productos de PRFV ocurre cuando el agente de acoplamiento (monómero) contenido en la resina líquida se evapora durante el curado de la resina. El monómero más usado hasta ahora es el estireno.

Dado que las emisiones resultan de la evaporación del monómero de estireno de la resina no curada, éstas dependen de la cantidad de superficie de resina expuesta al aire y del tiempo de exposición. De este modo, el proceso de aplicación de laminado por aspersión tiene el potencial más alto de emisión de VOC a causa de la atomización de la resina dentro de la niebla creada y de la gran área superficial desde el cual el monómero volátil se puede evaporar.

Los factores que tienen influencia en las emisiones de estireno durante la fabricación de productos de PRFV son la temperatura de la resina, la temperatura ambiente, la velocidad del aire en el área de laminación, el área superficial del molde, la eficiencia de la pistola de atomización de la resina (moldeo por aspersión). Ver tabla N°3.

Tabla N° 3

**FACTORES QUE AFECTAN LAS EMISIONES DE
ESTIRENO DURANTE EL LAMINADO**

FACTORES	EFFECTO EN LAS EMISIONES
Temperatura de la resina	Aumenta las emisiones con la elevación de la temperatura.
Temperatura ambiente	Aumenta las emisiones con el incremento de la temperatura.
Pistola de atomización	Mayor flujo de aire puede incrementar la evaporación resultando en un aumento de las emisiones.
Area superficial del molde	Mayor superficie de aire permite más evaporación en términos de masa total.
Contenido de estireno en la resina	Aumento de emisiones en resinas con mayor cantidad de estireno.

- **Control de emisiones de estireno**

El control de emisiones de estireno del proceso de fabricación de productos de PRFV incluyen:

- * Reducción del estireno contenido en la resina.
- * Mejora de la eficiencia de la pistola de atomización de resina.
- * Uso de resinas con vapor suprimido. Estas resinas contienen ceras que migran a la superficie del laminado durante la etapa de curado, formando una barrera que inhibe la liberación de estireno.

2.3.4.3 Disposición de desechos

- a. Los desechos (basura doméstica e industrial) sólidos tales como envases descartables, cartones, bolsas, trapos se llevan a un relleno sanitario.
- b. Los desechos (polvos) de los filtros del extractor de polvos y el polvo que se deposita en la fábrica, se envasan y se retiran a un relleno sanitario.
- c. No se producen aguas o líquidos residuales.
- d. Las emisiones gaseosas producidas durante la atomización de la resina son enviadas a la atmósfera mediante un extractor a través de una chimenea de gran longitud, a fin de que sean disipadas por las corrientes de aire.

- e. Las emisiones particuladas de polvos producidos durante el esmerilado (parte del acabado), se colectan en los filtros de mangas del extractor de polvos.

2.3.4.4 Plan de Manejo Ambiental

Un plan de manejo ambiental contempla las acciones necesarias para cumplir con las leyes peruanas y regulaciones del medio ambiente vigentes:

- Decreto Legislativo N° 613, “Código del medio ambiente y los recursos naturales”
- Decreto legislativo N° 757, “Ley marco para el crecimiento de la inversión privada”
- Ley N° 26410, “Ley de creación del consejo nacional del ambiente”
- Decreto Supremo N° 019-97-ITINCI, “Reglamento de protección ambiental para el desarrollo de actividades de la industria manufacturera”
- Decreto Supremo N° 044-98-PCM, “Reglamento nacional para la aprobación de estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles”
- Resolución Ministerial N° 108-98-ITINCI, “Guías para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental, Programas de Adecuación y Manejo Ambiental, Diagnóstico Ambiental Preliminar, y Formato de Informe Ambiental”
- Resolución Ministerial N° 024-2001-ITINCI, “Guía de participación ciudadana para la protección ambiental en la industria manufacturera”

- Ley N° 27446, “Ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental”
- Ley N° 27314, “Ley general de residuos sólidos”
- Decreto Supremo N° 033-2000-ITINCI, “Disposiciones para la aplicación del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono”

Además, el plan de manejo ambiental debe mantener o contribuir a mejorar las condiciones prevalecientes del ambiente y entorno de la fábrica dedicada a la producción de plásticos reforzados con fibra de vidrio. El plan de manejo ambiental contempla la prevención y mitigación de efectos negativos de los eventos y condiciones mencionados en 2.3.4.5

El plan de manejo ambiental debe estar siempre acompañado por los programas de seguridad industrial y salud, los cuales contienen objetivos orientados también al medio ambiente.

2.3.4.5 Desarrollo del plan de manejo ambiental

El desarrollo del plan de manejo ambiental debe tomar en cuenta los siguientes efectos reales y/o potenciales generados por este tipo de industrias (PRFV) sobre los componentes del ambiente y un plan de contingencia que cubra las acciones a tomar en una emergencia, sea industrial o ambiental:

- Las emisiones particuladas (polvos) aunque son detenidas por filtros, inciden en el personal. En

principio, causan molestias pasajeras, pero pueden causar alergias.

- Por la naturaleza de los equipos y operaciones, se producen altos niveles de ruidos que pueden afectar a los operadores.
- La fábrica de productos de PRFV debe contar con servicios de energía, agua y desagüe para su personal.
- La operación de este tipo de industrias significa puestos directos e indirectos de trabajo, lo cual es un impacto positivo.
- La fábrica de productos de PRFV deberá ubicarse en zonas industriales.

A fin de minimizar los efectos negativos que podrían generarse en el futuro, el plan de manejo ambiental considera las pautas específicas y orientadoras para lo siguiente:

- a. Mantener áreas restringidas para las actividades de mantenimiento que permitan disminuir el área susceptible de contaminación.
- b. Asegurar que los contratos para las labores de mantenimiento o modificaciones incluyan que los ejecutores de la obra se adecuen al plan de manejo ambiental, indicando la forma como dispondrán de los

productos, de los movimientos de tierra, almacenamiento de cemento y otros insumos contaminantes: residuos de mezcladoras, tamices, instalaciones de su equipo y facilidades conexas. Este plan debe incluir los procedimientos de retiro tanto de sus instalaciones como de desechos de los trabajos cuando éstos terminen.

- c. En base a los resultados del primer análisis que se efectúe, se establecerá la periodicidad de muestreo de aire, líquidos y sólidos, para poder proporcionar a las autoridades las características y volúmenes de los efluentes y/o emisiones que hubiere.
- d. Identificar, en cuanto sea posible, condiciones geológicas o climáticas y ambientales para mejorar el diseño de las futuras construcciones.
- e. Disponer que todas las estructuras tengan un diseño sismo-resistente.
- f. Preparar un plan de contingencia que estructure las acciones a tomar para responder a emergencias, como las fugas de solventes, catalizadores, emisiones de polvo no controladas o vapores producidos por las eventuales fugas que se produzcan en las operaciones, las cuales deberán contar con una descripción de las instalaciones, materiales, precauciones y secuencias de operación de seguridad para evitar siniestros.

