

**MANUAL PRACTICO SOBRE POLIESTER (PLASTICOS) REFORZADO CON  
FIBRA DE VIDRIO (PRFV)**

**CARLOS ANDRES QUINTERO PORTOCARRERO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

**2007**

**MANUAL PRÁCTICO SOBRE POLIESTER (PLÁSTICOS) REFORZADO CON  
FIBRA DE VIDRIO (PRFV)**

**CARLOS ANDRES QUINTERO PORTOCARRERO**

**Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Director  
Ingeniero Vladimir Quiroz**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.  
2007**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Cartagena de indias, 14 de Noviembre del 2007

## DEDICATORIA

Personal y especialmente quiero agradecer al técnico en poliéster insaturado de la empresa ANDERCOL S.A. y amigo **Rafael Darío Villa Machado**, por todo el conocimiento, tiempo y oportunidades brindadas.

Quiero agradecer especialmente a **Kelly Neys Valverde Sanmartín**, mi novia, por su amor incondicional, por estar a mi lado en este momento y convertirse en mi familia, por su apoyo y consejos.

Agradecer a mi madre y cada uno de mis hermanos por su paciencia, no solo en el transcurso de la carrera y el desarrollo de esta tesis, sino durante toda mi vida. Por ser mi fuerza y mi razón para salir a delante.

Finalmente, agradecer a mi padre, que no está conmigo, a quien le debo lo que soy, mis valores y virtudes.

Carlos Andrés Quintero Portocarrero

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer antes que a nadie y de manera muy especial a **Dios** por proporcionarme los conocimientos, los medios y el tiempo necesario para la realización del presente trabajo.

Agradecer al director e ingeniero **Vladimir Quiroz**, quien significó una luz en el camino cuando no encontraba quien me dirigiera para la realización de este trabajo, por su especial colaboración y tiempo dedicado.

Agradecer a mis padres por su constante apoyo y preocupación por el alcance de mis logros, además de su incondicional amor y comprensión. Y por último en orden, mas no en importancia, agradezco a mis amigos, que siempre me acompañaron en las buenas y en las malas en el transcurso de mi carrera y a todos aquellos profesores que invirtieron parte de su conocimiento para mi formación como ingeniero.

Cartagena de indias, 14 de Noviembre del 2007

Señores:

COMITÉ DE EVALUACION

Programa de Ingeniería Mecánica

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad.

Estimados señores:

De la manera más cordial, nos permitimos presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación el trabajo de grado titulado "**MANUAL PRACTICO SOBRE POLIESTER (PLASTICOS) REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)**", trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Cordialmente,

---

Carlos Andrés Quintero Portocarrero

73.181.298 de Cartagena - Bolívar

Cartagena de indias, 14 de Noviembre del 2007

Señores:

COMITÉ DE EVALUACION

Programa de Ingeniería Mecánica

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad.

Estimados señores:

De la manera mas cordial, me permito presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación el trabajo de grado titulado “**MANUAL PRACTICO SOBRE POLIESTER (PLASTICOS) REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)**”, realizado por el estudiante Carlos Andrés Quintero Portocarrero, como requisito para optar al titulo de Ingeniero Mecánico.

Agradeciendo la atención prestada,

---

VLADIMIR MARIANO QUIROZ

## **AUTORIZACION**

Yo; Carlos Andrés Quintero Portocarrero, identificado con cedula de ciudadanía N° 73.181.298 de Cartagena (Bolívar), autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso del trabajo de grado y publicarlo en el catalogo On-line de la biblioteca.

---

Carlos Andrés Quintero Portocarrero  
73.181.298 de Cartagena (Bolívar)



## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>5</b>
<b>1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>5</b>
<b>2. CONCEPTO Y CATACTERISTICAS GENERALES DEL PLASTICO REFORZADO (PRFV).</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Características de las combinaciones de resinas de poliéster insaturadas/fibras de vidrio, (PRFV)</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Plásticos reforzados como material estructural.</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Aspectos comparativos entre el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y los metales propiamente.</b>	<b>13</b>
<b>3. GENERALIDADES DEL POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Tela mat.</b>	<b>17</b>
<b>3.1.1 Mat de alta solubilidad o gramaje.</b>	<b>17</b>
<b>3.1.2 Mat de baja solubilidad o gramaje.</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Tejidos roving.</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Tela woven roving.</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Velo de superficie.</b>	<b>27</b>

<b>3.5</b>	<b>Volan.</b>	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b>Productos especiales.</b>	<b>30</b>
<b>3.7</b>	<b>Cintas de fibra de vidrio.</b>	<b>31</b>
<b>3.8</b>	<b>Fibra especial.</b>	<b>33</b>
<b>3.8.1</b>	<b>Fibra de aramid /carbono</b>	<b>34</b>
<b>3.9</b>	<b>Rigidizantes.</b>	<b>36</b>
<b>3.10</b>	<b>Aprestos y acabados.</b>	<b>39</b>
<b>3. 10 .1</b>	<b>Aprestos textiles, que satisfacen los puntos 1 a 4.</b>	<b>40</b>
<b>3. 10. 2</b>	<b>Aprestos para plásticos, que satisfacen los puntos 5 y 6.</b>	<b>40</b>
<b>3.11</b>	<b>Las resinas poliester y sus tipos.</b>	<b>41</b>
<b>3.12</b>	<b>Gel coat.</b>	<b>43</b>
<b>3.13</b>	<b>Solventes.</b>	<b>44</b>
<b>3.14</b>	<b>Aditivos especiales.</b>	<b>46</b>
<b>3.14.1</b>	<b>Retardantes Al Fuego.</b>	<b>46</b>
<b>3.14.2</b>	<b>Limpiadores.</b>	<b>46</b>
<b>3.15</b>	<b>Endurecimiento.</b>	<b>48</b>
<b>3.15.1</b>	<b>Maduración.</b>	<b>48</b>
<b>3.15.2</b>	<b>Catalizadores Y Acelerantes.</b>	<b>48</b>
<b>3.16</b>	<b>Separadores.</b>	<b>53</b>
<b>3.16.1</b>	<b>Alcohol polivinilico.</b>	<b>54</b>
<b>3.16.2</b>	<b>Ceras en pasta.</b>	<b>54</b>
<b>3.16.3</b>	<b>Películas Desmoldantes.</b>	<b>55</b>
<b>3.17</b>	<b>Cargas minerales, metálicas y plásticas.</b>	

3.17.1 Talco Simple.	56
3.17.2 Carbonato de calcio.	57
3.17.3 Cuarzo, polvo cerámico.	57
3.17.4 Alúmina trihidratada.	58
3.17.5 Grafito.	58
3.18 La temperatura ambiente.	59
3.19 Propiedades más sobresalientes.	59
3.20 Aplicaciones más representativas.	60
3.21 Parámetros de diseño.	62
<b>4. APLICACIONES INDUSTRIALES DEL PROCESO DE FABRICACION CON FIBRA DE VIDRIO.</b>	<b>68</b>
4.1 Moldeo por contacto.	68
4.1.1 Formación a mano por Contacto (Hand Lay-Up).	69
4.1.2 Moldeo por rociado o aspersion – spray up.	73
4.2 Formación con saco plástico.	77
4.3 Formación con pistón flexible.	79
4.4 Fabricación con doble molde o R.T.M.	80
4.5 Formación con matrices metálicas acopladas.	81
4.6 Formación por centrifugado.	83
4.7 Formación por enrollado de filamentos.	85
4.8 Formación por envolvimiento (winding).	86
4.9 Caso aplicativo en plana de botes MOTOMARLIN S.A.	89

**5. PROTECCION Y CUIDADO QUE SE DEBE TENER EN EL AREA DEL POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN CUANTO A PRODUCTOS QUIMICOS.**

<b>5.1 Almacenamiento.</b>	<b>91</b>
<b>5.2 Seguridad y manejo.</b>	<b>93</b>
<b>5.3 Elementos de protección.</b>	<b>96</b>
<b>5.4 ¿Que son los agentes químicos?</b>	<b>98</b>
<b>5.4.1 Vía respiratoria.</b>	<b>99</b>
<b>5.4.2 Vía dermica.</b>	<b>99</b>
<b>5.4.3 Vía digestiva.</b>	<b>99</b>
<b>5.4.4 Vía parenteral.</b>	<b>99</b>
<b>5.5 Selección de equipos de protección.</b>	<b>100</b>
<b>5.5.1 Protección respiratoria.</b>	<b>102</b>
<b>5.5.2 Protección de manos y brazos.</b>	<b>103</b>
<b>5.5.3 Protección para los ojos</b>	<b>104</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO.</b>	<b>108</b>

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
<b>TABLA 1: Comparación fibra de vidrio – metales</b>	<b>14</b>
<b>TABLA 2: Combinaciones más usuales de los sistemas y sus características mas sobresalientes</b>	<b>50</b>
<b>TABLA 3: Propiedades sobresalientes del Poliéster</b>	<b>60</b>
<b>TABLA 4: Aplicaciones más Representativas del Poliéster</b>	<b>61</b>
<b>TABLA 5: Relación fibra de vidrio/resina</b>	<b>64</b>
<b>TABLA 6: Clasificación de equipos de protección</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: Tela mat	18
FIGURA 2: Tela mat 600 gr/ mt <sup>2</sup>	18
FIGURA 3: Tela mat 225 gr/ mt <sup>2</sup>	19
FIGURA 4: Tela mat 230 gr/ mt <sup>2</sup>	19
FIGURA 5: Tela mat 300 gr/ mt <sup>2</sup>	19
FIGURA 6: Tela roving continuo	21
FIGURA 7: Roving para Enrollamiento de 408, 740, 1100, 2200, 8800 TEX	21
FIGURA 8: Roving para laminados traslucidos de 3200 y 4000 TEX	22
FIGURA 9: Tela woven roving	23
FIGURA 10: Tela woven roving 800 gr/ mt <sup>2</sup>	23
FIGURA 11: Tela woven roving 600 gr/ mt <sup>2</sup>	23
FIGURA 12: Tela woven roving 600 gr/ mt <sup>2</sup> en cintas de 20 a 40 cm.	24
FIGURA 13: Tela woven roving unidireccional de 900 gr/ mt <sup>2</sup>	24
FIGURA 14: Tela tejida bidireccional (90°) de 500 gr/ mt <sup>2</sup>	24
FIGURA 15: Tela woven roving tejido Raso- Turco de 240 gr/ mt <sup>2</sup>	25
FIGURA 16: Tela woven roving 200 gr/ mt <sup>2</sup>	25
FIGURA 17: Tela woven roving 580 gr/ mt <sup>2</sup>	25
FIGURA 18: Tela woven roving 500 gr/ mt <sup>2</sup>	26
FIGURA 19: Tela woven roving de 800 gr/ mt <sup>2</sup>	26
FIGURA 20: Tela woven roving unidireccional de 792 gr/ mt <sup>2</sup>	26
FIGURA 21: Velo de superficie	27

<b>FIGURA 22: Velo en fibra sintética</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 23: Velo decorado</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 24: Velo imitación madera</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 25: Velo de grafito (conductor eléctrico)</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 26: Volan de 200 gr/ mt<sup>2</sup></b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 27: Volan de 325 gr/ mt<sup>2</sup></b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 28: Roving picado de 1/8”</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 29: Roving picado de ¼”</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 30: Roving picado de 1”</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 31: Cinta tejida en fibra de vidrio de 13 mm ancho y 0.12 mm espesor.</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 32: Cinta tejida de fibra de vidrio 20 mm ancho y 0.12 mm espesor.</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 33: Cinta tejida de fibra de vidrio 38 mm ancho y 0.12 mm espesor.</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 34: Cinta tejida de fibra de vidrio 50 mm ancho y 0.12 mm espesor.</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 35: Cinta tejida de fibra de vidrio 1 ¼” ancho</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 36: Tela tejida aramida 800 gr/ mt<sup>2</sup> y 231 gr/ mt<sup>2</sup></b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 37: Tejido de carbon y aramida 185 gr/ mt<sup>2</sup> (Rojo), (Amarilla)</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 38: Tejido de carbon de 190 gr/ mt<sup>2</sup> y 128 gr/ mt<sup>2</sup></b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 39: Aurobalsa en lamina de 6,10, 15 mm espesor</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 40: Auromat 1 mm de espesor</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 41: Auromat 2 mm de espesor</b>	<b>37</b>

<b>FIGURA 42: Auromat 3 mm de espesor</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 43: Auromat 4 mm de espesor</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 44: Auromat 5 mm de espesor</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 45: Resina poliester</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 46: Cobalto</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 47: Ceras en pasta</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 48: Talco simple</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 49: Carbonato de calcio</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 50: Cabosil</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 51: Formación a mano o por contacto (HAND LAY – UP).</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 52: Moldeo por rociado (SPRAY UP).</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 53: Moldeo por rociado con pistola semi alta.</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 54: Formación con doble molde.</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 55: Formación por centrifugado.</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 56: Formación por envolvimiento.</b>	<b>97</b>
<b>FIGURA 57: Equipo de protección personal en aplicaciones de poliester reforzado</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 58: Equipo de protección para la cara</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 59 : Protección para los pies</b>	<b>102</b>
<b>FIGURA 60 : Protecciones respiratorias para polvo y sustancias químicas</b>	<b>103</b>
<b>FIGURA 61: Mascara con filtro de polvo</b>	<b>104</b>
<b>FIGURA 62 : Protección para los ojos, polvo y químico</b>	



## ANEXOS

<b>ANEXO A:</b> Características en gramaje tela mat.	<b>108</b>
<b>ANEXO B:</b> Características en gramaje tela woven roving.	<b>108</b>
<b>ANEXO C:</b> Relación Entre El Método De Formación, El Tipo De Refuerzo Y Las Propiedades Mecánicas De Los Estratificados Vidrio-Poliéster.	<b>109</b>
<b>ANEXO D:</b> Espesor de pared de algunos objetos típicos realizados en PRFV (Valores en mm dados a título de orientación).	<b>111</b>
<b>ANEXO E:</b> Análisis comparativo “resistencia - peso “de algunos materiales.	<b>113</b>
<b>ANEXO F:</b> influencia del mek p. En el tiempo del gel (0,3% de co al 6%).	<b>115</b>
<b>ANEXO G:</b> influencia del contenido de acelerador en el tiempo del gel (2% mek p.)	<b>115</b>
<b>ANEXO H:</b> propiedades de resistencia de los laminados con telas de fibra de Vidrio mat y woven roving.	<b>116</b> <b>117</b>
<b>ANEXO I:</b> Ciclo de Cura.	<b>117</b>
<b>ANEXO J:</b> Maduración del poliéster – tiempos de postcurado de acuerdo con la Temperatura.	<b>118</b>
<b>ANEXO K:</b> Almacenamiento – tiempo de vida de la resina poliéster, gel coat, estireno , aceleradores y catalizadores de acuerdo con la Temperatura.	<b>118</b>
<b>ANEXO L:</b> Proceso de Transformacion del plástico reforzado con fibra de vidrio.	<b>119</b>
<b>ANEXO M:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta Temperatura	<b>120</b>
<b>ANEXO N:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>122</b>

<b>ANEXO O:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>123</b>
<b>ANEXO P:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>125</b>
<b>ANEXO Q:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>126</b>
<b>ANEXO R:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>128</b>
<b>ANEXO S:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>129</b>
<b>ANEXO T:</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>130</b>
<b>ANEXO U :</b> Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, Totalmente postcurados a alta Temperatura.	<b>131</b>
<b>ANEXO V:</b> Medidas de catalizador para aplicacion con resina poliester.	<b>132</b>
<b>ANEXO W:</b> Procedimiento para preparar y aplicar la resina com fibra de vidrio.	<b>133</b>
<b>ANEXO X:</b> Método de ensayo tipo izod.	<b>140</b>
<b>ANEXO Y:</b> Representativo de una instalación industrial para la fabricación de resinas insaturada	

## GLOSARIO

**ACELERANTE O PROMOTOR:** En el mercado existen básicamente dos tipos de acelerantes, los compuestos de cobalto como el NAFTENATO (cobaltous naphthenale) que se obtienen tratando hidróxido o acetato Cobaltoso con ácido Nafténico, se utiliza además como secante de pintura y barnices. También tenemos en el comercio el OCTOATO DE CÒBALTO Y EL AZUL DE COBALTO que tiene un precio más alto debido a que son más tolerantes a las mezclas.

Igualmente tenemos otros acelerantes como son las aminas terciarias como la DIMETILANILINA que produce efectos ventajosos en la polimerización de la resina obteniendo endurecimientos lentos, y es más tolerante, aminora el olor fuerte de la resina.