- g. Asegurar que las materias primas almacenadas no contaminen el terreno sobre el cual están depositadas, proveyendo las facilidades correspondientes.
- h. Evitar en la mejor forma la exposición del personal a sustancias tóxicas o nocivas.
- i. Asegurar una eficiente extracción de gases de los ambientes operativos en general. Los sistemas de ventilación (bien calibrados) son el medio de control por excelencia de impactos respiratorios.
- j. Detallar los medios de protección personal, como los respiradores con las obligaciones de su utilización, mantenimiento, reposición y supervisión. Se debe asegurar también el uso de guantes y ropa adecuada, dado que los vapores actúan también por contacto y absorción.
- k. Mantener un programa de monitoreo para asegurar el buen funcionamiento de las cabinas extractoras, los filtros y extractores de aire.
- l. Controlar que los desechos sólidos o basura doméstica sean llevados a un relleno sanitario público técnicamente diseñado. Asimismo, evitar que la basura acumulada contamine el terreno.
- m. Desarrollar la preparación ambiental del personal mediante el entrenamiento y capacitación.

- n. Establecer un programa de rondas ambientales con listas de confrontación apropiadas para controlar las condiciones ambientales dentro de los límites de la fábrica, incluyendo entre otros aspectos, las de salud y de seguridad frente a las normas vigentes aplicables.
- o. Presentar recomendaciones para todas las instalaciones que deberán estar sometidas a programas de mantenimiento destinadas a garantizar la continuidad de la producción al minimizar los riesgos de accidentes y ambientales.

2.3.5 Guía de seguridad

2.3.5.1 Resina poliéster insaturada

Las soluciones de resina de poliéster pueden transformarse de su estado de suministro a su estado final sólido o curado usando un catalizador, acelerador, calor o radiación ultravioleta. Para prevenir el gelificado prematuro fuera de control, se añaden a la solución pequeñas cantidades de inhibidores.

2.3.5.1.1 Peligros potenciales

- Toxicidad

Por inhalación del monómero de estireno. En niveles de 800 ppm o más, se convierte en un irritante inmediato de las membranas mucosas y se hace intolerable.

En contacto con la piel, remueven la grasa natural que protege la superficie de la piel, y por lo tanto la hace más débil al ataque bacterial.

Por ingestión, la dosis letal de estireno está en 5 g/kg de resina. La ingestión de estireno puede causar irritación del tracto gastrointestinal, náusea, vómitos, diarrea, depresión del sistema nervioso, letargo, tambaleo, sueño, convulsiones y riesgo de edema pulmonar. En el agua potable el nivel máximo de estireno es de 0.10 mg/lt.

Cualquier efecto causado por la ingestión de aceleradores deberá asociarse más con el solvente que con el propio agente acelerador.

En contacto con los ojos, los efectos pueden ser desde moderados hasta severos. En caso de contacto prolongado, puede producir opacidad de la córnea.

- Fuego y explosión

Los peligros de fuego y explosión con la resina poliéster son debidos al contenido de monómero. La mayoría de las resinas de poliéster están clasificadas como altamente inflamables.

Las resinas de poliéster se suministran con inhibidores para prevenir la polimerización prematura. La polimerización prematura de una gran masa en un envase sellado puede llegar a ser incontrolable y causar explosión. El mismo calor generado por la polimerización sin control puede causar fuego en los vapores altamente inflamables que existan alrededor. Sustancias tales como agentes oxidantes fuertes, como peróxidos orgánicos e inorgánicos, ácido sulfúrico, pentóxido de fósforo, sales ferrosas, es

bien sabido que promueven la polimerización por radicales libres. Contaminantes alcalinos como la soda cáustica remueven los inhibidores de la resina y así incrementan la posibilidad de que ocurra una polimerización sin control.

Las soluciones de resinas de poliéster son malas conductoras de la electricidad, por lo tanto, se pueden generar cargas eléctricas estáticas cuando son transportadas por tubería hacia los envases o hacia el proceso final. Para evitar este fenómeno, se debe evitar demasiada velocidad en el fluido, además de poner contactos a tierra en la tubería y los envases.

Los catalizadores más comúnmente usados son peróxidos orgánicos y los aceleradores son compuestos organo-metálicos y aminas. Bajo ninguna circunstancia deberán mezclarse catalizadores y aceleradores, pues podría resultar una reacción violentamente explosiva.

2.3.5.1.2 Precauciones generales recomendadas

Efectos de vapor de estireno:

25 ppm	Olor detectable.
100 ppm	Mínimo límite de irritabilidad.
200-400 ppm	Efecto irritante pasajero en ojos y nariz.
400-1000 ppm	Mareos, náusea y dolor de cabeza.
1000 ppm	Puede provocar pérdida del conocimiento.

10000 ppm	Puede causar la muerte en menos de 1 hora.
11500 ppm	Mínimo límite de explosividad.

Los aceleradores que básicamente son compuestos de cobalto pueden causar dermatitis alérgica, así como también hipersensibilidad de la piel, cuando se usa naftenato de cobalto específicamente.

2.3.5.1.3 Medidas de emergencia

Para sofocar pequeños fuegos de solución de resina de poliéster, se deben utilizar extintores de polvo químico seco o de espuma.

Los pequeños derrames de resina poliéster se deben limpiar usando tela, papel o absorbentes inertes. Posteriormente estos materiales deberán desecharse ya sea bajo incineración controlada o como relleno de un terreno. Cuando ocurren mayores derrames de resinas poliéster y aceleradores, éstos deberán ser cubiertos con tierra, tierra de diatomáceas o cualquier otro tipo de absorbentes inertes.

2.3.5.1.4 Precauciones para su manejo

Las áreas de trabajo deben tener una excelente ventilación para remover los vapores y el polvo asociados a la manipulación de resinas y a su proceso de curado.

La luz natural difusa es la preferida para la iluminación de las áreas de trabajo, ya que la luz solar directa sobre un sistema de resina de poliéster puede causar un gelificado prematuro. La luz fluorescente o de neón deberá instalarse a cierta distancia de los sistemas de resina debido al efecto de los rayos ultravioletas emitidos por este tipo de iluminación.

Durante el corte y el pulido se debe tener especial cuidado en evitar la inhalación del polvo producido, bien sea utilizando mascarillas o utilizando un buen sistema de extracción.

2.3.5.1.5 Primeros auxilios

En caso de inhalación de vapores nocivos, remover a la persona afectada hacia áreas de aire fresco, mantenerla abrigada y quieta. Dar respiración artificial si se hace necesario.

En caso de ingestión, no inducir al vómito. Llamar a un médico de inmediato.

En caso de contacto con la piel, limpiar rápidamente con un pedazo de tela o papel absorbente. Lavar la piel con agua y jabón.

En caso de salpicadura en los ojos, lavar los ojos cuidadosamente con agua limpia por un mínimo de 10 minutos. Acudir al médico inmediatamente.

2.3.5.2 Peróxidos orgánicos

2.3.5.2.1 Peligros potenciales

- Fuego y explosión

Los peróxidos orgánicos son agentes altamente oxidantes, son combustibles y se encienden vigorosamente. Cuando los peróxidos orgánicos se descomponen, grandes cantidades de gas son producidos, si se almacena o se manipula en recipientes cerrados puede ocurrir una explosión.

- Reactividad

Siendo agentes oxidantes, pueden reaccionar violentamente con aceleradores y con sales de metales pesados, agentes reductores, ácidos, bases y materias inflamables. Pueden presentar reacciones de descomposición a cualquier temperatura. Pueden causar autoignición al contacto con materiales orgánicos, bajo condiciones de poca pérdida o disipación de calor.

2.3.5.2.2 Primeros auxilios

En caso de ingestión, enjuagar abundantemente la boca con agua fresca pero no tragar. Luego tomar abundante agua. Si pasa mucho tiempo desde su ingestión, induzca al vómito y luego proporcione leche de magnesia.

En caso de salpicadura en los ojos, lavar inmediatamente con abundante cantidad de agua o solución salina normal (1 litro de agua y una

cucharadita de sal de cocina), durante un mínimo de 15 minutos. No usar aceites o ungüentos.

En caso de inhalación, remover a la persona hacia áreas de aire fresco, mantenerla abrigada y quieta.

En caso de salpicaduras en la piel, remover las ropas contaminadas en caso de que existan. Lavar copiosamente la piel con agua, no usar ni jabón ni solventes.

En caso de fuego, lo mejor es cubrirlo. Un rociador de agua es lo recomendado en estos casos que, mientras enfría, extingue.

En caso de derrames, detener el avance con materiales absorbentes inorgánicos, como tierra de diatomáceas, arena seca o tierra.

2.4 Moldeo por Aspersión

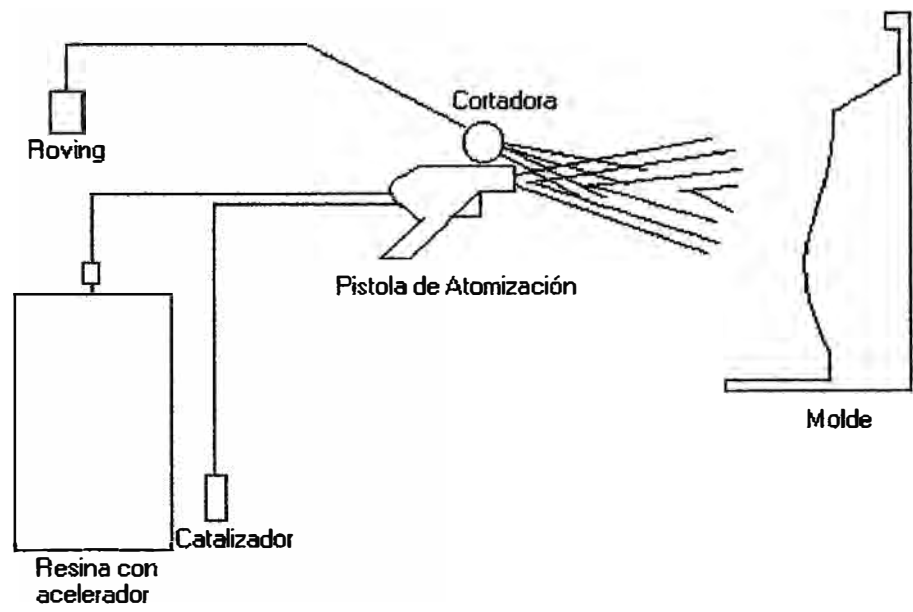
El moldeo por aspersión es una versión mecanizada de la aplicación del laminado, para lo cual se utiliza un equipo que contiene una pistola para atomizar la resina y un cortadora para la fibra de vidrio. Las fibras de vidrio cortadas en largos predeterminados se proyectan en la corriente de resina atomizada y éstas son depositadas simultáneamente hasta lograr el espesor deseado del laminado en la superficie del molde (al cual previamente se ha aplicado el gel coat), ver figura N°5.

Para asegurar la apropiada compactación de la resina con la fibra de vidrio se remueven las burbujas de aire formadas mediante una operación que emplea rodillos especialmente diseñados para este fin, y de esta manera se logra humectar completamente la fibra de vidrio antes que la resina cure.

A diferencia del moldeo por contacto, en esta etapa se emplea la fibra de vidrio en su presentación como Roving Continuo. La proporción de resina y fibra de vidrio es aproximadamente 2.03:1 (33% de fibra de vidrio en peso).

Todas las etapas previas y posteriores a la aplicación del laminado en el proceso de fabricación de productos de plásticos reforzados con fibra de vidrio son similares a lo expuesto en el acápite anterior.

Figura N° 5



MOLDEO POR ASPERSION

3. Moldeo por Contacto versus Moldeo por Aspersión

Para efectuar esta comparación se ha tomado como base la producción de una tina fabricada con resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, empleando para ello los dos métodos de fabricación.

Las dimensiones del molde de una tina estándar son como siguen:

Largo	:	1.50 mt	
Ancho	:	0.80 mt	
Profundidad	:	0.41 mt	
Area	:	2.50 mt ²	(superficie del laminado)

3.1 Costo de Materia Prima

a. Cálculo de Materia Prima que interviene en la producción de una tina por el Método de Moldeo por Contacto (espesor de tina: 3 mm) :