Al PROMOVER o PREACELERAR la resina, se agrega una cantidad de ACELERANTE, cualquiera de los enumerados anteriormente en cantidades que oscilan entre DOS y CINCO gramos por cada kilogramo que se vaya a preparar y la cantidad que agregue va a determinar el tiempo en que se endurezca el PLASTICO. Teniendo en cuenta que la TEMPERATURA o clima donde se trabaje juega un papel muy importante, así; en clima frío se utiliza más acelerante que en clima calido, estos materiales se polimerizan con las temperaturas altas, de otra manera el calor es un excelente acelerante así; en clima frío trabajar CINCO gm por kilo de mezcla, opcional subirle hasta SIETE gm o bajarle hasta DOS gm por kilogramo de preparación.

En clima calido se debe agregar a la mezcla TRES gramos por kilogramo de mezcla y subir CINCO gramos por kilo y de esta manera aumenta la rapidez del endurecimiento del PLASTICO, o bajar hasta DOS gramos por kilogramo de preparación y de esta manera demorar el ENDURECIMIENTO.

Igualmente en clima frío se agrega CINCO gramos por kilogramo de preparación, opcional subirle hasta SIETE para acelerar el ENDURECIMIENTO del plástico o bajar hasta TRES gramos para demorar el ENDURECIMIENTO del plástico.

**AGENTES QUIMICOS:** Son agentes químicos tanto aquellos que se presentan en forma natural, sustancias químicas, como aquellos a los que da lugar el hombre en sus procesos productivos, preparados químicos. Ambos son igualmente peligrosos para el hombre, y más aún para los trabajadores que se exponen a ellos en su trabajo diario. El peligro que entrañan está en función de la dosis a la que estemos sometidos.

**AGENTES TIXOTRÓPICOS:** Tixotropía es la propiedad que evita el chorreo de la resina cuando se trabaja humectando fibras en superficies inclinadas o verticales; este aspecto es fundamental para guardar la proporción fibra de vidrio-resina o el espesor de la capa de gel coat. Al adicionar el aditivo tixotrópico a la resina, producto que comercialmente se llama AEROSIL, CABOSIL o WAKER (sílica sublimada o pirogenada), en proporciones entre el 0,5% y el 6,0%, se obtiene una resina espesa cuando está en reposo y muy fluida y fácil de aplicar cuando está en movimiento. Una vez la resina ha sido aplicada, ella se pega a las paredes evitando los chorreos que dañan la estética y calidad de la pieza. Para adicionar este aditivo a la resina, se requiere de equipo mezclador tipo aspa o disco y taladro, ya que este aditivo, es un polvo muy fino y liviano, que al entrar en contacto con la resina forma grumos difíciles de romper. Si se mezcla a mano significará un mayor consumo de este costoso aditivo y en ocasiones la pérdida de la homogeneidad en la tixotropía.

**BOROSILICATOS:** Son minerales que se utilizan para fabricar un tipo muy especial de vidrio. En general se aplican en productos muy resistentes al calor pero en nuestro caso nos interesan porque constituyen la materia prima para

fabricar las fibras de vidrio que integran los llamados plásticos reforzados con fibra de vidrio. Los hilados conformados con fibras de borosilicatos se convierten en elementos de refuerzo superiores, por su resistencia al acero. Para casos extremos las fibras de vidrio pueden combinarse con materiales con mucha mayor resistencia a la tracción como son las fibras de carbono y el Kevlar.

**CERA DE CARNAUBA:** Es una cera preparada especialmente para actuar como desmoldante en matrices de plásticos reforzados con fibra de vidrio. Contrariamente a lo que ocurre con las ceras de siliconas son muy fáciles de eliminar con agua. La carnauba es una planta de origen amazónico y permite lustrar los moldes por más complejos que sean en sus formas. Cuando se debe realizar una reparación, con masilla por ejemplo, la cera de carnauba se limpia con facilidad aplicando un paño humedecido.

**DIOXIDO DE TITANIO:** Es el encargado de opalizar el plástico, es decir de quitarle toda la transparencia, por lo tanto en el plástico reforzado no encontramos ninguna. Si requieren transparencia la logran solamente con el plástico de poliéster.

**DISOLVENTE ESTIRENO MONÓMERO:** (Estyrene Monomer). Este disolvente se utiliza para adelgazar la resina y al mismo tiempo contribuir a la polimerización de la misma. Este producto se polimeriza fácilmente exponiéndolo al calor o agregando algún peróxido. Se obtiene a partir del Etileno y el Benceno, es muy fuerte y quema la piel.

Se recomienda almacenar igual que la resina a una temperatura de 15 a 20° C.

Este producto polimerizante se utiliza en la mezcla de la Resina Promovida en una cantidad del 10% hasta 25%; usando como término medio un 15%; Pero teniendo en cuenta que para algunas fórmulas se puede llegar a utilizar los dos topes, por

ejemplo: para algunos tipos de pisapapeles o masas de plástico puede llegar a un 10% el uso del Disolvente, pero en algunos casos cuando las piezas son reproducidas en moldes de difícil acceso o entrada del Plástico, se debe utilizar el 25% de Disolvente Estireno Monómero.

En otros casos cuando se requiere que una pieza se contraiga para facilitar el desmoldeo o soltada de la pieza, se puede llegar a usar hasta un 30% de disolvente. Aunque se encoge, no tiene nada que ver este en su acabado final, o sea, que a mayor cantidad del 30% de Disolvente Estireno se Monómero empieza a reducir el tamaño de la misma ocasionando deformación de la pieza.

**ELASTOMEROS:** Son materiales elásticos que con una ligera fuerza se alargan más del doble de su longitud y al desaparecer la fuerza, el material regresa a su tamaño original. Son usados en empaques, bandas, llantas, moldes industriales, etc.

Algunos ejemplos son el caucho de silicona, nitrilo de neopreno, etc.

**EXOTERMIA:** Una vez se pasa el tiempo de gel, empieza a subir la temperatura (reacción exotérmica), llegando hasta un máximo donde se encuentra la temperatura y tiempo de exotermia. Este es uno de los aspectos más importantes a controlar: si la temperatura de exotermia es muy alta, se arriesga a dañar el molde o la pieza que estamos fabricando. Esta limitante, se presenta debido a que el poliéster no libera fácilmente el calor (aislante térmico).

**GEL COAT:** Son resinas no reforzadas que constituyen la superficie de los laminados de poliéster con fibra de vidrio.

Las fábricas de resina, ofrecen al público resinas ya diseñadas y preparadas para trabajar con fibra de vidrio y el gel coat (pintura de poliéster), para darle color, estética y protección a las piezas. Las resinas generalmente ortoftálicas y

tereftàlicas, vienen en dos versiones: preaceleradas (ya traen el cobalto) y preaceleradas y tixotròpicas, o sea, que ya traen el aditivo tixotròpico, faltando solo la adición del mek peróxido para su endurecimiento. Los gel coats por su parte, también vienen preacelerados y tixotròpicos, con absorbentes de rayos ultravioleta y en ocasiones con el color, faltando solo la adición del mek peróxido para su endurecimiento. Estos productos preparados, deben agitarse antes de usarse, ya que con el almacenamiento prolongado, el aditivo tixotròpico se asienta, perdiendo homogeneidad.

Los aditivos tixotròpicos, bajan la aceptación de cargas en la resina, pero a su vez, cuando se utilizan bajos porcentajes de carga, este aditivo, estabiliza las cargas para que no se sedimenten.

**MADURACION:** Luego de un tiempo prudente, usualmente más de una hora, nuestro poliéster ya esta a temperatura ambiente y posee una buena dureza. En este momento se puede sacar la pieza del molde.

Contrario a lo que la mayoría piensa, la pieza en poliéster, aun no tiene todas sus propiedades mecánicas ni su resistencia química, ya que le falta maduración. Esta se logra con el paso del tiempo, dejando la pieza varias semanas a temperatura ambiente o mediante el proceso de post curado. En este proceso, la pieza, se somete a temperatura (generalmente 3 horas a 80° C ó menos temperatura más tiempo), en un horno, con resistencias eléctricas, aire caliente o lámparas, calor que logra acelerar el proceso de maduración. Al final de este proceso se obtiene, la totalidad de las propiedades mecánicas y químicas esperadas.

**OXIDO DE ZINC INDUSTRIAL:** Su función es proteger el plástico de las bajas temperaturas evitando el craquelamiento del plástico, de igual manera lo protege de la acción de la evaporación de la sal marina, siendo utilizado en objetos que deban ser resistentes a la sal u otros productos fabricados para ese fin, permite

que el plástico se adhiera fácilmente en una superficie corroída, llamado en algunos países el protector de la niebla marina o protector ANTINIEBLA.

**POLIESTER BISFENÓLICOS y VINILESTER:** Son las resinas también llamadas antiácidas, ya que posee la más alta resistencia al ataque químico y a la temperatura. Reactores, tanques, tuberías, chimeneas, torres, lavadoras de gases y enfriadoras, son ejemplos de artículos comúnmente fabricados con este tipo de resinas.

**POLIESTER ISOFTÁLICO:** Resina de mayor resistencia que las anteriores, generalmente usada en la fabricación de artículos sometidos a la intemperie en contacto con el agua y/o con ataques químicos

**POLIESTER ISO N.P.G.:** Producto hermano de la resina isoftálica, está modificado con N.P.G. (Neopentil glicol), elemento que le proporciona mayor resistencia química, al agua y a los micro organismos (hongos), ventajas que le hacen ampliamente usada para piscinas, toboganes, tinas de hidromasajes y tanques para la industria alimenticia.

**POLIESTER ORTOFTÁLICO:** Resina de uso general ampliamente conocida y empleada para fabricar artículos sometidos a un bajo ataque químico o ambiental.

Tiene una buena resistencia mecánica y cuando se requiere una mayor resistencia química, se usan en combinación con otro poliéster más resistente. Algunas aplicaciones típicas son: fabricación de sillas, cabinas, auto partes, tejas, botones, figuras artísticas, etc.

**POLIESTER TEREFTÁLICO:** Esta familia de resinas posee, respecto a la resina ortoftálicas, superior resistencia química, excelente aceptación de cargas



minerales, baja absorción de agua y superior resistencia a las altas temperaturas **(HDT)**.

**PLASTICOS TERMO ESTABLES O TERMO FIJOS:** Adquieren su forma final mediante reacción química y no existe forma de llevarlo luego a su estado inicial. No son reciclables. Algunos ejemplos son las resinas poliéster insaturados, epóxicas, poliuretano, etc.

Como vemos, el poliéster puede ser plástico, termoplástico, usado en pintura y fibras textiles y plástico termo fijo, elemento fundamental para los materiales compuestos, motivo de este trabajo.

Todos los materiales tienen ventajas y desventajas.

**RESINAS POLIÉSTER:** El poliéster insaturado, plástico termo estable o termo fijo, comercialmente se consigue como un líquido espeso, de color amarillo, rosa, azul o café, turbio o transparente; donde sus colores y características obedecen a su tipo, grado de preparación y uso recomendado.

En equipos llamados reactores, con temperatura y ambiente controlado, se ponen a reaccionar, por lo general, anhídrido ftálico, anhídrido maléico y dietilen glicol para luego de aproximadamente 15 horas de procesos, obtener la resina poliéster.

En esta etapa inicial, el poliéster se presenta como un líquido muy viscoso e inestable. Luego en la dilución, proceso complementario, el poliéster se ajusta a sus propiedades finales con aditivos especiales y estireno.

**RESINA RIGIDA:** La resistencia química, mecánica y a la temperatura, son características de **las resinas rígidas**. A mayor rigidez mayor es la resistencia.

**RESINA SEMI RIGIDA:** Tienen mejor comportamiento a los impactos y a las vibraciones.

De acuerdo a las necesidades o el diseño de la pieza, se pueden emplear resinas con una rigidez dada de fábrica o conseguida a través de modificar una resina rígida mezclada con una **resina flexible**.

**RESINA FLEXIBLE:** Generalmente se utilizan para modificar otras resinas o Gel Cotas donde se requiera mayor flexibilidad.

Se puede adicionar un máximo de 20% ya que con porcentajes mayores, se pueden deteriorar las propiedades de la resina resultante, debido a que la resina flexible, tienen baja resistencia mecánica, química y al agua.

Como regla general, al mezclar una resina con otra, se debe obtener mejora de propiedades. Por lo tanto, para flexibilizar una resina rígida Isoftálica, la debemos mezclar con una resina flexible también Isoftálica, ya que si se hiciera con una flexible Ortoftálica, se estaría dañando sus propiedades de resistencia química.

**RESINAS BASICAS:** Son resinas que Permiten ser modificadas a nuestro gusto al adicionarle cargas minerales. Con estas adiciones se obtienen tiempos de secado más convenientes para los procesos de laminación y otros.

**RESINAS PREPARADAS:** Ya vienen listas para su uso, según la aplicación para la que fueron diseñadas. Pueden encontrarse resinas preaceleradas o preaceleradas y tixotropicas (nombre de aditivos).

**RTM (Resin Transfer Moulding).** : es un proceso por el cual el poliéster es inyectado en un molde cerrado, con las ventajas que esto conlleva:

- Dos cara aprovechables (lisas)
- Espesores constantes

- Mayor capacidad de producción, apto para series de hasta 10.000 piezas/ año
- Eliminación de todo tipo de imperfecciones en la superficie de la pieza
- Mejores propiedades mecánicas de la pieza acabada
- Capacidad de incluir todo tipo de insertos con facilidad
- Espesor deseado con una única tela de fibra
- Piezas tipo sandwich, con poliuretano u otros componentes en el interior

**SOLVENTES:** Los productos químicos que se utilizan para bajar la viscosidad o hacer más líquida la resina, se llaman solventes.

**TERMOPLÁSTICOS:** Son un grupo de materiales que mediante la temperatura y presión se les da su forma final; son reciclables, permitiendo su comercialización varias veces y son los plásticos más comunes en nuestro uso diario. Algunos ejemplos de ellos son el polietileno, polipropileno, poliestireno, Pet, acrílico, nylon, P.V.C., poliéster saturado, etc.

**TIEMPO DE GEL:** Es el tiempo transcurrido entre la adición de los agentes químicos (acelerador y catalizador) y la transformación de la resina en una forma gelatinosa. Este es el tiempo que tenemos disponible para vaciar o trabajar la resina, haciendo que humecte la fibra de vidrio.

## INTRODUCCION

En la actualidad se están desarrollando muchas formas de presentar información de tipo académica de tal forma que esta sea lo mas didáctica, práctica y entendible, entre estas se encuentran los manuales que pueden ser entendidos como “algo que es fácil de manejar”<sup>1</sup>, “fácil de entender”<sup>2</sup>, o como un “libro en que se compendia lo principal de una materia”<sup>3</sup> y es finalmente lo que se pretendía al desarrollar el presente documento como trabajo de grado acerca de los materiales compuestos.

A lo anterior se le suma que, durante los últimos años se han realizados considerables progresos en calidades de resinas y fibras, preimpregnados, métodos de fabricación, métodos de ensayos no destructivos, mecánica de materiales compuestos, métodos de diseño y análisis de medios anisótropicos, y nuevos conceptos de diseño, razón por lo cual este trabajo tiene como objetivo ser un aporte técnico y práctico de dichos conocimientos para estudiantes de pre grado, profesionales, fabricantes y a quien interese o que estén dedicados a la industria de los Plásticos Reforzados.

La fibra de vidrio se ha convertido en una alternativa muy rentable y eficiente para trabajar en artefactos marítimos, por todas sus bondades mecánicas, químicas, etc., y es por ello que ha cobrado una importancia tal que se está investigando más acerca de todas sus aplicaciones para ser usada en toda la industria, en la medida que sea posible.

Es por lo anterior que el presente documento consiste en un manual sobre poliéster reforzado con fibra de vidrio apoyado en la consulta de diferentes temas: clases, tipos, resistencias mecánicas y aplicaciones.

---

<sup>1</sup> GRAN ESPASA ILUSTRADO. Diccionario Enciclopédico, 1998. Pag 879.

<sup>2</sup> Ibíd.

<sup>3</sup> Ibíd.

El presente documento pretende ser una muestra de cómo al momento de trabajar con poliéster reforzado con fibra de vidrio se puede llegar a cometer errores en las aplicaciones, selección de material, propiedades mecánicas de los laminados y temperatura de trabajo.

En nuestro medio existen diversas empresas formales así como una gran cantidad de pequeños productores de artículos de fibra de vidrio y resinas de poliéster, los cuales ha orientado sus productos al mercado de consumo masivo con estrategias de bajos costos y en menor escala a la industria por el poco conocimiento técnico de los tipos de resinas y sus bondades para aplicaciones específicas como es el caso de los tratamientos anticorrosivos.