- Fibra de Vidrio – Mat 450 (2 capas)

$$W \text{ (Kg)} = \text{Area de Laminado} \times \text{Densidad Mat 450} \times 2$$

$$W \text{ (Kg)} = 2.50 \text{ mt}^2 \times 0.450 \text{ Kg / mt}^2 \times 2$$

$$W \text{ (Kg)} = 2.25$$

- Fibra de Vidrio – Mat 300 (1 capa)

$$W \text{ (Kg)} = \text{Area de Laminado} \times \text{Densidad de Mat 300}$$

$$W \text{ (Kg)} = 2.50 \text{ mt}^2 \times 0.300 \text{ Kg / mt}^2$$

$$W \text{ (Kg)} = 0.75$$

- Gel Coat

$$W \text{ (Kg)} = \text{Area de Laminado} \times \text{Poder Cubriente Gel Coat}$$

$$W \text{ (Kg)} = 2.50 \text{ mt}^2 \times 0.600 \text{ Kg / mt}^2$$

$$W \text{ (Kg)} = 1.50$$

- Resina Poliester

$$W(\text{Kg}) = \text{Total Mat (300/450) Kg} \times 70/30 \text{ (Resina/Fibra)}$$

$$W(\text{Kg}) = 3.00 \text{ Kg} \times 2.33$$

$$W(\text{Kg}) = 7.00$$

- Naftenato de Cobalto

$$W(\text{Kg}) = 0.10\% \times W(\text{Gel Coat}) + 0.25\% \times W(\text{Resina Poliéster})$$

$$W(\text{Kg}) = 0.10\% \times 1.50 \text{ Kg} + 0.25\% \times 7.00 \text{ Kg}$$

$$W(\text{Kg}) = 0.019$$

- Peróxido de Mek

$$W(\text{Kg}) = 1.50\% \times W(\text{Gel Coat}) + 1.50\% \times W(\text{R.Poliéster})$$

$$W(\text{Kg}) = 1.50\% \times 1.50 \text{ Kg} + 1.50\% \times 7.00 \text{ Kg}$$

$$W(\text{Kg}) = 0.128$$

b. Cálculo de Materia Prima que interviene en la producción de una tina por el Método de Moldeo por Aspersión (espesor: 3 mm):

- Fibra de Vidrio – Roving Continuo

$$W(\text{Kg}) = W(\text{Equivalente al Mat 300/450})$$

$$W(\text{Kg}) = 3.00$$

- Gel Coat

$$W(\text{Kg}) = \text{Area de Laminado} \times \text{Poder Cubriente Gel Coat}$$

$$W(\text{Kg}) = 2.50 \text{ mt}^2 \times 0.600 \text{ Kg} / \text{mt}^2$$

$$W(\text{Kg}) = 1.50$$

- Resina Poliéster

$$W(\text{Kg}) = W(\text{Roving Continuo}) \text{Kg} \times 67/33 \text{ (Resina/Fibra)}$$

$$W(\text{Kg}) = 3.00 \text{ Kg} \times 2.03$$

$$W(\text{Kg}) = 6.09$$

- Naftenato de Cobalto

$$W \text{ (Kg)} = 0.10\% \times W(\text{Gel Coat}) + 0.25\% \times W(\text{Resina Poliéster})$$

$$W \text{ (Kg)} = 0.10\% \times 1.50 \text{ Kg} + 0.25\% \times 6.09 \text{ Kg}$$

$$W \text{ (Kg)} = 0.017$$

- Peróxido de Mek

$$W \text{ (Kg)} = 1.50\% \times W(\text{Gel Coat}) + 1.50\% \times W(\text{Resina Poliéster})$$

$$W \text{ (Kg)} = 1.50\% \times 1.50 \text{ Kg} + 1.50\% \times 6.09 \text{ Kg}$$

$$W \text{ (Kg)} = 0.114$$

La tabla N°4 muestra los costos de materia prima en la fabricación de una tina de PRFV por el método de moldeo por contacto y por el método de moldeo por aspersión.

TABLA N° 4
CUADRO DE COSTOS DE MATERIA PRIMA

1. MOLDEO POR CONTACTO

DESCRIPCION DE MATERIA PRIMA	MATERIA PRIMA TEORICO (KG)	EFICIENCIA DE APLICACIÓN (%) ₁	MATERIA PRIMA USADA (KG)	COSTO M.PRIMA \$ / KG ₂	COSTO TOTAL \$
FIBRA DE VIDRIO – MAT 450 (2 capas)	2.250	95.5%	2.356	2.60	6.13
FIBRA DE VIDRIO – MAT 300 (1 capa)	0.750	95.5%	0.785	3.00	2.36
GEL COAT	1.500	75.0%	2.000	5.50	11.00
NAFTENATO DE COBALTO (para gel coat)	0.002	75.0%	0.002	8.50	0.02
NAFTENATO DE COBALTO (para resina)	0.018	96.0%	0.018	8.50	0.15
PEROXIDO DE MEKP (para gel coat)	0.023	75.0%	0.030	4.00	0.12
PEROXIDO DE MEKP (para resina)	0.105	95.5%	0.110	4.00	0.44
RESINA POLIÉSTER	7.000	95.5%	7.330	1.75	12.83
TOTAL / TINA	11.65		12.63		33.04

2. MOLDEO POR ASPERSIÓN

DESCRIPCION DE MATERIA PRIMA	MATERIA PRIMA TEORICO (KG)	EFICIENCIA DE APLICACIÓN (%) ₁	MATERIA PRIMA USADA (KG)	COSTO M.PRIMA \$ / KG ₂	COSTO TOTAL \$
FIBRA DE VIDRIO -ROVING CONTINUO	3.000	85.0%	3.529	2.00	7.06
GEL COAT	1.500	75.0%	2.000	5.50	11.00
NAFTENATO DE COBALTO (para gel coat)	0.002	75.0%	0.002	8.50	0.02
NAFTENATO DE COBALTO (para resina)	0.015	90.0%	0.017	8.50	0.14
PEROXIDO DE MEKP (para gel coat)	0.023	75.0%	0.030	4.00	0.12
PEROXIDO DE MEKP (para resina)	0.091	90.0%	0.102	4.00	0.41
RESINA POLIÉSTER	6.091	90.0%	6.768	1.75	11.84
TOTAL / TINA	10.72		12.45		30.59

₁ Datos tomados de "Boletín Informativo N° 5 - Octubre de 1997 - ANDERCOL S.A. - Colombia".

₂ Precios del mercado nacional sin I.G.V., 2002.

3.2 Productividad del trabajo

En el moldeo por contacto los datos de la cadencia (tiempo necesario para producir una unidad) para la producción de una tina de PRFV, se han adquirido en base a información de fábricas de PRFV. Luego se ha calculado la productividad del trabajo.

Para efectos de comparación, en el moldeo por aspersión, la variable sólo es la cadencia en la aplicación del laminado. La aplicación del laminado considera la complejidad de la pieza (ya sea simple, compleja o crítica). A su vez, el grado de complejidad de la pieza se puede correlacionar con el factor “cn”, ver figura N° 6. Estableciendo el grado de complejidad de la pieza, podemos obtener el factor “cn”, con el cual se calcula el tiempo de moldeo.

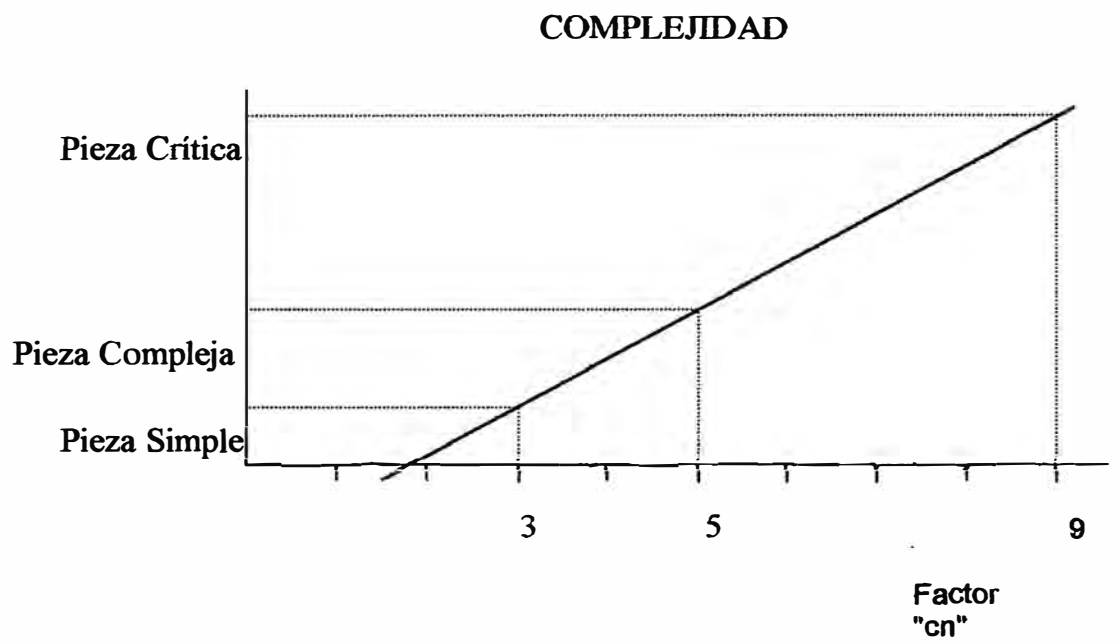
El factor empírico “cn” se ha establecido teniendo en cuenta la mayor o menor dificultad para el moldeo de una pieza, según su forma y accesibilidad de trabajo y que según su naturaleza influirá directamente en los costos de transformación. Se han definido en 3 categorías la configuración de partes para el sistema de aspersión:

c1 = 3, para piezas simples (comprende la mayoría de superficies planas con pequeños cambios de plano, ángulos, esquinas y recodos mínimos).

c2 = 5, para piezas complejas (incluye curvas y áreas de difícil acceso).

c3 = 9, para piezas críticas (prácticamente todos los ángulos rectos, agudos y áreas de difícil acceso con secciones pequeñas).

Figura N° 6



El tiempo de aspersión (t_a) se calcula por la siguiente fórmula:

$$t_a = \text{Peso total de materiales (Kg)} / \text{Velocidad de aspersión (Kg/min)} + 3 \text{ min}$$

El tiempo de moldeo (t_m), que es el tiempo de asentamiento y compactación de las fibras contra el molde, se calcula con la siguiente fórmula:

$$t_m = c_n \times t_a$$

Para la fabricación de una tina de PRFV, se ha considerado lo siguiente:

$$\text{Velocidad de aspersión} = 3 \text{ Kg} / \text{min}$$

$$c_n = 4$$

Con estos valores se ha elaborado la tabla N° 5, en la cual se muestra para ambos métodos de producción, la productividad del trabajo (productividad parcial).

Tabla N° 5

PRODUCTIVIDAD DEL TRABAJO

1. MOLDEO POR CONTACTO

OPERACIÓN	CADENCIA MINUTOS / TINA	N° OPERARIOS	HR-HOMBRE HH / TINA
APLICACIÓN DE CAPA GEL	30	1	0.50
APLICACIÓN DE LAMINADO	100	1	1.67
ACABADOS	80	1	1.33
TOTAL	210		3.50

PRODUCTIVIDAD
PARCIAL1 / (HR-HOMBRE
TOTAL / TINA)PRODUCTIVIDAD
PARCIAL

0.29

TINA / HH

2. MOLDEO POR ASPERSIÓN

OPERACIÓN	CADENCIA MINUTOS / TINA	N° OPERARIOS	HR-HOMBRE HH / TINA
APLICACIÓN DE GEL COAT	30	1	0.50
APLICACIÓN DE LAMINADO	25.9	1	0.43
ACABADOS	80	1	1.33
TOTAL	135.89		2.26

PRODUCTIVIDAD
PARCIAL1 / (HR-HOMBRE
TOTAL / TINA)PRODUCTIVIDAD
PARCIAL

0.44

TINA / HH

3.3 Costo primo unitario

El costo primo unitario en la producción de una tina de PRFV por ambos métodos de fabricación, se muestra en la tabla N° 6, en la cual se indica comparativamente la incidencia del costo de materia prima y el costo de la mano de obra directa involucrada.

Tabla N° 6

COSTO PRIMO UNITARIO

DESCRIPCION	MOLDEO POR CONTACTO	MOLDEO POR ASPERSIÓN
PRODUCTIVIDAD PARCIAL (TINA/HH)	0.29	0.44
COSTO DE HORA-HOMBRE (\$/HH) ₁	1.46	1.46
MANO DE OBRA DIRECTA (\$/TINA)	5.11	3.31
COSTO DE MATERIA PRIMA (\$/TINA)	33.04	30.59
COSTO PRIMO UNITARIO (\$/TINA)	38.15	33.90

₁En base a un ingreso mensual de \$ 300 / mes.

3.4 Inversión adicional de capital fijo

3.4.1 Costo de equipo de aspersión

Las características típicas de un equipo dispensador de fibra de vidrio y de resina es como sigue:

Flujo volumétrico de aire necesario	25 pies ³ /min a 100 psi
Flujo másico de fibra cortada	3.2 Kg/min
Flujo volumétrico de resina	2.5 gpm
Rango de salida de catalizador	0.5% - 4.5%

Un equipo como el descrito arriba tiene un precio F.O.B. en Miami (U.S.A) de \$ 6200.00¹. Con este valor, se puede deducir el costo de fábrica como sigue:

Costo F.O.B. Miami	6200.00
Flete Marítimo (10%)	620.00
Seguro (1%)	<u>62.00</u>
Costo C.I.F. Callao	6882.00
Ad-valorem (15%)	1032.30
Gastos de Aduana (2%)	137.64
Inspección (1%)	<u>68.82</u>
Costo de Fábrica	8120.76

¹ Precio dado por el Departamento de Ventas de GLAS-CRAFT (U.S.A.), Febrero 2002.