Asimismo el presente trabajo logra identificar diferentes alternativas de fabricación de productos de plásticos reforzados en fibra de vidrio PRFV, identifica mercados potenciales de desarrollo (minería, papeles, vinícolas, etc.), proporciona técnicas para el aseguramiento de la calidad y seguridad industrial que son de escaso conocimiento y mucho menos de aplicación en nuestro medio, sin embargo repercuten considerablemente en las condiciones de trabajo en lo referente a salud, seguridad y medio ambiente.

## RESÚMEN

La fibra de vidrio se empezó a utilizar como refuerzo a mediados de la década del 40, y se ha venido desarrollando según los requerimientos que la industria vaya demandando. Esta consiste en una gran cantidad de filamentos que se agrupan a gran velocidad para formar hebras o hilos; los hilos están formados aproximadamente entre 50 a 200 filamentos, el diámetro de estos filamentos esta entre 50 y 70 micras.

Cuando se habla de compuestos reforzados, generalmente con fibras de vidrio, se esta refiriendo a piezas o a las aplicaciones donde se requiere resistencia mecánica. Son muy variados los tipos de fibras (vidrio, carbono, kevlar, etc.), diseños y espesores obtenidos, logrando a voluntad, una amplia gama de especificaciones que según sea el producto, maniquí o tanque, darán la resistencia requerida.

Se describen las características de los plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV) como material compuesto y su diferencia en cuanto a propiedades mecánicas se refiere con respecto a metales como el acero y el aluminio.

Se va a hacer referencia a las generalidades de los materiales compuestos, poliéster reforzados con fibra de vidrio, resaltando aspectos importantes como: definición de las clases de fibra de vidrio que se utilizan en las aplicaciones, clasificación de las resinas, materiales rigidizantes, cargas minerales y aspectos destacables como son los parámetros de diseño, etc.

Se continúa con las distintas aplicaciones industriales que involucran la relación fibra de vidrio y resina poliéster en los procesos de fabricación; adicionalmente se presentan gráficas en algunas aplicaciones industriales de los procesos de transformacion del poliéster reforzado.

Se analiza los distintos aspectos relacionados con la protección y el cuidado que se debe tener en el área de los poliésteres reforzados con fibra de vidrio en cuanto al manejo de químicos se refiere.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo General**

Diseñar y realizar un manual práctico sobre poliester (plástico) reforzado con fibra de vidrio PRFV mediante una consulta exhaustiva sobre la normatividad, tipología, uso, aplicaciones en casos prácticos empresariales que sirvan como guía para todos los estudiantes, docente y profesionales.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Describir las características del plástico reforzado como material compuesto, teniendo en cuenta aspectos comparativos entre el poliester reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y los metales.
- Describir la definición, clasificación y aspectos generales más destacables del poliester (plástico) reforzado con fibra de vidrio PRFV, mediante un estudio minucioso apoyado en consultas de libros, especialistas en el área y empresas, para la correcta selección de materiales para dicha aplicación.
- Ilustrar de manera gráfica algunas aplicaciones industriales del proceso de fabricación de piezas con fibra de vidrio complementado con videos didácticos (inyección por vacío, RTM, aplicación en el sector náutico).
- Identificar y/o describir los distintos aspectos relacionados con la protección y el cuidado que se debe tener en el área del poliester reforzado con fibra de vidrio en cuanto a productos químicos utilizados.



## **2 CONCEPTO Y CARACTERISTICAS GENERALES DEL PLASTICO REFORZADO**

El plástico reforzado es un material excepcionalmente dotado de interesantes propiedades, compuesto de una resina resiliente y duradera, combinada generalmente con vidrio fibroso inmensamente fuerte, pero que también puede ser de otras clases de fibras distintas al vidrio (nylon, etc.) . La resina se constituye como el componente principal, y casi siempre es una resina de poliéster (liquido viscoso) que fragua y se convierte en una masa dura y sólida cuando es activada adecuadamente.

Así pues, podemos definir los plásticos como un elemento heterogéneo obtenido por la impregnación de un refuerzo fibroso, a base de una resina polimérica que pasa del estado liquido al sólido, por la acción de un sistema de catálisis adecuado.

Particularmente el Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) es un material compuesto, en el cual las fibras de vidrio con una alta resistencia mecánica conforman la parte estructural, mientras que la matriz plástica (resina de poliéster) aglomera las fibras, aporta la resistencia química, propia de ella, y hace el producto impermeable al medio en contacto.

De la misma manera que el hormigón (concreto) puede reforzarse con varillas de hierro, y las llantas de los vehículos automotores son reforzados con nylon y otros elementos, así mismo el poliéster insaturado (u otra resina termofraguante) puede ser reforzada con fibra de vidrio, o con otros materiales de refuerzos (algodón, sisal, nylon, aramid, carbono, boro, óxidos metálicos y metales, etc.) para formar el llamado universalmente plástico reforzado.

Sin embargo, a pesar de existir una gama de refuerzos, las fibras de vidrio han conservado su posición dominante como material de refuerzo; su participación es superior al 98%.

El plástico reforzado principalmente con fibra de vidrio, en general, es un material moldeado o laminado de construcción ligera (liviana), duradero y extraordinariamente fuerte, con el cual se pueden construir, fabricar o producir una amplia variedad de artículos con diferentes características. Puede ser traslucido, opaco, o de variados y llamativos colores. El producto puede ser plano, curvo, ondulado, o en diferentes formas, y de espesor delgado o grueso. Puede también usarse en recubrimientos (o revestimientos) reforzados o no reforzados.

Es decir, prácticamente no existe límite de tamaño, medida o condición en los objetos que pueden fabricarse con este novedoso material, lo cual es algo verdaderamente excepcional.

También, al variar la cantidad, es decir, la proporción de fibras de vidrio de alta resistencia que se mezclan con la resina líquida, se obtiene una amplia variedad de materiales estructuralmente fuertes, cada uno de ellos con características particulares y significativas.

De acuerdo con las necesidades y especificaciones requeridas para el producto terminado, en las aplicaciones con fibras de vidrio en donde pueden tejerse y colocarse capas sucesivas en una misma laminación impregnándolas con resina líquida estas pueden alcanzar el espesor (o el grueso) requerido, formando así un laminado, o artículo, del molde que tiene hasta 25 veces la resistencia tensil del acero, y hasta 3 veces la del aluminio, es decir, tan fuerte como el acero y tan liviano como el aluminio. Por los sencillos (o fáciles) procedimientos de moldeo utilizados pueden hacerse (elaborarse o fabricarse) muchos artículos más del

mismo modo (o sea con el mismo procedimiento), que por otro distinto de los procedimientos de moldeo sería imposible, o casi imposible hacerlo.

Por lo demás, el plástico armado o reforzado asocia las ventajas de ambos materiales constituyentes, es decir, de uno y otro individualmente considerado.

La diferencia esencial entre los plásticos reforzados y todos, o casi todos, los demás materiales estructurales, incluyendo los metálicos, estriba en que mientras la composición química y las propiedades de los demás materiales como el acero o el aluminio, son determinados y establecidos principalmente por el fabricante a través de los procesos industriales, en el caso del plástico reforzado el propio moldeador es quien determina por sí y para sí mismo estas propiedades. En otras palabras, el mismo hace su propio material, lo cual de por sí es algo ventajoso.

Se considera por los demás empresas, tal es el caso de Andercol s.a en Medellín, que las características más importantes de los sistemas de poliéster insaturados (distintos a otros de los pioneros ya señalados antes), son la facilidad de manejo, la simplicidad de su aplicación, el curado rápido sin desprendimiento de volátiles, como sucede negativamente con otras resinas líquidas, el color claro, la estabilidad dimensional de los productos elaborados, su versatilidad y adicionalmente, en general, las buenas propiedades físicas y eléctricas.

## **2.1 CARACTERISTICAS DE LAS COMBINACIONES DE RESINAS DE POLIESTER INSATURADAS/FIBRAS DE VIDRIO, (PRFV)**

Los plásticos reforzados, cada uno de ellos de los tantos que existen, individualmente considerados, tienen unas particularidades y unas ventajas que no podemos describirlas todas en este estudio por su gran extensión y complejidad.

Aquí, sobre este tema, nos referiremos exclusivamente al más popular, o sea al compuesto poliéster/Fibra de Vidrio, PRFV.

A continuación puntualizaremos todas ellas. Posteriormente, a medida que se avance en este estudio, en varias citas, señalaremos y haremos énfasis en algunas características particulares.

Cabe anotar y señalar aquí la gran influencia que tiene la proporción o relación porcentual entre la resina y la fibra de vidrio, considerada en las propiedades mecánicas del plástico reforzado.

Las características generales de estos materiales son altamente notables. Enumeraremos aquí casi todas ellas:

1. Tiene un bajo peso específico, es decir son livianas.
2. Tiene una relación a la tracción similar o superior a los metales, como hemos señalado anteriormente. Por su constitución el PRFV permite una gran resistencia a la tracción.
3. Tiene una gran resistencia a la flexión, 8 veces mayor que la de los metales y cientos de veces superior a los plásticos no reforzados. Tienen una gran resistencia estructural.
4. Alta resistencia a los impactos y al roce. Los laminados de PRFV resisten, sin averiarse los golpes que reciben durante su uso y funcionamiento.

5. Resistencia a la corrosión por medios químicos; esta es una de sus características más notables. El PRFV resiste la corrosión química y la degradación por agentes atmosféricos, eliminando la necesidad de la protección anticorrosiva. En este sentido tiene mayor resistencia que la mayoría de los materiales de ingeniería, ofreciendo una larga vida de servicio, con bajo mantenimiento y bajos costos de reposición por fallas ocasionadas por este concepto.

Sin embargo, esta buena resistencia química en los sistemas de resinas de poliéster/fibra de vidrio, esta limitado solo para los álcalis.

Algunos otros materiales resinados especiales de esta misma clase, pero basados en el bis fenol y los esteres vinílicos son más resistentes a los álcalis que estos.

6. Baja conductividad térmica, disminuyendo los requerimientos de aislamiento térmico, y los costos por energía.
7. Baja conductividad eléctrica y no presencia de corrosión galvánica.
8. El límite de temperatura para los poliésteres es de aproximadamente 90 a 150 °C dependiendo de las condiciones de la exposición.
9. El PRFV no es inflamable.
10. El PRFV tiene una buena flexibilidad de diseño (es decir, infinitas posibilidades de diseño), que permiten lograr fácilmente cualquier tipo de formas, por complejas que sean.
11. Elevada estabilidad química, térmica y eléctrica.
12. Estabilidad dimensional (es decir, no se encoge ni se alarga por cambios de temperatura, y por esta razón se le considera dimensionalmente estable).
13. Color integrado. Las superficies de los productos PRFV (es decir, el acabado de los mismos) tiene atractivos colores que se obtienen por la adición de pigmentos adecuados a la resina.

Cuando en un laminado las resina del gel-Coat no se pigmenta, la apariencia es translúcida, pudiéndose apreciar el contenido dentro de los depósitos o de las tuberías.

14. Fácil conservación. La superficie terminada de los productos de PRFV no requiere mantenimiento, ni pintura y puede limpiarse muy fácilmente.
15. Resistencia a la humedad. El plástico reforzado no es poroso y no absorbe ni lo afecta la humedad, puede estar en contacto continuo con líquidos.
16. Resistencia a la intemperie. Los plásticos reforzados resisten los efectos de los agentes climatológicos y no se afectan estando a la intemperie.
17. No es un producto tóxico. Dentro de la variedad de resinas poliéster se cuenta con algunos tipos aprobados por la Food and Drug Administration (FDA) para almacenamiento y procesamiento de alimentos.
18. Es compatible con algunos termoplásticos permitiendo la fabricación de laminados mixtos, con línea interior en PVC, PP, PE, etc, reforzado exteriormente con PRFV.
19. Tiene la mayor relación resistencia/ peso de los materiales tradicionales.

Todas estas excepcionales características la proporciona la fibra de vidrio a los poliésteres insaturados líquidos para constituir los “composites” y ser considerados como verdaderos plásticos de ingeniería, o como también son llamados, plásticos de alto desempeño.

En efecto el diccionario de términos de ciencia y tecnología define los plásticos de ingeniería como aquellos plásticos que presentan usos para proyectos de ingeniería, tales como equipos y partes de una estructura. Esto implica que los plásticos de ingeniería pueden sustituir materiales tradicionales de construcción, particularmente metales.

Las expresiones o términos plásticos de ingeniería, termoplásticos de ingeniería o plásticos de alto desempeño pueden ser usados indistintamente intercambiándose.

En general, plásticos de ingeniería, son aquellos plásticos termoplásticos o termofraguantes que mantienen una estabilidad dimensional y muchas propiedades mecánicas por encima de 100 °C y por debajo de 0 °C. Esta definición abarca materiales plásticos los cuales pueden estar formados en partes funcionales con abusos de temperatura en el ambiente que comúnmente son experimentado por los materiales tradicionales de ingeniería: madera, metales, vidrios y cerámica.

Además del poliéster reforzado el género de resinas que se agrupa en el campo de esta definición incluye otras resinas tales como: las resinas de acetal, poliamidas (nylon), polimidas, poliéster-amidas, poli carbonatos, poliésteres, polisulfonas y otras mas de última generación.

## **2.2 PLASTICOS REFORZADOS COMO MATERIAL ESTRUCTURAL.**

Los plásticos reforzados con fibra de vidrio solo pueden usarse con máxima ventaja si el fabricante de laminados proyecta sus productos buscando amoldarse a las necesidades del material. Para poder hacerlo, el proyectista (diseñador) tiene que tener en cuenta las propiedades mecánicas del laminado y los métodos de fabricación que se piensen usar.

Adicionalmente, la mayor ventaja que ofrecen los plásticos reforzados sobre los materiales corrientes, estriba en la posibilidad de proyectar y construir grandes estructuras concebidas en su conjunto y no como un ensamble de elementos individuales que sea necesario para unir mecánicamente. De esta manera es

posible, por ejemplo, proyectar y moldear el casco de una lancha con los depósitos de combustible formando parte integral del propio casco; o un cuarto de baño completo con lavado (sitio para las plumas o llaves) y bañera, moldeado sobre ello en una estructura de una sola pieza. Mediante el uso de formas geométricas pueden hacerse estructuras extraordinariamente exactas.

### **2.3 ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE EL POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV) Y LOS METALES PROPIAMENTE.**

En las últimas décadas se viene observando un interés sostenido en el desarrollo de materiales compuestos ligeros (liviano) para sustituir a los metales y otros materiales de construcción en aplicaciones especiales.

Las propiedades del plástico reforzado en comparación con las de los metales que en múltiples aplicaciones sustituyen las primeras, se indica en numerosas tablas que aparecen en muchas publicaciones. Se han seleccionado para efectos de esta comparación tanto el acero como las aleaciones ligeras, porque estas se emplean extensivamente en la construcción de cascos de embarcaciones; en la fabricación de cabinas de camión, carrocerías de autobuses y de turismo y en el transporte ferroviario. También se ha incluido el acero inoxidable en las tablas comparativas, ya que se usa a menudo para la fabricación de depósitos (tanques) y tuberías de los tipos y formas que se emplean en las instalaciones de procesos químicos.

Conviene tener presente que las dos diferencias principales entre plástico reforzado y el metal, como material estructural estriba en el módulo de rigidez, en la resistencia específica y la densidad. La falta de rigidez es la característica más distintiva del plástico reforzado desde el punto de vista de su proyección técnica. (Ver tabla 1)



**Tabla 1:** Comparación fibra de vidrio – metales

	<b>% VIDRIO</b>	<b>COEFICIENTE DE TRACCION</b>	<b>COEFICIENTE DE FLEXION</b>	<b>COEFICIENTE DE RIGIDEZ</b>
<b>FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>30</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
<b>ALUMINIO</b>	–	<b>1.6</b>	<b>0.8</b>	<b>2.2</b>
<b>ACERO</b>	–	<b>2.5</b>	<b>1.0</b>	<b>3.3</b>

Otra importante diferencia también en estos es la mala ductibilidad del plástico reforzado, cuando se le compara con los metales. El alargamiento a la rotura generalmente está comprendido entre 1 y 2% en comparación con alrededor del 40% para el acero. La deformación del plástico reforzado es casi elástica hasta la carga de rotura, mientras que el límite elástico del acero es de alrededor del 0.2%.

El plástico reforzado ofrece buenas características de aislamiento eléctrico y térmico. Por otra parte el coeficiente de dilatación térmica del plástico reforzado y del acero es del mismo orden.

### 3 GENERALIDADES DEL POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO

La vida cotidiana de las personas está llena de materiales, formas y objetos cuyo origen está directa o indirectamente relacionado con el “plástico”, nombre genérico que se le da a algunos materiales derivados del petróleo que han revolucionado la industria , el transporte, la construcción y nuestras vidas.