4. Evaluación Económica

4.1 Método del valor presente de egresos

Para evaluar la incidencia de la inversión adicional en el equipo para el proceso de laminado por aspersión, así como los costos implicados en ambos métodos de fabricación se aplicará la siguiente ecuación:

$$FEG_i = EGi - VS_i + INV_i \quad (1)$$

donde:

FEG Flujo de Egresos

i Año (0, 1, 2, 3, ..., n)

EG Egresos (Gastos de producción, administrativos, ventas)

VS Valor de Rescate

INV Inversión

Se hallará el valor presente de egresos para cada método de fabricación y se determinará como la mejor alternativa, aquella cuyo valor presente de egresos (costos) sea el menor. La ecuación¹ a utilizar es:

$$VPEG_{TD,0} = \sum_{i=0}^n FEG_i / (1 + TD)^i \quad (2)$$

donde:

VPEG Valor presente de egresos en el año 0

TD Tasa de descuento anual

i Año (0,1,2,n)

FEG Flujo de egresos

¹ Porras E., Evaluación Económica, página 73, 2001.

Consideraciones:

• Inversión en equipo de aspersión, I	(\$)	8120.76
• Costo de mantenimiento anual, equipo de asp., M	(\$)	974.52
• Costo operativo anual adicional, equipo de asp., C	(\$)	600.00
• Tasa de descuento anual, τ_D	(%)	12.00
• Tasa impositiva (Impuesto a la Renta), t	(%)	30.00
• Costo Primo Unitario CPU_{MC} , Moldeo por contacto	(\$/tina)	38.15
• Costo Primo Unitario CPU_{MA} , Moldeo por aspersión	(\$/tina)	33.90
• Valor de rescate del equipo de asp., VS	(\$)	812.08
• Horizonte de Planeamiento, H	(años)	10.00
• Depreciación lineal, $D=(I-VS)/H$	(\$)	730.87

4.1.1 Determinación del punto isocosto

Para determinar este punto en el cual las alternativas de fabricación resultan equivalentes, se halla la producción de tinas de PRFV que hace que la fórmula del valor presente de egresos para ambos métodos sean iguales.

El Valor Presente de Egresos para el método de moldeo por contacto se halla con la siguiente ecuación:

$$VPEG_{\tau_D,0} = \sum_{i=1}^{10} CPU_{MC} * Q_i * (1-t) / (1 + \tau_D)^i \quad (3)$$

Donde :

Q_i Producción anual de tinas de PRFV en el año i.

El Valor Presente de Egresos para el método de moldeo por aspersión se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{VPEG}_{\text{TD},0} = I_0 + \sum_{i=1}^9 [\text{CPU}_{\text{MA}} * Q_i + M_i + C_i] * (1-t) - D_i * t / (1 + \text{TD})^i + \\
 [\text{CPU}_{\text{MA}} * Q_{10} + M_{10} + C_{10} - \text{VS}] * (1-t) - D_{10} * t / (1 + \text{TD})^{10}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Donde :

Q_i Producción anual de tinajas de PRFV en el año i .

Para igualar ambas ecuaciones, asumimos una producción de tinajas de PRFV equivalentes en todo el horizonte de planeamiento.

De este modo, ambas alternativas de fabricación resultan equivalentes para una producción de tinajas de PRFV de

$$Q = 768 \text{ tinajas / año}$$

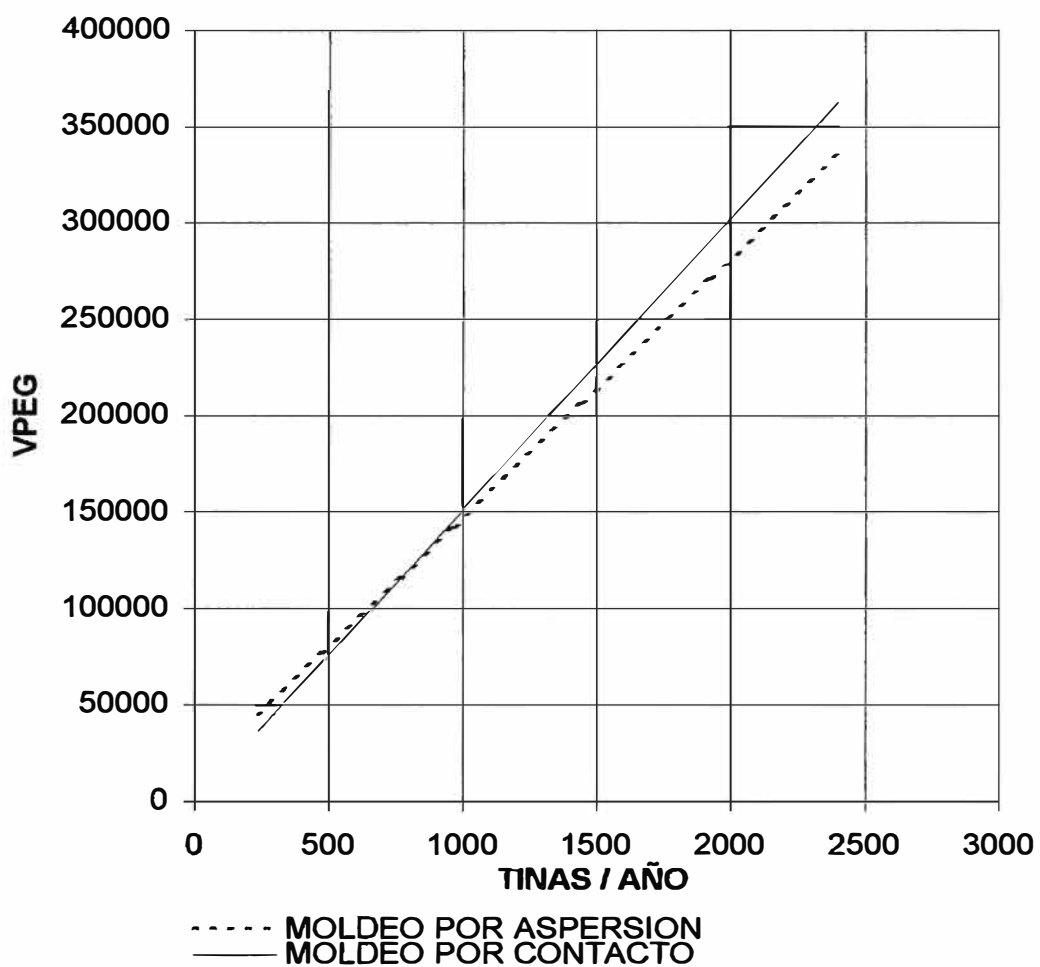
4.1.2 Evaluación comparativa del valor presente de egresos

El valor presente de egresos de ambos métodos de fabricación para diferentes niveles de producción anuales, se obtienen con las fórmulas correspondientes dadas en el acápite 4.1.1. y se muestran en el Apéndice N° 3. Los resultados se muestran en la tabla N° 7 y se han graficado en la figura N°7.

Tabla N° 7

PRODUCCION TINAS / AÑO	VALOR PRESENTE DE EGRESOS (\$)	
	MOLDEO POR ASPERSION	MOLDEO POR CONTACTO
240	45101.43	36214.02
480	77276.52	72428.03
768	115886.63	115884.85
960	141626.70	144856.06
1440	205976.88	217284.10
1920	270327.07	289712.13
2400	334677.25	362140.16

Figura N° 7

VALOR PRESENTE DE EGRESOS

5. CONCLUSIONES

- 5.1 El moldeo por aspersión resulta económicamente más rentable, para un nivel de producción por encima de 768 tinas anuales.
- 5.2 El moldeo por contacto es el método usado más difundido, no obstante ser económicamente más atractivo sólo para bajos niveles de producción.
- 5.3 El moldeo por aspersión es el más adecuado para cumplir con demandas de producción elevadas, debido a su mejor productividad; mientras que en el moldeo por contacto se haría necesario la capacitación de personal nuevo o la contratación de personal capacitado, para cumplir un nivel elevado de producción.
- 5.4 Las tinas de PRFV fabricadas con el método de moldeo por aspersión tienen mejores propiedades físicas (resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión) que las fabricadas con el método de moldeo por contacto, debido a su mayor contenido de fibra de vidrio (33% versus 30%, respectivamente); sin embargo, las tinas de PRFV fabricadas con el método de moldeo por contacto, tienen mejor resistencia al agua y a los ataques químicos, debido a su mayor contenido de resina.
- 5.5 Normalmente las fábricas que usan en su producción la resina poliéster reforzada con fibra de vidrio, tienen una variedad de líneas de productos, los cuales se deben analizar en conjunto, a fin de establecer de acuerdo a la mezcla de producción el método de fabricación económicamente más adecuado.
- 5.6 Cuando se opte por la fabricación de productos de PRFV mediante el método de moldeo por aspersión fundamentalmente, se deben tener en cuenta una ventilación adecuada con aire fresco y una extracción eficiente de aire

contaminado en el área de laminado, a fin de expulsar los vapores de estireno generados durante la aplicación del laminado.

5.7 Existe una política generalizada, principalmente en Europa y Norteamérica, para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. Por lo tanto, es importante considerar el uso de resinas poliéster de baja emisión de estireno en la fabricación de productos de PRFV.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Loewenstein K.L., The Manufacturing technology of continuous glass fibres, Holanda, 1973, pág 203.
- Rodriguez F., Principles of Polymer Systems, 2a edición, editorial El Manual Moderno S.A., 1984, pág 435.
- Orrego N.; Vélez R., Manual de Aplicación del Poliéster CRISTALAN^R Reforzado con Fibra de Vidrio (Moldeo Por Contacto), Colombia.
- Andercol, Moldeo por Aspersión, Boletín CRISTALAN^R # 5, 1997, pág 2.
- Young B.; Powers M., Polyester Resin Operation, Enero 2001, pág 3.
- NBS Voluntary Product Standard PS1569, Department of Commerce, U.S.A., Página 22.
- Porras E., Evaluación Económica, 2001.

APENDICE N° 1

METODOS DE ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS DE PRFV:

Muestras.- En los casos que hubiera descartes del laminado normal, se cortarán muestras de los mismos para efectuar los ensayos. En caso contrario, se extraerán de laminados planos preparados durante la construcción de los objetos, con la misma construcción y técnicas empleadas.

Acondicionamiento.- Las muestras para ensayos se acondicionarán de acuerdo con la norma ASTM Designación D 618, procedimiento A, “Métodos normalizados de acondicionamiento para ensayos de materiales plásticos y aislantes eléctricos”

Ensayos:

- Contenido de Vidrio

Las muestras serán de 65 mm² aproximadamente, para las cuales se recomienda una preignición a baja temperatura previa a la colocación en la mufla. Se deberá considerar el promedio de 5 muestras para la determinación del contenido de vidrio.

- Resistencia a la tracción

Los espesores de las muestras deberán ser los del artículo fabricado y el ancho será de 25.4 mm.

Otras dimensiones de muestras serán las establecidas por la norma ASTM para muestras tipo I correspondientes a materiales de 12.7 a 25.4 mm, inclusive. Las superficies de las muestras no deberán

maquinarse. La resistencia a la tracción deberá ser el promedio de 5 muestras ensayadas a una velocidad de 0.20 a 0.25 metros por minuto.

- Resistencia a la flexión y módulo de flexión

Los espesores de las muestras deberán ser los del artículo fabricado y el ancho será de 25.4 mm. Otras dimensiones de muestras serán las designadas por la norma ASTM. Las superficies de las muestras no deberán maquinarse. Los ensayos se efectuarán con la cara rica en resina trabajando a la compresión. La resistencia a la flexión se determinará mediante el ensayo de 5 muestras.

- Dureza

La calibración del impresor Barcol se verificará por comparación con una muestra patrón, es decir, que posea una lectura conocida de 85 – 87. Se efectuará 10 lecturas sobre la superficie limpia rica en resina. Luego de eliminar los dos valores altos y los dos bajos se determinará el promedio de los restantes, siendo este último valor el que se debe informar.

- Resistencia Química

Este ensayo se recomienda para productos fabricados que estarán expuestos al ataque de agentes químicos.

El laminado para ensayo normal deberá ser curado a temperatura ambiente durante 16 horas. Si es necesario se hará un postcurado a temperatura ambiente o superior, para producir una dureza Barcol igual al mínimo especificado por el productor para la resina curada.

Los ensayos pueden efectuarse a cualquiera de las siguientes temperaturas: 23, 50, 70 y 100° C ($\pm 2^\circ$ C).

Para obtener datos comparativos de resistencia química se sugieren los siguientes reactivos. Las soluciones de ensayo no deberán agitarse, por lo tanto, las exposiciones se mantendrán bajo condiciones estáticas.

- 1.- Acido Sulfúrico al 25%
- 2.- Acido Clorhídrico al 15%
- 3.- Acido Nítrico al 5%
- 4.- Acido Acético al 25%
- 5.- Acido Fosfórico al 15%
- 6.- Hidróxido de Sodio al 5%
- 7.- Carbonato de Sodio al 10%
- 8.- Cloruro de Sodio saturado
- 9.- Etanol al 95%
- 10.- Hipoclorito de Sodio al 2.25%*
- 11.- Sulfato Potásico al 5%
- 12.- Acetato de etilo
- 13.- Metiletilcetona
- 14.- Monoclorobenceno
- 15.- Perclorobenceno
- 16.- n-Heptano
- 17.- Kerosene
- 18.- Tolueno
- 19.- Peróxido de Hidrógeno al 5%*
- 20.- Agua destilada

* Reemplazado cada 48 horas por una solución nueva.