Para hablar sobre las generalidades se empezará por las resinas poliester, plástico termo estable o termo fijo, que se consigue comercialmente como un líquido espeso de color amarillo, rosa, azul o café, turbio o transparente; donde sus colores y características obedecen a su tipo, grado de preparación y uso recomendado.

En equipos llamados reactores, con temperatura y ambiente controlado, se ponen a reaccionar sustancias químicas con derivados del petróleo (anhídrido ftálico, anhídrido maléico y dietilen glicol) que luego de aproximadamente 15 horas de proceso, producen la resina poliester.

En esta etapa inicial, el poliester se presenta como un líquido muy viscoso e inestable. Luego de su dilución, proceso complementario, el poliester se ajusta a sus propiedades finales con aditivos especiales y estireno.<sup>14</sup>

Comúnmente se conocen pocos tipos de resina poliester, pero como se verá a continuación, existen una gran variedad de ellas, diseñadas para facilitar el trabajo y lograr la máxima calidad y duración en los productos fabricados.

Cuando se combinan una o varias materias primas en el reactor, se obtienen diferentes tipos de poliester como son ortoftálico, tereftálico, isoftálico, ISO n.p.g, bisfenólicas y vinilester.

---

<sup>4</sup> Empresa suministros industriales: Manual de aplicaciones Polider. 2006. p 1.

En su orden, se inicia con la resina ortoftálica, de buena resistencia mecánica pero con poca resistencia química, al agua y la temperatura y en la medida que vamos avanzando con las demás resinas, se aumenta la resistencia química, al agua y a la temperatura, pero también se incrementa su costo. La resina más completa es la vinilester.

Se continúa con la fibra de vidrio, se sabe que existen muchas clases de vidrios en el mundo, pero para nuestro interés hablamos del vidrio tipo “E”, el cual es un vidrio borosilícico. El borosilicato es un mineral que se utiliza para fabricar un tipo muy especial de vidrio, además constituye la materia prima para fabricar las fibras de vidrios que constituyen los llamados plásticos reforzados con fibra de vidrio.

La fibra de vidrio se empezó a utilizar como refuerzo a mediados de la década de los 40`s, y se ha venido desarrollando según los requerimientos que la industria ha demandado. Esta consiste en una gran cantidad de filamentos que se agrupan a gran velocidad para formar hebras o hilos y estos últimos están formados aproximadamente entre 50 a 200 filamentos, el diámetro de estos filamentos está entre 50 y 70 micras.

Para mostrar una de las características de los plásticos reforzados con fibra de vidrio, se toman muestras para realizar un ensayo, en una maquina tipo IZOD según norma ASTM D256 y analizar el comportamiento de los plásticos sometidos a cargas de impacto y determinar sus principales características **(Ver anexo X: Método de Ensayo tipo IZOD)**

Los siguientes tejidos de vidrio son algunos de los tipos más importantes:

### 3.1 TELA MAT

Es una Tela no tejida de fibra de vidrio, resultado de picar el hilo roving en maquinas especiales. EL MAT, ampliamente usado en el proceso manual, posee importantes ventajas respecto al uso del roving picado: el Mat ya viene listo para su uso (el roving generalmente hay que picarlo), cuando se impregna con la resina, produce un espesor uniforme, lo que se traduce un mejor control de la calidad y resistencia mecánica de la pieza (se puede controlar el contenido de la fibra en el laminado). Recuerde que en el roving picado, el espesor, calidad y resistencia mecánica de la pieza dependerá de la pericia del trabajador, quien esparce a mano la fibra picada sobre el molde a fabricar.

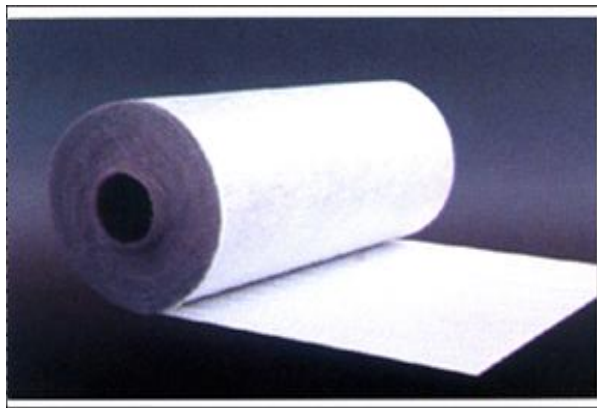
La fibra MAT, se diferencia por su densidad/grosor, especificación que se llama GRAMAJE. En el mercado se puede encontrar tela MAT de 225, 300,450 y 600, valor que significa gramos por metros cuadrado. (Ver Figuras: 1, 2, 3,4 y 5)

**3.1.1 Mat. de alta solubilidad o gramaje,** cuando se habla de un mat con alto gramaje o solubilidad se refiere a la cantidad de hilos roving picados que existe en un metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de tela y que presenta el ligante o apresto, generalmente cuando es usado se presenta como una resma de poliéster en polvo, fluidificadle por el calor; al pasar el fieltro o fibras de vidrios por una estufa de temperatura controlada, la resma funde y al enfriarse une y suelda entre sí las fibras del vidrio. La solubilidad de esta resma con referencia al estireno monómero, varía normalmente entre 30 segundos y 1 minuto, según el grosor del fieltro y la velocidad de impregnación.

**3.1.2 Mat de baja solubilidad o gramaje,** es similar al mat de alto gramaje o solubilidad con la diferencia de la cantidad de hilos picados en un metro cuadrado (m<sup>2</sup>), para este tipo de mat el aglomerante (se utiliza para unir fragmentos de una o varias sustancias) es, a menudo, una combinación de un ligante en polvo

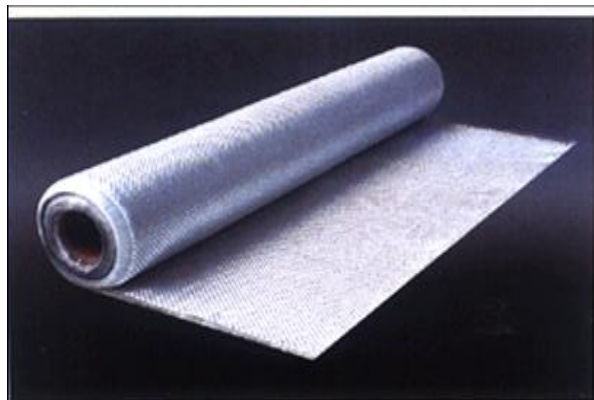
(producto que pega o aglutina, formando una película o film de acabado que nos proporciona dureza y elevada solidez al agua) y una emulsión (mezcla estable y homogénea de dos líquidos), de tipo polimerizable, que cura parcialmente al pasar el fieltro o fibras picadas a través de un horno, hasta un grado tal que su solubilidad en estireno puede exceder de una hora y media a temperatura ambiente, disolviéndose en cambio muy rápidamente con el calor.

**Figura 1: Tela mat**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 2: Tela Mat 600 gr/ mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 3: Tela mat 225 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 4: Tela mat 230 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 5: Tela mat 300 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### 3.2 TEJIDOS ROVING

Las esteras roving no son otra cosa que tejidos pesados, de distinto tipo y grosor, realizados con mechas Roving (Ver figura 6, tela Roving Continuo). A diferencia de los fieltros o fibra de vidrio picadas, que se caracterizan por una resistencia multidireccional, uniforme en todas las direcciones, en las esteras, en cambio, las propiedades mecánicas en el sentido de la trama (horizontal) y de la urdimbre (vertical) , respectivamente, pueden variar dentro de límites bastante amplios, según su construcción y la finalidad de su empleo. Un caso extremo de resistencia direccional lo representan particulares tipos de cintas y tejidos formados por roving de 60 ó 120 cabos, dispuestos apretadamente en Urdimbre para máxima resistencia longitudinal con sólo unos pocos hilos finos distribuidos muy espaciados en la trama.

Es la fibra de vidrio mas comúnmente usada en la industria, la cual se emplea tal como viene y se procesa para dar origen a otras presentaciones de fibras como el **Mat y el Woven roving**.

Según el número de cabos (**grupo de filamento**) que conforman el hilo, se consigue comercialmente roving para hacer diferentes aplicaciones por ejemplo, el roving para fabricar tejas translucidas para hacer perfiles por el proceso pultrusion, para hacer tanques y tuberías por el proceso de filamentos winding y el roving común, el cual se aplica cortado (entre 1 y 2 pulgadas) y se esparce sobre el molde para hacer todo tipo de piezas por moldeo a mano o por equipo de aspersion.

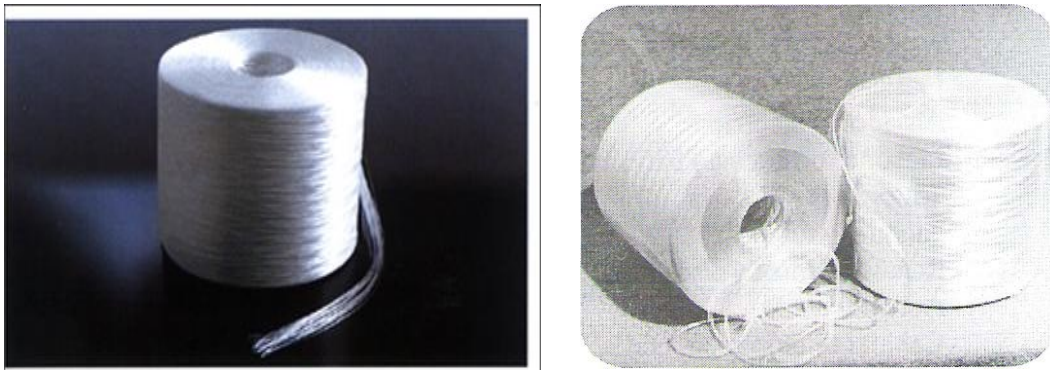
Otra especificación de roving, poco conocida es su grosor o densidad, llamada técnicamente TEX. El tex más común en Colombia es 2.400TEX. Esto significa que el hilo pesa 2.400 gramos por cada kilómetro de longitud (Ver figura 7, Roving

para enrollamiento de 408, 740, 1100, 2200,4400 y 8800 TEX y figura 8, Roving para laminados traslucidos de 3200 y 4000 TEX).

El Roving se obtiene de la unión en paralelo, sin torsión, También este producto suele presentarse en dos tipos distintos: **tipo duro o tipo blando**.

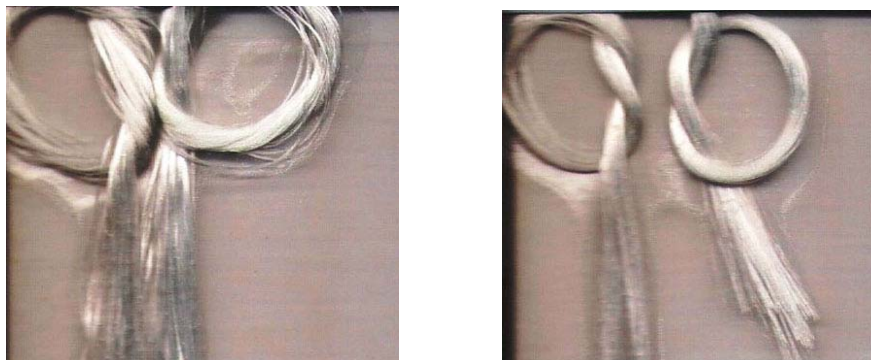
En el primer caso el roving es tratado con un ensimage (**apresto**) compatible con la mayoría de las resinas, de tal manera que mientras los hilos básicos pueden ser fácilmente separados, resulte más difícil hacerlo con los filamentos elementales. En el tipo blando, en cambio, los filamentos primarios se separan fácilmente y pueden ser mojados con mayor rapidez por las resinas.

**Figura 6: Tela roving continuo**



*Fuente: Diapositivas equipo técnico poliéster insaturado, Andercol S.A.*

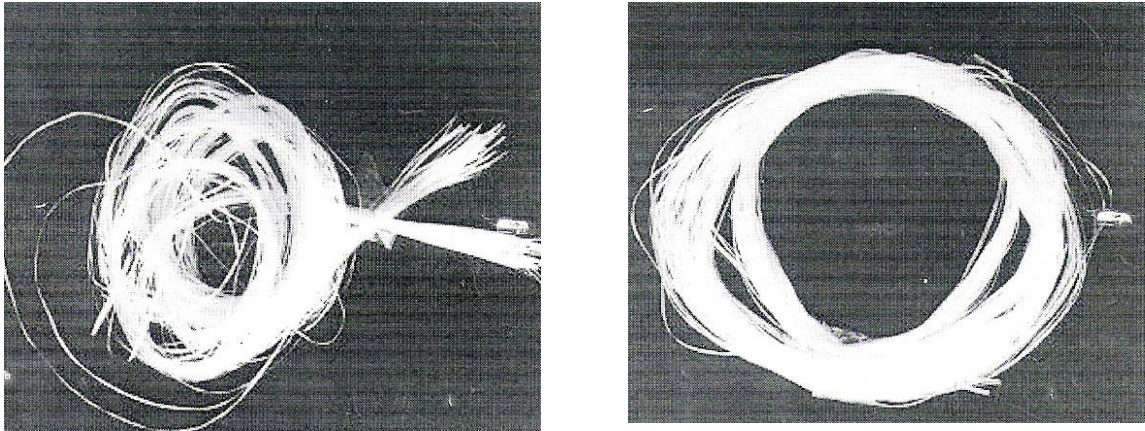
**Figura 7: Roving para Enrollamiento de 408, 740  
1100, 2200, 4400, Y 8800 TEX**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*



**Figura 8: Roving para laminados traslucidos  
De 3200 Y 4000 TEX**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### **3.3 TELA WOVEN ROVING**

Son una clase de Tela tejida en dos direcciones (**trama y urdimbre**), la cual se fabrica tejiendo en telares especiales, el roving continuo usado para poltrusion o para filament winding (Ver figura 9).<sup>5</sup>

El empleo de esta tela de fibra de vidrio en el proceso manual o por aspersión, proporciona mayor resistencia mecánica a la pieza fabricada. Al igual que las otras telas de fibra de vidrio, el WOVEN ROVING también se caracteriza por su gramaje, encontrándose en el mercado de 200 a 900 gramos por metro cuadrado( Ver figuras 10, 11, 12 ,13, 14, 15, 16, 17, 18 ,19, 20 ).