Con un grupo de muestras, inmediatamente después del curado, sumergidas en las soluciones durante 30, 90, 180, 360 días, se determinarán a cada intervalo de tiempo el espesor, dureza Barcol, resistencia a la flexión, módulo y apariencia.

Las observaciones de apariencia incluirán cualquier cambio superficial, cambio de color, ablandamiento o endurecimiento, rajaduras, delaminación, exposición de fibras, cualquier otro defecto indicador de fallas potenciales o degradación completa. El cálculo porcentual de una propiedad se basará en el valor de la misma, obtenido inmediatamente después del periodo de curado.

Con otro grupo de muestras luego del envejecimiento en aire a la temperatura de ensayo durante el periodo total de ensayo.

Los datos se informarán en forma tabulada para todos los parámetros ensayados. La composición, incluyendo resinas, aceleradores, catalizadores y refuerzos con las condiciones de fabricación y curado del laminado ensayado, se deberán escribir adecuadamente.

APENDICE N° 2

MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES

AREA	CAUSA	IMPACTO					ACCIONES PREVENTIVAS
		EMISION	ALCANCE	MEDIO	SEVERIDAD	CARÁCTER	
APLICACIÓN DEL GEL COAT	Evaporación de solventes	Gaseosa	Interior	Humano	Moderada	Permanente	Extractor, máscara protectora
			Exterior	Humano	Fuerte	Permanente	Chimenea alta
APLICACIÓN DEL LAMINADO	Material desprendido durante manipulación	Particulada	Interior	Humano	Fuerte	Permanente	Ventilación, máscara protectora
ACABADO (ESMERILADO)	Polvo y partículas	Particulada	Interior	Humano	Fuerte	Permanente	Máscara protectora
	Desprendidas		Exterior	Humano	Moderada	Permanente	Extractor con flitros
			Exterior	Físico	Moderada	Permanente	Aislamiento
ACABADO (PULIDO)	Evaporación de volátiles	Gaseosa	Interior	Humano	Moderada	Permanente	Máscara protectora
			Exterior	Humano	Fuerte	Permanente	Ventilación
LIMPIEZA DE FILTRO	Polvo desprendido durante la limpieza de extractor	Particulada	Exterior	Humano	Fuerte	Temporal	Procedimiento lento
ALMAC. MATERIA PRIMA	Eventuales fugas y	Gaseosa	Interior	Humano	Leve	Permanente	Area techada ventilada
	Derrames	Particulada	Exterior	Humano	Leve	Permanente	Area techada
ALMAC. PROD. TERMINADO	Remanente de compuestos Volátiles	Gaseosa	Interior	Humano	Leve	Permanente	Area techada
BASURA	Material variado	Varias	Interior	Físico	Moderada	Permanente	Tapado de cilindros
COMPRESORES	Ruido de los motores	Auditiva	Interior	Humano	Moderada	Permanente	Protectores auditivos

CALIFICACIÓN:

SEVERIDAD:

Fuerte
Moderada
Leve

CARÁCTER: (durante el horario de trabajo)

Permanente
Temporal

APENDICE N° 3

1. Cálculo del Valor Presente de Egresos para una producción anual de 240 tinas, empleando el moldeo por aspersión:

Con las consideraciones del acápite 4.1 y la Tabla N° 6, se calcula el Costo Anual con la siguiente expresión:

$$\text{Costo Anual} = \text{Costo Anual (Primo + Mantenimiento + Operativo)}$$

El Flujo de Egresos se calcula con la ecuación N° 1 y se muestra en la siguiente tabla:

AÑO	INVERSIÓN (\$)	COSTO ANUAL (\$)	DEPRECIACIÓN ANUAL (\$)	FLUJO DE EGRESOS (\$)
0	8120.76			8120.76
1		9709.49	730.87	6577.39
2		9709.49	730.87	6577.39
3		9709.49	730.87	6577.39
4		9709.49	730.87	6577.39
5		9709.49	730.87	6577.39
6		9709.49	730.87	6577.39
7		9709.49	730.87	6577.39
8		9709.49	730.87	6577.39
9		9709.49	730.87	6577.39
10	-812.08	9709.49	730.87	6008.93

Con los resultados arriba obtenidos se calcula el Valor Presente de Egresos empleando la ecuación N° 4:

$$\begin{aligned} \text{VPEG} = & 8120.76/(1+0.12)^0 + 6577.39/(1+0.12)^1 + 6577.39/(1+0.12)^2 + \\ & 6577.39/(1+0.12)^3 + 6577.39/(1+0.12)^4 + 6577.39/(1+0.12)^5 + \\ & 6577.39/(1+0.12)^6 + 6577.39/(1+0.12)^7 + 6577.39/(1+0.12)^8 + \\ & 6577.39/(1+0.12)^9 + 6008.93/(1+0.12)^{10} \end{aligned}$$

$$\text{VPEG} = \$ 45101.43$$

2. Cálculo del Valor Presente de Egresos para una producción anual de 240 tinas, empleando el moldeo por contacto:

Con los datos de la Tabla N° 6, se calcula el Costo Anual con la siguiente expresión:

$$\text{Costo Anual} = \text{Costo Anual (Primo)}$$

El Flujo de Egresos se calcula con la ecuación N° 1 y se muestra en la siguiente tabla:

AÑO	INVERSION (\$)	COSTO ANUAL (\$)	DEPRECIACIÓN ANUAL (\$)	FLUJO DE EGRESOS (\$)
0				
1		9156.15		6409.31
2		9156.15		6409.31
3		9156.15		6409.31
4		9156.15		6409.31
5		9156.15		6409.31
6		9156.15		6409.31
7		9156.15		6409.31
8		9156.15		6409.31
9		9156.15		6409.31
10		9156.15		6409.31

Con los resultados arriba obtenidos se calcula el Valor Presente de Egresos empleando la ecuación N° 3:

$$\begin{aligned} \text{VPEG} = & 6409.31/(1+0.12)^1 + 6409.31/(1+0.12)^2 + 6409.31/(1+0.12)^3 + \\ & 6409.31/(1+0.12)^4 + 6409.31/(1+0.12)^5 + 6409.31/(1+0.12)^6 + \\ & 6409.31/(1+0.12)^7 + 6409.31/(1+0.12)^8 + 6409.31/(1+0.12)^9 + \\ & 6409.31/(1+0.12)^{10} \end{aligned}$$

$$\text{VPEG} = \$ 36214.02$$

3. Los resultados del Valor Presente de Egresos, se obtienen en forma análoga para la producción de tinas mostradas en la Tabla N° 7.