---

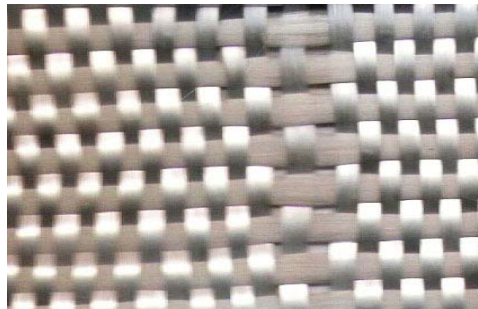
<sup>5</sup> Empresa suministros industriales: manual de aplicaciones Poliser. 2006. p 9

**Figura 9: Tela woven roving**



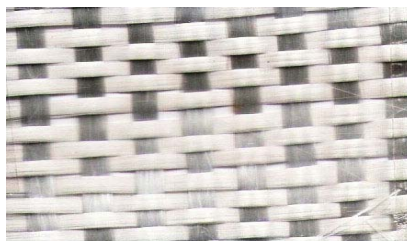
*Fuente: Diapositivas equipo técnico poliester insaturado, Andercol S.A.*

**Figura 10: Tela woven roving 800 gr/mt<sup>2</sup>**



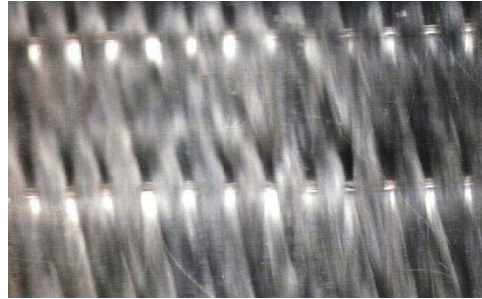
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 11: Tela woven roving 600 gr/mt<sup>2</sup>**



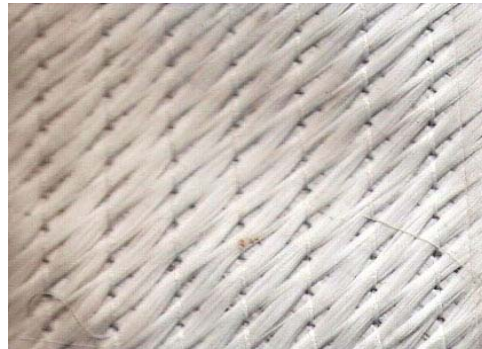
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 12: Tela woven roving 600 gr/mt<sup>2</sup> en cintas de 20 a 40 cm. de ancho**



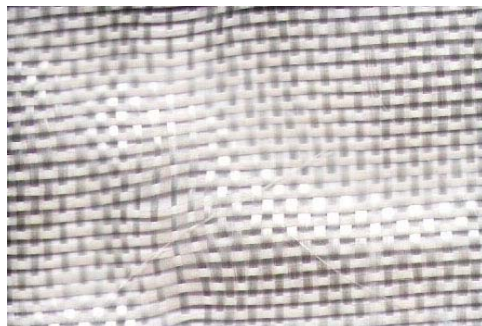
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 13: Tela woven roving unidireccional de 900 gr/ mt<sup>2</sup>**



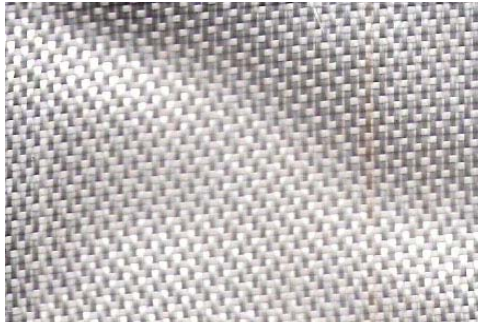
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 14: Tela tejida bidireccional (90°) de 500 gr/mt<sup>2</sup>**



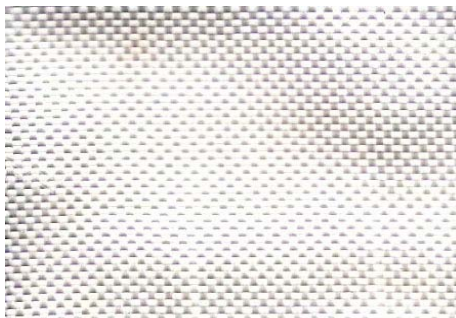
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 15: Tela woven roving tejido raso-turco de 240 gr/mt<sup>2</sup>**



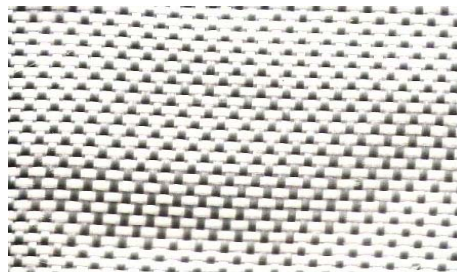
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 16: Tela woven roving 200 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

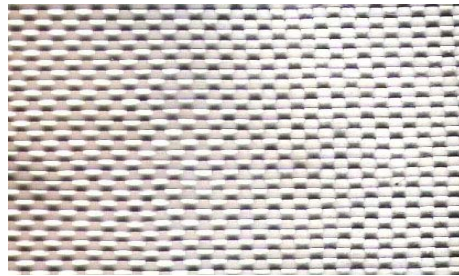
**Figura 17: Tela woven roving 580 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

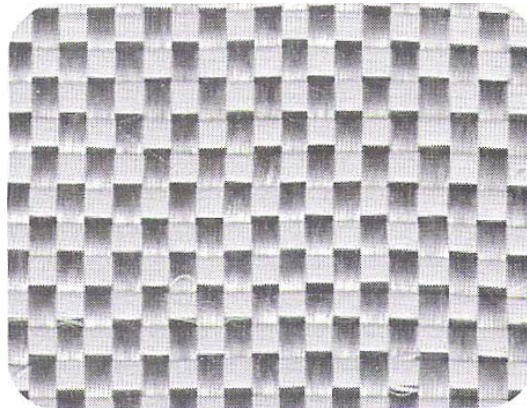


**Figura 18: Tela woven roving 500 gr/mt<sup>2</sup>**



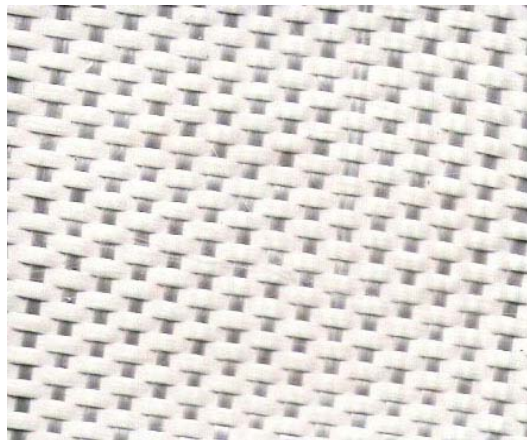
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 19: Tela woven roving 800 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 20: Tela woven roving unidireccional de 792 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

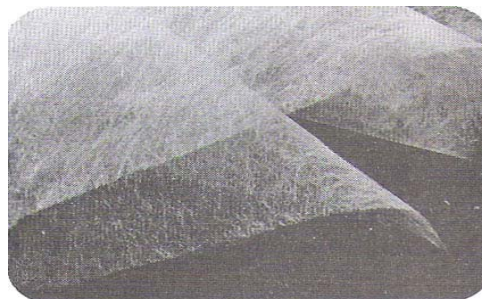
### 3.4 VELO DE SUPERFICIE

Es una Tela no tejida similar al mat, con bajos gramajes que usualmente oscilan entre 30 y 45 gramos por metro cuadrado. Posee una calidad de vidrio superior, especial para resistir ataque químico llamado vidrio tipo “C” (el resto de fibras usuales en nuestro medio son del tipo “E”). Esta fibra es comúnmente utilizada para dar resistencia química y/o un poco de resistencia mecánica al gel coat de moldes, botes o todo tipo de piezas sometidas al impacto.

Cuando se fabrican tanques de resistencia química, los velos de superficie reemplazan el gel coat, proporcionando una capa rica en resina (resistencia química) con suficiente resistencia mecánica para evitar fisuras por golpes, muy comunes durante el transporte y montaje del equipo (Ver figura 21, 23, 24 ,25).

Dependiendo del producto químico a almacenar, en ocasiones, es necesario cambiar por velos de vidrios sintéticos, fabricados en nylon o poliéster (Ver figura 22).

**Figura 21: velo de superficie**



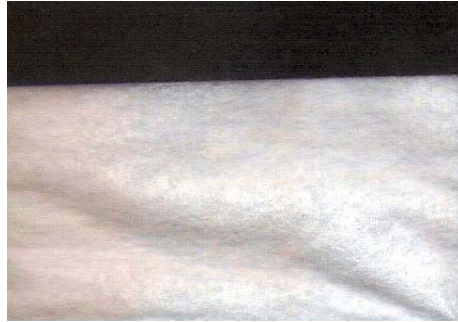
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 22: velo en fibra sintética**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 23: velo decorado**



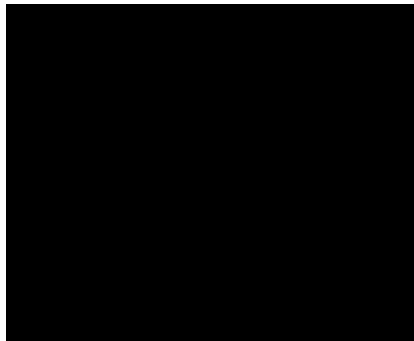
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 24: velo imitación madera**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 25: velo de grafito (conductor eléctrico)**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### **3.5 VOLAN**

Es una Tela tejida en forma especial, la cual confiere a la pieza alta resistencia mecánica con bajo peso. Generalmente sus gramajes son bajos, aptos para piezas especiales como ultralivianos, aeromodelos o piezas para la práctica deportiva. Los gramajes más comunes son 26, 70, 180, 232 y 325 gramos por metro cuadrado (Ver figura 26 y 27).

La calidad, referencias, gramajes y tex de las fibras de vidrio disponibles en el mercado, también varía según el país de origen a pesar del esfuerzo que realizan los fabricantes por mantener la calidad uniforme entre sus filiales o sucursales. Al país entran fibras de vidrio de Venezuela, Brasil, estados unidos, México, china etc. Como ejemplo, en México al WOVEN ROVING lo llaman petatillo.

**Figura 26: volan de 200 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*



**Figura 27: volan de 325 gr/mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### **3.6 PRODUCTOS ESPECIALES**

Estos productos Incluyen las (**milled fibers**), fibras molidas muy cortas (de 1 a 3 mm según el tamiz) con los filamentos bien separados entre sí (Ver figura 28, 29, 30).

**Figura 28: roving picado de 1/8”**



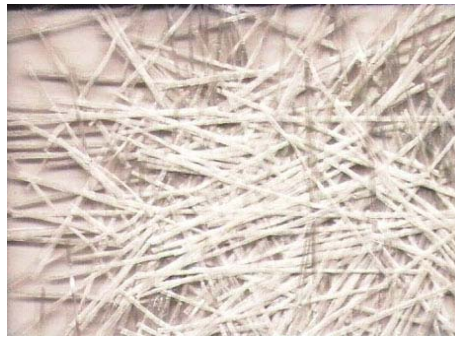
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 29: roving picado de ¼”**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 30: roving picado de 1”**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### **3.7 CINTAS DE FIBRA DE VIDRIO**

Como su nombre lo indica Consiste en un tejido en forma de cinta que es adecuada para aplicar en aquellos lugares donde se precisan bandas estrechas de refuerzos para ligamentos en espiral (Ver figura 31, 32, 33, 34 y 35).<sup>6</sup>

---

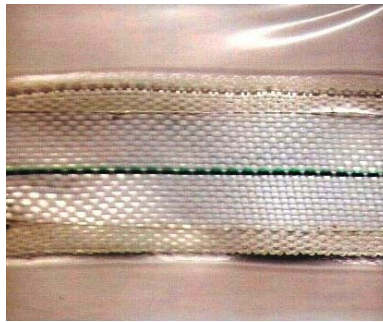
<sup>6</sup> Empresa sumiglas: catalogo Materias primas glas. 2006. P

**Figura 31: cinta tejida en fibra de vidrio 13 mm ancho y 0.12 mm espesor**



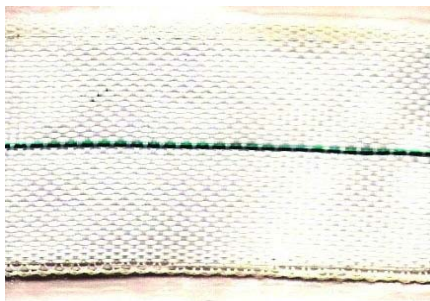
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 32: cinta tejida de fibra de vidrio 20 mm ancho y 0.12 mm espesor**



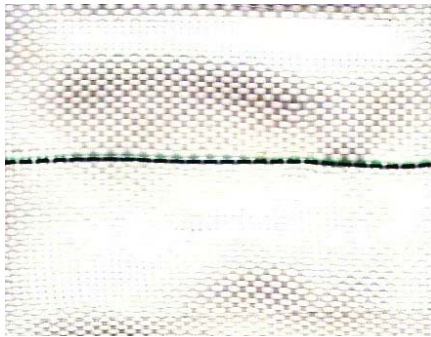
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 33: cinta tejida de fibra de vidrio 38 mm ancho y 0.12 mm espesor**



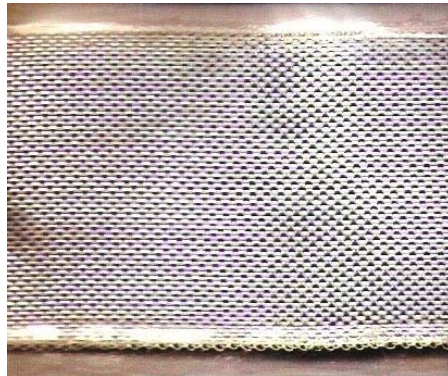
*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 34: cinta tejida de fibra de vidrio 50 mm ancho y 0.12 mm espesor**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 35: cinta tejida de fibra de vidrio de 1 ¼” ancho**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### **3.8 FIBRAS ESPECIALES<sup>7</sup>**

En los plásticos reforzados las fibras de vidrio no son las únicas que actúan (Ver figura 36). O pueden actuar en ellos de manera individual: pueden actuar también otras fibras, y también pueden actuar dos o más fibras diferentes. A estos compuestos así formados se les denomina “compuestos híbridos de fibra “o

---

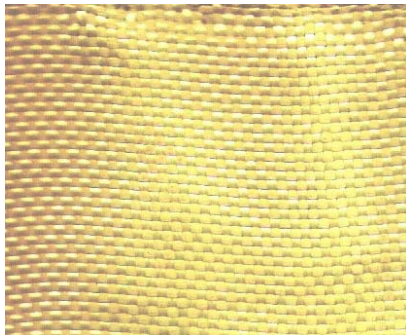
<sup>7</sup> Una nueva visión hacia los plásticos reforzados con fibra de vidrio, Roberto Chalita Fajel. Pág. 13-15.

simplemente “compuestos híbridos” y se definen como materiales que comprenden dos o mas refuerzos de fibra en una matriz individual de resina. Esta forma de reforzar de los plásticos es la más efectiva de reducir el costo de un compuesto usando las fibras de menor precio mezclada con las de más alto costo y mejorando el desempeño de los materiales de refuerzo u obteniendo unas propiedades que ninguna de las fibras individualmente puede dar. También, en ocasiones, esta mezcla facilita la manufactura.

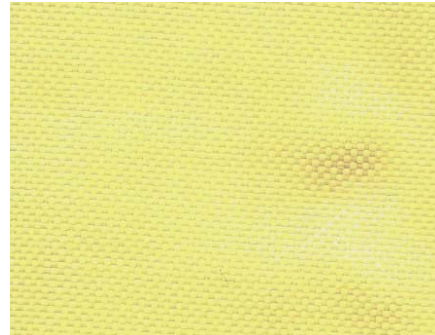
Un compuesto híbrido puede constar también de varias fibras (de vidrio, Carbono, Aramid o Boro) en una matriz polimérica.

**Figura 36: Tela tejida aramida 800 gr/mt<sup>2</sup> y 231 gr/mt<sup>2</sup>**

**Aramida de 800 gr. / mt<sup>2</sup>**



**Aramida de 231 gr. / mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

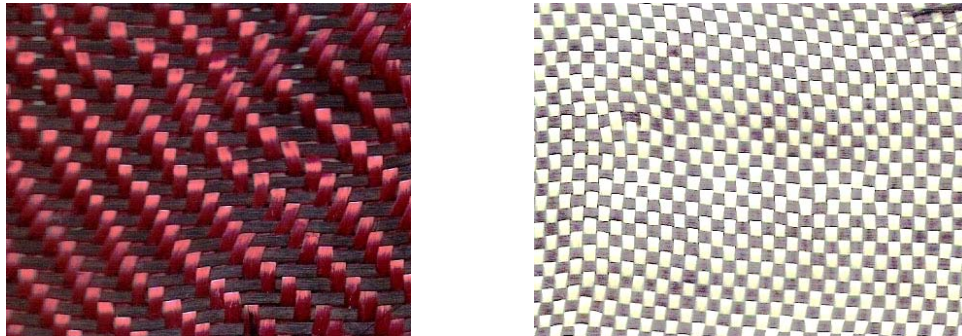
### **3.8.1 FIBRAS DE ARAMID/CARBONO**

Los compuestos híbridos reforzados con fibra o tejidos de Aramid y de Carbono encuentran aplicación como materiales estructurales en las industrias aeronáutica, aeroespacial, marina y de implementos deportivos.



Una comparacion de propiedades de las fibras muestra que tanto la de aramid como la de carbono son significativamente, mas livianas que las de vidrio. El modulo de elasticidad del Aramid es casi dos veces el de la fibra de vidrio, y la fibra de carbono de alta resistencia a la traccion tiene mas de tres veces la rigidez de la del vidrio. Sin embargo, la fibra de Aramid tiene menor resistencia a la compresion que las otras dos, pero la de carbono es tan resistente al impacto como la de Aramid. Por lo tanto. Un hibrido de los dos materiales da un compuesto que es: 1) mas liviano que los plásticos reforzados con fibra de vidrio; 2) de mayor modulo y resistencia a la compresion y a la flexion que un compuesto solo con Aramid, y 3) de mayor resistencia al impacto y a la fractura que un compuesto solo con fibra de carbono (Ver figura 37 y 38).

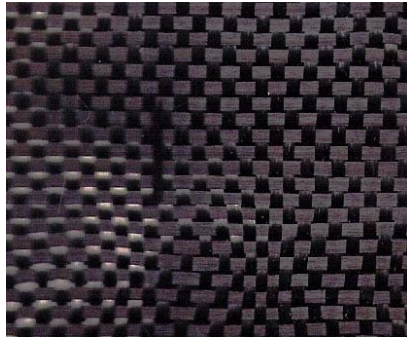
**Figura 37: Tejido de carbon y aramida 185 gr/mt<sup>2</sup> (rojo), (amarilla).**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 38: Tejido de carbon de 190 gr/mt<sup>2</sup> y 128 gr/mt<sup>2</sup>**

**Tejido de carbón de 190 gr. / mt<sup>2</sup>**



**Tejido de carbón de 128 gr. / mt<sup>2</sup>**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### **3.9 RIGIDIZANTES**

Son materiales que se emplean entre capas de fibra de vidrio para hacer estructuras tipo sándwich, las cuales, además de corregir la baja resistencia a la flexión, mejoran la resistencia al impacto (Ver figuras 39, 40, 41, 42, 43 y 44).

**Figura 39: Aurobalsa en lámina de 6, 10, 15 mm de espesor**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 40: Auromat 1 mm**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 41: Auromat de 2mm de espesor**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

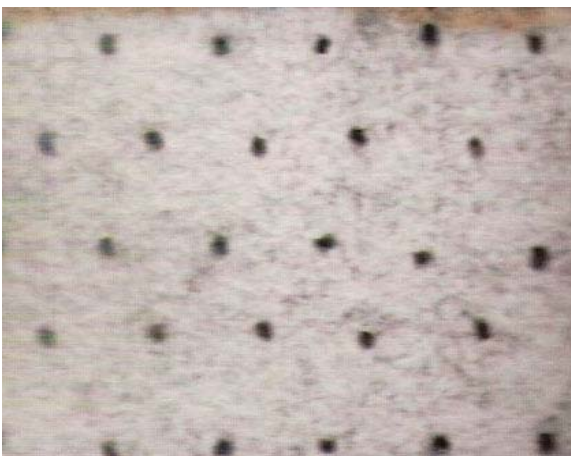
**Figura 42: Auromat de 3 mm de espesor**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

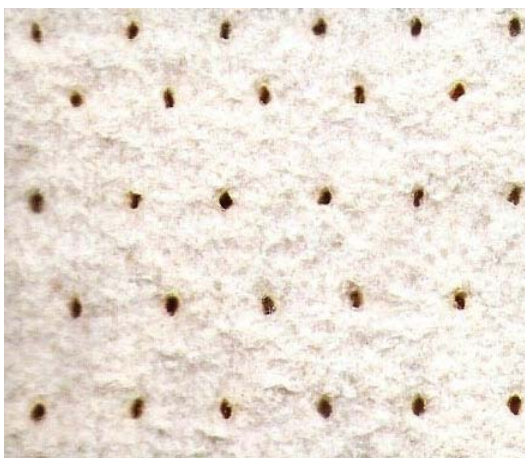


**Figura 43: Auromat 4 mm de espesor**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

**Figura 44: Auromat 5 mm de espesor**



*Fuente: Catálogo SUMIGLAS materias primas refuerzos*

### 3.10 APRESTOS y ACABADOS

Un apresto (**ensimage**) es aquel que se aplica a las fibras durante el proceso de estiramiento es, por lo general, un aceite o una resma emulsionable y tiene por finalidad unir entre sí los filamentos elementales de un mismo hilo y revestirlos de una película lubricante para reducir la fricción y facilitar su posterior uso.

Aplicado a los filamentos durante el proceso de estiramiento para la formación de los hilados básicos, debería poseer las propiedades siguientes:

- 1) Adherir a la superficie de los filamentos simples,
- 2) Impedir el efecto abrasivo derivado del roce de los filamentos elementales entre sí,
- 3) Mantener unidos los filamentos que forman el hilo básico, pero sin permitir que los hilos mismos se adhieran entre sí durante el bobinado,
- 4) Facilitar las ulteriores operaciones de doblado, retorcido, etc., de los hilados
- 5) Ser compatibles con las resinas de cualquier tipo, usadas para la obtención de los estratificados,
- 6) Crear una adhesión o una especie de ligazón química definitiva, entre la fibra de vidrio y las resinas mismas.

Puesto que un apresto universal de esta clase no existe, se usan dos tipos distintos de ensimages:

### **3. 10 .1 Aprestos textiles, que satisfacen los propiedades anteriores 1 a 4**

Son agentes químicos tanto aquellos que se presentan en forma natural, sustancias químicas, como aquellos a los que da lugar el hombre en sus procesos productivos, preparados químicos. Ambos son igualmente peligrosos para el hombre, y más aún para los trabajadores que se exponen a ellos en su trabajo diario. El peligro que entrañan está en función de la dosis a la que estemos sometidos.

### **3. 10. 2 Aprestos para plásticos, que satisfacen los propiedades 5 y 6.**

Por su parte los **ensimages** del segundo grupo no cumplen satisfactoriamente puntos 1 a 4 antes mencionados, especialmente con este último; por lo tanto sólo pueden ser empleados en fibras no retorcidas, destinadas a Usarse directamente en forma de roving y Mat, De esteras, etc., salvo escasas excepciones de hilados a débil torsión, que también se utilizan en la manufactura de algunos tipos de tejidos para plásticos reforzados.

Por lo tanto, se puede decir que todos los tejidos obtenidos a partir de hilados con apresto textil y destinado a usarse en estratificados plásticos, deberán someterse a un doble tratamiento: primero, a una operación de desensimage y luego, a la aplicación de un agente de terminación (acabado o *finish*), capaz de cumplir con los puntos 5 y 6 arriba mencionados.

### 3.11 LAS RESINAS POLIÉSTER Y SUS TIPOS

**Figura 45: Resinas poliéster**



*Fuente: Diapositivas suministradas por Equipo Técnico Poliéster Insaturado Andercol S.A.*

Para entender un poco acerca de las resinas de poliéster insaturado, hay que saber que el poliéster es un polímero o plástico termoendurente (Ver figura 45). Todo esto significa que cuando endurece o polimeriza no puede volver a su estado original contrariamente a lo que ocurre con los termoplásticos que si son reciclables, como lo son el polietileno, el PVC, etc.

Existen distintos tipos de poliésteres. El hecho de que posean diferente formulación los hace apropiados para distintos usos (náutica, carrocerías, tanques para productos químicos, estructuras autoextinguibles o resistentes al calor). Su combinación con la fibra de vidrio, utilizada como refuerzo, lo convierte en un

poderoso material compuesto para realizar producción de piezas con un bajo número de copias. Por ello se adapta perfectamente a industrias de pequeña escala, diseños especiales, productos a medida, etc. En la formulación del poliéster intervienen un ácido dibásico (isoftálico, maléico, etc.) un glicol dietilén glicol, propilén glicol, etc. Y un monómero (monómero de estireno o monómero de metacrilato).

Algunos tipos de resinas son las siguientes:

-  **RESINA ORTOFTALICA**
-  **RESINA TEREFTALICA**
-  **RESINA ISOFTALICA**
-  **RESINA ISO NPG**
-  **RESINA BISFENOLICA**
-  **RESINA VINILESTER**

Para manejar costos, generalmente en la industria se trabaja aplicando por capas, diferentes resinas, colocando la resina más resistente donde se tiene la mayor exigencia. Como ejemplo, en una bañera, para la capa que esta en contacto con el agua, se emplea una resina o gel coat isoftalico, el resto de trabajo o parte estructural, se termina con una resina orto o teraftalica.

Al modificar las proporciones de materias primas o usando algunas especiales, se logra ampliar cada tipo de resina anteriormente vista, en tres: resinas rígidas, semi rígidas y flexibles.

Para resinas rígidas su característica se inicia con una buena propiedad mecánica, química y a la temperatura. A mayor rigidez mayor es la resistencia.

Con las resinas semi rígidas se tiene mejor comportamiento a los impactos y a las vibraciones. De acuerdo con las necesidades o con el diseño de la pieza, se puede emplear resina con una rigidez dada de fábrica o conseguida a través de modificar una resina rígida mezclada con una resina flexible.

Las resina flexibles, generalmente se utilizan para modificar otras resinas o gel coats donde se requiera mayor flexibilidad. Se puede adicionar un máximo de 20% ya que con porcentajes mayores, se puede deteriorar las propiedades de la resina resultante, debido a que la resina flexible, tiene baja resistencia mecánica, química y al agua. Como regla general, al mezclar una resina con otra, se debe obtener mejora de propiedades. Por lo tanto, para flexibilizar una resina rígida isoftalica, la debemos mezclar con una resina flexible también isoftalica, ya que si se hiciera con una flexible ortoftalica, se estaría dañando sus propiedades de resistencia química.

### **3.12 GELCOAT**

Son resinas no reforzadas que constituyen la superficie de los laminados de poliéster con fibra de vidrio.

El gel coat tiene tres funciones principales:

- a) Proteger el laminado contra los efectos de la intemperie y humedad.
- b) Conferir acabado colorido, liso y brillante a la superficie de la pieza.
- c) Servir de base para aplicar pinturas especiales (acrílicas, poliuretano, etc.).

Generalmente el gel coat es aplicado sobre la superficie del molde, siendo el laminado estructural aplicado sobre esta capa. El gel coat reproduce las características superficiales del molde (obviamente cubierto por un desmoldante). Moldes lisos y brillantes permiten piezas también lisas y brillantes.

El gel coat de acabados debe ser aplicado sobre moldes bien pulidos, con esmerado acabado superficial y pueden ser aplicados por pistola, rodillos o pincel. Mejores resultados son obtenidos con aplicación con pistola, que permiten aplicaciones uniformes de espesor. En ambientes cerrados o de difícil acceso los rodillos de pintor pueden ser usados como mejor alternativa de aplicación.

Generalmente la primera aplicación debe tener 0,10-0,15mm y la segunda con 0,30-0,35 mm. El espesor final no debe sobre pasar los 0,5 mm. Resultados más gruesos resultan ser muy quebradizos y pueden aparecer grietas superficiales. Aplicaciones muy delgadas pueden arrugarse debido al ataque del estireno de los laminados.

El laminado sobre el gel coat no debe ser iniciado antes del estado de "toque", caracterizado por la cura parcial del gel coat, cuando la superficie puede ser tocada por el laminador sin pegarse los dedos.

### **3.13 SOLVENTES**

Los productos químicos que se utilizan para bajar la viscosidad o hacer mas liquida la resina, se llaman solventes.

El estireno monómero es el solvente mas apropiado para la resina. Cumple doble función: baja la viscosidad y reacciona con el poliéster formando parte del sólido.

Otros solventes como en el caso de las pinturas, se evaporan, produciendo un volumen y una viscosidad aparente.

El estireno es necesario para el buen manejo de la resina, alta admisión de cargas etc., pero su uso en exceso es perjudicial: aumenta la concentración volumétrica de la resina, sube la exotermia da fragilidad, baja las propiedades mecánicas del producto final, etc.

En las especificaciones de la resina, el fabricante señala el porcentaje de solidó o de poliéster que trae el producto de fabrica, la diferencia para llegar al 100 % es estireno.

¿Cuánto estireno, se puede adicionar sin caer en problemas de calidad? Existe una regla práctica: el estireno total no debe, sobrepasar el 45 % (el que trae la resina más el que se adiciona).

Las resinas preparadas por el fabricante para humectar las fibras de vidrios y el gel coats, por lo general ya traen la cantidad de estireno necesaria para su correcto uso. Si se adiciona más estireno, se puede dañar la tixotropía del producto preparado y las propiedades de la pieza final.

Otros solvente utilizado en la industria es el metil metacrilato (MMA), generalmente se usa en un 5% en peso El MMA, le da ala resina, mayor transparencia, resistencia al agua y a la intemperie. Su uso en exceso plastifica la resina, daña las propiedades mecánicas y la resistencia ala temperatura.



## **3.14 ADITIVOS ESPECIALES**

### **3.14.1 Retardantes Al Fuego**

Como se sabe, todos los plásticos son combustibles ya que vienen de materias primas derivadas del petróleo. Para solucionar en parte este problema, sobre todo en artículos en contacto con las personas, existen, además de cargas retardantes como la alumina, resinas poliéster especialmente formuladas de fábrica y aditivos que en mezcla con las resina (entre un 15 % y 20%), ofrecen a los artículos fabricados, propiedades retardantes, entre las principales ventajas se tienen:

- Proporciona en la pieza, mayor resistencia a la entrada del fuego o al inicio de la combustión.
- Retarda la velocidad de propagación – avance de la llama.
- La pieza se apaga automáticamente, cuando se apaga la fuente de la llama

Estos aspectos son muy importantes cuando usamos el poliéster reforzado por ejemplo, en buses de servicio publico. Si ocurre un incendio, la retardancia dará tiempo suficiente para evacuar de pasajeros el bus, extinguir la fuente de llama y así evitar desgracias humanas y perdidas económicas. En tejas, conductos de basura, la retardancia evitara la propagación del incendio, etc.<sup>8</sup>

### **3.14.2 Limpiadores**

Son elementos químicos utilizados para limpiar las manos, los equipos y las herramientas utilizados en el trabajo con las resinas. Estos limpiadores deben cumplir con las siguientes características:

---

<sup>8</sup> Empresa suministros industriales : manual de aplicaciones poliser.2006.P 21

- Tener buen poder de dilución
- No ser muy volátiles
- No tóxico por inhalación o contacto con la piel
- Inofensivo para los equipos
- De bajo costo

Existen limpiadores fabricados con base a alcoholes y solventes y otros con base en jabones y agua. Los más utilizados son:

- Acetona - Limpiador "GLASS"
- Thinner - Cloruro de metileno
- Mezcla de toluol e isopropanol - Crema limpiadora
- Jabón tipo FINNIN

La acetona es muy utilizada a nivel mundial, pero en nuestro país, no, por ser un insumo para el narcotráfico. El thinner y el cloruro de metileno, son poco recomendables por su alto nivel de toxicidad para el organismo.

Algunas personas usan el estireno como limpiador, sin tener en cuenta que este solvente, también se endurece formando poli estireno, muy perjudicial para equipos y herramientas.

Lo más recomendable y avanzado a nivel comercial son los limpiadores y cremas con base en alcohol, productos biodegradables completamente amigables con el ser humano, poco volátiles, con buen poder de limpieza y en el caso de limpiador "Glass", varias veces reutilizable.

## **3.15 ENDURECIMIENTO**

### **3.15.1 Maduración**

Para que ese líquido espeso, tome la forma final de la pieza que se quiere fabricar y se endurezca, hace falta que ocurra una reacción química o proceso de endurecimiento, en el cual, la resina pasa de líquida a sólida desprendiendo calor, lo que se conoce como reacción exotérmica.

Para que ocurra el proceso de endurecimiento, es necesario someter al poliéster a temperatura, luz ultravioleta y agregar agentes químicos llamados aceleradores y catalizadores. Estos últimos son los más usados en nuestro medio, por lo práctico y rápido del proceso.

### **3.15.2 Catalizadores Y Acelerantes**

Al emplear mayor cantidad de estos agentes químicos, se acelera el proceso, obteniendo como consecuencia menores tiempos de gel, mayor temperatura de exotermia y menor tiempo de desmoldeo y maduración (ver anexo I. Ciclo de cura). Los resultados de este acelerar, no se harán esperar, se tendrán seguramente parte de la resina endurecida sin aplicar o el daño del molde o la pieza a causa de las altas temperaturas que se pueden generar (hasta 170° C). En casos extremos, una dosis excesiva de catalizador, puede bloquear o neutralizar la reacción de curado produciendo una resina subcurada, sin dureza ni propiedades mecánicas.

En caso contrario, si se baja la cantidad del acelerador adicionado o del catalizador, si es necesario, se aumenta el tiempo de trabajo y se evitan algunos problemas. También, la insuficiente cantidad de acelerador y/o de catalizador

harán que las piezas tarden demasiado en secar o lo que es peor, nunca alcancen sus propiedades finales.

En condiciones normales de trabajo, donde se requiere secado a temperatura ambiente y tiempo controlado de proceso, se tiene que adicionar productos químicos para endurecer técnicamente el poliéster. Estos productos se llaman acelerador o promotor y el catalizador. Si se utiliza uno solo, el proceso de endurecimiento será muy lento, poco practico para fines industriales; hará que la resina dure menos tiempo almacenado.

Los aceleradores tienen como adjetivo activar o acelerar la reacción química, descomponer el catalizador para que propicie el endurecimiento del poliéster. Generalmente se utiliza el octoato y naftenato de cobalto, dimetil anilina (D. M. A.) y el dietil anilina.

Lo que comúnmente llaman cobalto (octoato o naftenato), consiste en un liquido morado o violeta, cuyas concentración de sal de cobalto es generalmente del 6%, mientras que la aminas (D.M.A. O DEA), son líquidos amarillentos de olor muy penetrante, fastidioso y altamente toxico. (Ver anexo G. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE ACELERADOR EN EL TIEMPO DE GEL)

Los catalizadores, son los encargados de hacer reaccionar el poliéster con el estireno, para formar una estructura sólida tridimensional. Generalmente se trata de peróxidos orgánicos, comercialmente conocidos como MEK PEROXIDO (metil etil cetona peroxido) (ver anexo F. INFLUENCIA DEL MEK P. EN EL TIEMPO DE GEL – 0.3 % DE CO AL 6%) y B.P.O. (benzoil peroxido). El primero, es un liquido transparente, generalmente al 10% de oxigeno activo disuelto en un plastificante y el segundo en una pasta blanca o de color, que normalmente vienen al 50% de concentración.

La practica ha demostrado, que los aceleradores y catalizadores dan mejor resultado si se trabajan por grupos o sistemas así: el sistema cobalto/mek peroxido y el sistema aminas-BPO. El sistema mas usado en nuestro medio, es acelerar la resina con cobalto, lo que se llama preacelerada, y catalizar, cuando se requiere aplicar la resina, con mek peroxido.

El sistema aminas/BPO, es muy usado para trabajar masillas tipo hueso duro o en aplicaciones donde esta presente la humedad.

En ocasiones para lograr algún efecto especial, se combinan los sistemas. A continuación se verán las combinaciones más usuales y sus características más sobresalientes (Ver tabla 2):

**Tabla 2:** combinaciones más usuales de los sistemas y sus características más sobresalientes

SISTEMA	CARACTERISITCA
BPO+DMA	Piezas amarillentas, mayor resistencia a los rayos ultra violeta, tactosidad en la superficie que seca al aire, bajo curado en piezas de poco espesor.
MEKP+COBALTO	Poca tactosidad superficial, buen curado en piezas de poco volumen. Es el sistema universalmente mas usado.
MEKP+COBALTO+DMA	Características iguales al anterior sistema, piezas amarillentas, tiempo de gel cortó.
MEKP+BPO+COBALTO	Características iguales al mekp + cobalto, tiempo de gel largo, curado rápido.

El sistema cobalto-mek peroxido, en las condiciones climáticas de Colombia y sus principales ciudades, trabaja bien sin necesidad de ninguna modificación.

Para obtener un tiempo de trabajo adecuado, según la resina, la temperatura ambiente y el volumen de la pieza, consideremos los siguientes rangos de adición del acelerador y catalizador:

En el cobalto, su proporción puede variar entre 0,05% y 0,5%.

El mek peroxido, puede variar entre 0,5% y 3,0%

Recordemos que la cantidad de estos dos elementos no puede caer en extremos (exceso o defecto). Las propiedades mecánicas resultantes en la pieza, dependerán de la cantidad correcta de este tipo de elementos, según sean las condiciones de trabajo.

Como regla practica, cada aditivo, se agrega separadamente a la resina y se mezcla bien, antes de adicionar el siguiente. El mek peroxido, es el ultimo en la adición, ya que este elemento, inicia la reacción de endurecimiento.

Para producir un objeto moldeado o laminado, una resina de poliéster tiene que fraguar, que es el proceso de gelificación o coagulación y endurecimiento. Se consigue esto o bien mediante el uso de un catalizador y calor o a la temperatura normal del cuarto de trabajo empleando un catalizador y un agente aceleraste. Los catalizadores para las resinas de poliéster son generalmente peróxido orgánicos, los catalizadores puros son inestables químicamente y susceptibles de descomponerse con violencia explosiva. Se suministran por eso en forma de dispersión en pasta o liquida en un plastificante, o en forma de polvo en una carga inerte.

Los catalizadores mas usado, son el Metil Etil Cetona Peróxido (PMEC), que es vendido en una solución al 50%.

El Peróxido de Benzoilo, puede ser adquirido 100% o en una solución en dibutil ftalato.

Contrariamente con lo que ocurre con el BPO, el Mek Peroxido no posee una formula químicamente definida, siendo fabricada con diferentes mezclas de hidroperóxidos, lo que explica la diferencia de actividad de catalizadores obtenidos de diferentes fórmulas.

Se utilizan diferentes sistemas de acelerador y catalizador de la siguiente manera:

- **Sistemas a base de BPO**

Cuando se utiliza el BPO son más eficientes las aminas terciarias siendo más efectiva la dimetilnilina (DMA) que la dietilnilina (DEA).

- **Sistemas a base de PMEC**

Para los sistemas catalizados con PMEC, es mas común utilizar sales organometálicos, es mas común como naftenato de cobalto o el octoato de cobalto.

**Figura. 46 Cobalto**



### 3.16 SEPARADORES

Los separadores son una especie de intermediarios que se aplican sobre la superficie de los moldes o de las matrices para facilitar la separación de la pieza terminada. El empleo de tales agentes resulta siempre necesario porque la mayor parte de las resinas que se utilizan en la fabricación de los plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV) poseen un alto poder adhesivo y tienden, por lo tanto, a quedarse unidas a la superficie con las que entran en contacto, dificultando la remoción de los productos.

Pero debido a la gran diversidad de resinas y materiales con los que se pueden construir los moldes (madera, yeso, cemento, metales, plásticos, etc.) y considerando que hay distintos métodos de fabricación como por ejemplo: con o sin presión, calor etc., no existe un desmoldante universal para todas las situaciones y clases de trabajo, sino que deberán elegirse en cada caso el separador o la combinación más adecuada en relación con los distintos factores en juego.

Estos pueden agruparse en cuatro categorías que son las siguientes:

- Ceras y emulsiones de ceras.
- Soluciones acuosas de alcohol polivinílico.
- Soluciones en solventes de rápida evaporación, tales como el acetato de celulosa o acetato de etilo, etc.
- Películas como el acetato o triacetato de celulosa, polietileno, poliéster saturado, etc.

La cera de carnauba una de las más usadas, es sin lugar a dudas un desmoldante ideal para cualquier tipo de molde, metálico, en PRFV, etc. Y para las temperaturas de curados de hasta un 90÷95°C, complementándose muy a



menudo la capa de cera con una mano de solución acuosa de alcohol polivinilico; pero debido a la lentitud de su aplicación, su conveniencia disminuye sensiblemente a medida que aumenta las dimensiones de los productos o la rapidez del ciclo operativo.

Existe una gran variedad de agentes desmoldantes, los más usados son:

### **3.16.1 Alcohol polivinilico**

Solución preparada en agua con algo de metanol, la cual una vez aplicada sobre el molde, forma una película que evita que la pieza se pegue. Este tipo de producto, debe ser aplicado en cada operación de moldeo, con brocha, esponja o pistola de aspersión y debe secar antes de aplicar la resina/gel coat. Cualquier imperfección que quede en esta película desmoldante, será copiada por la pieza. Una vez se saca la pieza del molde, este se lava con agua para eliminar cualquier residuo del desmoldante y así evitar futuras imperfecciones en piezas posteriores.

### **3.16.2 Ceras en pasta**

Son productos con base en carnauba, que se aplican sobre el molde, con paños suaves o estopa, en capas sucesivas. Cada capa consiste en aplicar la cera con un pomo o estopa aplicadora, completamente saturada, haciendo movimientos circulares sobrepuestos y luego se retira la cera aplicada, con una estopa o paño limpio. Se termina el trabajo con el brillado de la última capa.

Existen en el mercado, ceras importadas, las cuales, con una sola aplicación podemos fabricar hasta siete piezas. Con las ceras nacionales que se consiguen comercialmente, es necesario aplicar en moldes nuevos, mínimo quince capas y

para moldes ya usados, al menos tres capas, por cada pieza moldeada, lo que puede asegurar un buen despegue de la pieza al momento de sacarla del molde. El molde nuevo, puede considerarse viejo, cuando ya hemos producido cinco piezas o mas. Por cada pieza producida, disminuimos el numero de capas desmoldantes aplicadas hasta llegar a tres capas y así seguimos con la producción posterior. Cuando hay duda de un fácil despegue pieza-molde, podemos reforzar la película separadora aplicando también alcohol polivinilo, sobre la cera ya brillada.

**Figura. 47 Ceras en pasta**



*Fuente: Catálogo General - Empresa SUMIGLAS*

### **3.16.3 Películas Desmoldantes**

Las cuales se fabrican en materiales especiales donde el poliéster no se adhiere. Se usan normalmente para fabricar tejas, tubos y láminas.

La película más usada y conocida, es la fabricada con poliéster saturado, comercialmente llamada MYLAR, su principal ventaja radica en que es reutilizable hasta veinte veces. Otra película poco usada, es el celofán, su uso es similar con

la diferencia de que la película se daña en cada aplicación, cuando es retirada de la pieza.

### **3.17 CARGAS MINERALES, METALICAS Y PLASTICAS**

Las cargas, también llamadas rellenos, son elementos en polvo, que se utilizan mezclados con la resina para mejorar las propiedades del compuesto y/o bajar costos de fabricación. Las cargas en general modifican la resina así:

- Bajan la contracción y exotermia de la resina
- Aumentan la resistencia a la flexión y a la compresión
- Disminuyen la resistencia a la tensión
- Las cargas metálicas, mejoran la conductividad térmica y eléctrica
- Disminuyen la resistencia al agua y a productos químicos
- Aumentan la resistencia a la temperatura
- Mejoran el acabado superficial (talco)
- Aumentan el grosor, densidad o viscosidad de la resina
- Su uso en exceso, da fragilidad a la pieza
- Modifican el tiempo de gel, exotermia y maduración de la pieza
- Dañan el color, transparencia y brillo.

Como se puede observar hay aspectos positivos y negativos en el uso de las cargas, aspectos que se deben tener en cuenta para no dañar la calidad de nuestras piezas.

### 3.17.1 Talco simple

Por su baja dureza, es fácil de lijar. Proporciona buen acabado superficial en masillas tipo hueso duro. Se usa en malla 200 o 325.

**Figura 48: Talco simple**



### 3.17.2 Carbonato de calcio

Usado principalmente para bajar los costos del compuesto, disminuir la contracción y la exotermia, en vaciados artísticos tipo mármol polimérico. Generalmente se utiliza en malla 200.

**Figura 49: Carbonato de calcio**



### **3.17.3 Cuarzo, polvo cerámico**

Mejora la resistencia a la abrasión, dureza y resistencia a la temperatura. Muy usados en polvos industriales, abrasivos y moldes.

**Figura 50: Cabosil**



### **3.17.4 Alúmina trihidratada**

Aumenta la resistencia a la temperatura, da propiedades de retardancia al fuego, mejora la dureza sin dañar la maquinabilidad de las piezas.

### **3.17.5 Grafito**

Mejora la conductividad eléctrica de la resina. El cargar la resina que se utilizara para humectar la fibra de vidrio con grafito, mejora la rigidez y la resistencia a la flexión, pero, si se trabaja con mucha cantidad de carga (mas de un 15% en peso), se obtienen una resina muy espesa, lo que dificulta una adecuada humectación de la fibra y trae un alto contenido de burbujas de aire, que dañaran la resistencia mecánica de la pieza.

### **3.18 LA TEMPERATURA AMBIENTE**

Entra también a formar parte de la energía necesaria para que ocurra la reacción química de endurecimiento. Por esto en un día soleado, se observa la disminución en el tiempo de gel y al contrario, cuando hace frío, este tiempo se alarga. Estas variaciones usualmente se corrigen con la adición de mayor o menor cantidad de catalizador. (Ver anexo J. Maduración del poliéster- tiempos de poscurados de acuerdo con la temperatura)

Se debe tener la precaución de no trabajar el poliéster a temperaturas inferiores a 15° C, ya que existe una alta probabilidad de que nuestro producto no alcance la maduración necesaria.

### **3.19 PROPIEDADES MÁS SOBRESALIENTES**

El poliéster usado como material de diseño, tiene propiedades sobresalientes que debemos conocer para sacarle el máximo provecho (Ver tabla 3):

- Aislante térmico y eléctrico
- Anticorrosivo
- Reforzado con fibras de vidrio, puede tener resistencia mecánica igual al acero
- Para igual resistencia mecánica, es mas liviano que la mayoría de los materiales convencionales
- Bien seleccionado y formulado, el poliéster resiste el agua, la intemperie y el ataque químico de una amplia gama de productos industriales.
- Los equipos industriales fabricados con este material, son de fácil transporte, montaje y mantenimiento, lo cual representa menor costo en la vida útil del equipo.

**Tabla 3:** Propiedades sobresalientes del Poliéster

<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>
Peso específico (densidad)	1,28
Dureza	110 Rockwell M 50 Barcol GYZJ934-1
Resistencia a la tracción	55 MN/m <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	140 MN/m <sup>2</sup>
Resistencia al impacto, Izod	2 KJ/m <sup>2</sup>
Modulo de Young	3,5 GN/m <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	2%
Conductividad térmica	0,2 W/m ° C
Coefficiente de dilatación lineal	100*10-6/ ° C
Absorción de agua, 24hr, 20° C	0,15%

*Fuente: Manual de Aplicaciones Poliser, SUIN S.A.*

### **3.20 APLICACIONES MÁS REPRESENTATIVAS**

Las aplicaciones de las resina poliéster son infinitas, están limitadas a la creatividad que cada persona tenga. El producto es tan versátil que puede emplearse con éxito y costo apropiado, en la fabricación de prototipos (piezas únicas de demostración) o de piezas en serie para todo tipo de industria automotriz.

Prácticamente las aplicaciones de la resina poliéster se dividen en dos: reforzadas con fibra de vidrio y sin reforzar. A continuación damos ejemplos de las principales aplicaciones que hoy en día se hacen en nuestro medio (Ver tabla 4):

**Tabla 4:** Aplicaciones más Representativas del Poliester

<b>APLICACIÓN</b>	<b>TIPO DE RESINA EMPLEADA</b>
Botones	Ortoftalica semi rígida
Artesanías	Orto-tereftalica semi rígida
Masillas	Orto-tereftalica semi rígida
Aisladores eléctricos	Orto-tereftalica rígida
Mesones de cocina y baño	Orto-Iso rígida y semi rígida
Toboganes y piscinas	Tere-Iso rígida y semi rígida
Tanques y tuberías	Todos los tipos
Revestimientos y pisos	Todos los tipos
Auto partes	Tereftalica rígida y semi rígida
Cabinas telefónicas	Tere-Iso rígida y semi rígida
Cabinas de campero y bus	Tere-Iso rígida y semi rígida
Furgones	Tere-Iso rígida y semi rígida
Tejas y laminas	Orto-Iso rígida y semi rígida
Bañeras y lava platos	Tere-Iso rígida y semi rígida
Maniqués y juegos infantiles	Tereftalica rígida y semi rígida
Botes	Orto-tere-Iso rígida-semi rígida

*Fuente: Manual de Aplicaciones Poliser, SUIN S.A.*

Las fibras de vidrio, similar al trabajo que hace el acero en las vigas de concreto, dan refuerzo al poliéster para obtener características sobresalientes que hacen del poliéster reforzado uno de los principales sustitutos del acero y materiales tradicionales.

El poliéster y las fibras de vidrio, forman un material compuesto donde cada material aporta sus características y propiedades, dando en la pieza final, la suma de estas, con resultados sorprendentes. La resina como aglomerante, aporta



básicamente su resistencia química a la intemperie y la fibra, su resistencia mecánica.

En el mundo, las fibras más usadas por su costo, propiedades y facilidad de trabajo son las fibras de vidrio: Material incombustible, químicamente resistente y uno de los más fuertes que existe.

En nuestra vida diaria, se conoce al vidrio como un elemento frágil empleado en la construcción y la decoración. Contrasta sus bajas propiedades con la alta resistencia mecánica que le aportan las fibras de vidrio al plástico reforzado.

Las fibras de vidrio son fabricadas con la mayoría de materias primas empleadas para hacer el vidrio arquitectónico. Su formulación varía con materias primas especializadas, las cuales, son transformadas con un proceso especial (el vidrio derretido se estira y enfría rápidamente), para dar lugar a las fibras que luego se transforman en las diferentes presentaciones que hoy conocen

### **3.21 PARAMETROS DE DISEÑO**

Diferente al trabajo con metales y otros materiales tradicionales, donde las propiedades mecánicas y químicas ya vienen definidas, cuando se trabaja con el poliéster reforzado con fibras de vidrio, cada persona diseña el material, le da las propiedades específicas requeridas y responsables no solo de transformar la forma sino de dar la calidad y duración de la pieza que se fabrique.

¿Cómo saber que fibra de vidrio usar?, ¿como combinarlas?, ¿como lograr las propiedades necesarias en nuestra pieza? .A continuación se darán algunos consejos prácticos a tener en cuenta para trabajar con las fibras de vidrio:

- La máxima resistencia mecánica se puede obtener si se usan las fibras de vidrio continuas y en el mismo sentido en que actúa la fuerza de trabajo sobre la pieza. Lo anterior nos señala que la fibra tipo roving, por ser continua es la fibra de mayor resistencia mecánica. desafortunadamente, el roving continuo, solo se utiliza en procesos que involucran maquinas automáticas. le siguen en resistencia el WOVEN ROVING, ya que si se orienta apropiadamente una o las dos direcciones de las fibras, se obtiene una mayor resistencia en el material compuesto.
- El mat y el roving picado, son las fibras de menor resistencia mecánica, ya que las fibras están cortadas y orientadas en todas las direcciones.
- El contenido de la fibra de vidrio es otro aspecto fundamental para obtener alta resistencia mecánica: a mayor contenido en la pieza, mayor será la resistencia mecánica final obtenida. El tipo de fibra empleado y el proceso de fabricación, limitan el contenido de la fibra. En el proceso manual o por aspersion, con el uso de las fibras tipo mat y woven roving, se obtiene un contenido de fibra del 40 % respecto al peso total de la pieza total fabricada. Mientras que en procesos especializados, para hacer tanques-tuberías por el proceso de Filament Winding (enrollamiento del roving continuo), se obtienen contenidos de fibra del 70%. En este proceso y en la Poltrusion (Fabricación de perfiles), se reúnen todas las condiciones para maximizar la resistencia mecánica (inclusive levemente superior al acero): fibras continuas, altos porcentajes y fibras en la dirección apropiada.

- En contraste con lo anterior, se tienen los velos de superficie, los cuales ayudan a formar capas de bajo contenido de fibra de vidrio, pues su función principal es la de proporcionar resistencia química.
- Como ilustración y para efectos de calcular la relación de fibra de vidrio/resina. (Ver tabla 5)

**Tabla 5:** relación fibra de vidrio/resina

TIPO DE FIBRA	% DE FIBRA	% DE RESINA
Roving Continuo	70	30
Volan	55	45
Woven Roving	45	55
Roving Picado o Mat	30	70
Velo de Superficie	10	90

*Fuente: Manual de Aplicaciones Poliser, SUIN S.A.*

- Otro aspecto a tenerse en cuenta para nuestros diseños y trabajos prácticos es la contracción volumétrica que sufre el poliéster al endurecer, contracción que es aproximadamente un 8%. Este fenómeno afecta las dimensiones finales de nuestra pieza y es un factor fundamental en el caso de ensambles mecánicos. La contracción puede llegar a ser despreciable si se trabaja con altos contenidos de fibras de vidrio y/o materiales en polvo tipo cargas, mezclados con la resina.
- Con las fibras de vidrio de uso común, mat de 450 gramos por metro cuadrado y woven roving de 800 gramos por metro cuadrado, se obtienen por cada capa impregnada de resina, un espesor aproximado de 1,1 milímetro. Esto obliga a buscar el espesor final

deseado en la pieza y su resistencia, mediante la adición sucesiva de capas. Durante la fabricación, para preservar el molde de la exotermia, se recomienda aplicar hasta tres capas sucesivas (una tras otra) de las mencionadas fibras. Luego cuando el calor este bajando y cuando la superficie este aun pegajosa, se continua si es necesario, con el resto de capas de fibra de vidrio.

- El woven roving siempre trabaja entre capas de roving picado o mat. Puede finalizar el laminado pero no empezarlo, ya que por su textura, marcara el gel coat o superficie estética de la pieza. Para evitar este defecto, generalmente el woven roving se aplica después de colocar al menos tres capas de roving picado o mat de 450, junto al gel coat.
- En el poliéster reforzado, un aspecto por mejorar, frente a otros materiales, es su falta de rigidez (piezas planas se flexionan con facilidad, sin perder su alta resistencia mecánica). Este aspecto se corrige con facilidad, introduciendo en el diseño de la pieza formas curvas apropiadas, con el aumento de espesores localizados (venas de refuerzo) o donde no es posible lo anterior, con el empleo de materiales formadores de núcleo también llamados rigidizantes. El uso de madera balsa, espuma de P.V.C. o de poliuretano, telas no tejidas como el AUROMAT Y EL COREMAT , materiales que se emplean entre capas de fibra de vidrio para hacer estructuras tipo sándwich, las cuales, además de corregir la baja resistencia a la flexión, mejoran la resistencia al impacto. Los bordes del rigidizante empleado, deben estar sellados o cubiertos con fibra de vidrio, para evitar des laminación íter laminar (entre capas) al sufrir un esfuerzo de flexión.

- Otro aspecto por mejorar es: el poliéster reforzado no aguanta esfuerzos puntuales. Siempre que se requiera fijar bisagras, chapas o cualquier elemento metálico que soporte peso o realice esfuerzo, se debe hacer la fijación mediante platinas metálicas incorporadas en sándwich entre capas de fibra de vidrio.
- La platina, de la mayor área posible, repartirá el esfuerzo en toda su área, logrando que el poliéster reforzado lo soporte sin problemas. Las platinas o elementos de anclaje deberán estar sin oxido, sin humedad y con la mayor rugosidad posible, para que el poliéster se adhiera bien al metal. Hacer perforaciones también puede ayudar en este propósito.
- En una pieza de poliéster reforzado con fibra de vidrio, reconocemos básicamente dos partes que la constituyen: el gel coat y la estructura de la pieza. El gel coat además de ser la superficie estética de la pieza (incluye el color, textura y/o brillo), es la capa protectora que impermeabiliza la fibra de vidrio. Sin esta capa, la humedad o los productos químicos penetraran fácilmente con el tiempo, por las fibras superficiales, dañando la integridad y resistencia mecánica del laminado. Cuando una pieza industrial no requiera el aspecto estético que proporciona el gel coat, este se puede suprimir, pero, es indispensable reemplazarlo por al menos una capa de velo de superficie.
- Otro aspecto importante es como determinar el espesor final de la pieza (parte estructural del laminado). Para hallar este valor, tendremos que tomar en cuenta el diseño, trabajo que hace la pieza y los costos de la misma, fabricada en otros materiales. Existen varias formas de establecer el espesor de la pieza: por ensayo y

error, por copia del espesor de piezas ya fabricadas en poliéster reforzado y por cálculo matemático. Este último método, poco común en nuestro medio, involucra cálculos estructurales de ingeniería, los cuales se basan en determinar con precisión los requerimientos mecánicos que debe soportar la pieza. A nivel industrial, generalmente se combinan los métodos de ensayo y error y el cálculo matemático.

- Para cubrir un área determinada, generalmente se requiere empatar varias telas de fibra de vidrio. Las uniones de estas telas, se deben hacer con un traslape de al menos 10 cm., lo que busca evitar puntos o zonas débiles en la pieza. Al colocar varias capas, es recomendable evitar la coincidencia de estas uniones en el mismo sitio, ya que generan un sobre espesor en la pieza, el cual, daña la estética y la resistencia mecánica.

## **4. APLICACIONES INDUSTRIALES DEL PROCESO DE FABRICACION CON FIBRA DE VIDRIO**

Es importante referir, aunque sea muy brevemente; para beneficio de los interesados del poliester, los fundamentos de los distintos métodos de transformación del PRFV que corrientemente se utilizan. Los sistemas de fabricación de los plásticos reforzados son relativamente numerosos y dependen no sólo de las dimensiones, de la forma y de la terminación superficial del elemento a producir, sino también, de las características mecánicas de éste y del programa de fabricación, o sea de la cantidad de piezas que deban producirse y del ritmo de trabajo previsto.<sup>9</sup>

Ningún elemento en PRFV (plásticos reforzados de fibra de vidrio) puede, en efecto, ser producido en condiciones técnicas y económicamente convenientes si el sistema de fabricación no es exactamente el que corresponde a las necesidades del caso específico y sin el conocimiento suficiente de las propiedades de las piezas terminadas.

### **4.1 MOLDEO POR CONTACTO**

Moldeo por contacto a mano y moldeo por rociado, los dos métodos tienen las mismas aplicaciones, los materiales que utilizan son los mismos, su diferencia se basa en el equipo y en algunas ventajas y desventajas que serán citadas más adelante.

---

<sup>9</sup> ANDERCOL S.A.: boletín informativo. Septiembre. 1996. P 6

#### **4.1.1 Formación A Mano Por Contacto (Hand Lay-Up)**

En nuestro medio es el método de fabricación más utilizado, y es considerado el principal método empleado en la fabricación de productos con fibra de vidrio. Generalmente se emplea para series de producción relativamente cortas, por lo cual es considerado como un proceso discontinuo. Es el único método de producción que aprovecha al máximo las características principales de la resina poliéster, es decir, el hecho de que la resina fragua a temperatura ambiente y sin presión. A partir de este método es posible la fabricación de objetos grandes de plástico moldeados con una sola pieza (Ver figura 51). Los siguientes son los materiales a tener en cuenta a la hora del proceso:

**Gel coat:** Es un recubrimiento o una capa de resina cuya función es brindar a la superficie expuesta una protección contra el medio.

Adicional a esta protección algunas veces esta capa viene con pigmentos para darle un mejor acabado. Generalmente a esta resina no se le adiciona refuerzo, es decir no contiene tejidos de fibra de vidrio. Existen varios tipos de gel coat: isoftálico, ortoftálico, con carga metálica, con resistencia química, etc.

Una vez se tenga listo el molde se procede a la aplicación del gel-coat, este puede aplicarse mediante una brocha. Esta etapa concluye en el momento en que la resina a curado a temperatura ambiente y se alcanza un estado pegajoso, se debe tener especial cuidado con esta etapa, pues si la capa de gel-coat es demasiado delgada podría no curar del todo y entonces se verá a través del laminado el dibujo que forman las fibras; y si es demasiado gruesa, podría agrietarse y resultará más sensible al impacto.



Esta operación se puede chequear tocando levemente con el dedo el reverso del gel-coat, si el dedo sale limpio, entonces podemos continuar con la aplicación de la resina poliéster. La cantidad de resina que se necesita puede ser calculada pesando la fibra de vidrio que se vaya utilizar. Cuando se trata de woven roving, la proporción entre resina y fibra de vidrio debe ser de aproximadamente del 30% de fibra de vidrio en peso. Después de hacer este cálculo se procede a untar la resina con una brocha encima de la capa de gel-coat, lo más uniformemente posible, y se aplica firmemente la primera capa de fibra de vidrio mediante una brocha o un rodillo. Cuando se utiliza una brocha para la impregnación debe trabajarse con una acción de puntillado, y no empleando la brocha de forma normal, pues si se aplica de la forma normal se desplazarían las fibras, quedando desigualmente repartidas.

La resina fluirá por entre las fibras entretejidas con bastante facilidad y disolverá el aglutinante que mantiene unidas las fibras, es ahí cuando el tejido pierde identidad y se convierte en una distribución aleatoria de fibras que toman la forma del molde; un exceso de resina podría provocar la creación de burbujas de aire inmediatamente detrás del gel-coat. La consolidación del laminado es mucho más eficiente empleando un rodillo que una brocha, hay varias clases de rodillos, los más utilizados son los de paletas y arandelas, en algunas zonas de difícil acceso es conveniente usar rodillos de una sola arandela o un pincel.

El proceso de laminado o de colocación de capas de resina y fibra de vidrio continúa hasta que se alcanza el espesor deseado, cada etapa tiene que trabajarse hasta que la fibra quede impregnada por completo. Esto con la finalidad de evitar la formación de grietas, el desprendimiento del objeto del molde, y la pérdida del pigmento de la resina. Algunas veces la pieza se puede reforzar Colocando insertos metálicos, estos se colocan durante el laminado, el inserto debe quedar en la mayor área de contacto posible con el laminado. Si se taladran agujeros pequeños en los insertos se mejorará aun más la adherencia, pues la fibra quedará verdaderamente unida al inserto; estos insertos se usan

generalmente cuando la pieza terminada tiene que fijarse a un soporte o una bisagra.

El siguiente paso consiste en el curado de la resina, esta operación puede realizarse a temperatura ambiente, aunque puede acelerarse con aire caliente o lámparas de calefacción. Es necesario hacer un control de la temperatura pues si esta se eleva mucho podrían evaporarse los disolventes, diluyentes u otros aditivos formándose burbujas u otros defectos en el laminado. Durante esta etapa no debe moverse el laminado, sino hasta que un ensayo de Barcol (mide la dureza) dé un resultado de 30.

A continuación se procede a la etapa de desmoldeo, que consiste en separar la pieza del molde. Generalmente con separar el borde del laminado y luego dando un tirón se desprenderá la pieza fácilmente, siempre y cuando se haya aplicado correctamente el agente de desmoldeo. Cuando se trata de piezas con formas complicadas se utilizan otros métodos para despegar la pieza como:

- 1) se introduce una boquilla de una pistola de aire entre los bordes de la pieza y la superficie del molde.

- 2) cuando se trata de cascos para botes puede separarse dejando correr agua despacio entre el objeto y el molde, siempre y cuando se haya usado un agente de desmoldeo soluble en agua.

- 3) A menudo, cuando se trata de moldes de gran espesor se ayuda al desprendimiento dando unos cuantos golpes con un mazo recubierto de goma. El laminado puede tardar varias semanas en alcanzar su plena madurez o total resistencia, por esto es sometido a la etapa de Postcurado que consiste en someter la pieza a una temperatura de 800°C durante 3 horas, o durante un tiempo más largo a menor temperatura. Lo ideal es dejar que

la pieza se estabilice a la temperatura del cuarto de trabajo durante uno o dos días antes de pasar al postcurado.

Seguidamente se lleva la pieza a la zona de acabado que consiste en dar a la pieza un aspecto estético y una protección contra el medio donde va a estar expuesto.

Es esencial que la resina haya curado del todo antes de comenzar cualquier operación de acabado.

Algunos tipos de pinturas más comunes son: Pinturas de imprimación con adhesivos (se deben aplicar estando siempre la superficie limpia y seca); Pinturas de secado al aire (estas pueden aplicarse sin postcurado); y pinturas a base de celulosa, etc.

**FIGURA 51 Formación a mano o por contacto (HAND LAY-UP)**



*Fuente: Manual de Aplicaciones Poliser, SUIN S.A.*

#### **4.1.2 Moldeo Por Rociado – Spray Up**

También conocido como moldeo por pistola, consiste básicamente en la aplicación simultánea de resina poliéster y fibra de vidrio cortada mediante aparatos de moldeo por proyección (Ver figura 52 y 53). Existen varios sistemas para aplicar el moldeo por rociado, pero todos tienen la misma función, es decir, cortar la mecha de fibra de vidrio en trozos de una longitud que oscila entre 20 y 50mm, añadir la resina y el catalizador en la pistola, y proyectar sobre el molde la mezcla de fibra con resina. Uno de los sistemas más usados es el que tiene dos boquillas para dos recipientes, en los cuales se divide la resina en dos partes, una de las cuales se cataliza y la otra se provee de acelerador, esto con el fin de evitar la gelificación. Las dos partes de la resina, alimentan a la pistola desde recipientes a presión, o por medio de bombas hidráulicas. Los dos chorros de resina proyectados por la pistola convergen cerca de la superficie del molde simultáneamente con un chorro de fibra de vidrio, el cual proviene de una máquina cortadora, donde la mecha pasa entre dos rodillos, uno de ellos es de caucho y el otro posee un equipo de cuchillas que sobresalen de su periferia.

En este método aún es necesario continuar usando los rodillos y la brocha, pues la mezcla de fibra de vidrio con resina, se debe seguir consolidando de esta manera.

Con el moldeo por rociado se reducen, el tiempo del proceso, pero los gastos de la mano de obra se ven afectados, pues requieren de un operario muy hábil para regular el espesor del laminado. En conclusión si se tiene un alto volumen de producción, se justifica la compra para un equipo de moldeo por rociado.

Las aplicaciones tanto para el moldeo por rociado como para el moldeo por contacto a mano son las mismas, algunas de ellas son lanchas, carrocerías para automóviles y camiones, piscinas, bañeras, elementos para cuartos de baño,

vertederos, tuberías, carcasas, juguetes, artículos deportivos, pantallas y otros artículos.

Es éste el primer sistema usado para la fabricación de los plásticos reforzados y todavía uno de los más difundidos por su sencillez y versatilidad.

Tratase de un método esencialmente de tipo artesanal y por lo tanto lento y que requiere, como todos los de su clase, una cierta habilidad manual para lograr resultados satisfactorios; pero muy valioso en otros aspectos, por que permite realizar prácticamente cualquier pieza pequeña, mediana o de grandes dimensiones.

Para la formación a mano requiere en solo molde (molde abierto), eventualmente descomponible en dos o más partes para facilitar la extracción de la pieza, y solo la superficie del laminado en contacto con el molde resultara perfectamente acabada, por consiguiente, se elegirá un molde hembra cuando se desee una superficie externa bien terminada y un molde macho en el caso opuesto.

Los moldes u hormas pueden fabricarse con materiales comunes como yeso, madera, chapa, etc., pero mas frecuentemente, particularmente para trabajos en serie de hasta algunos centenares de unidades, se prefiere moldes de resina poliéster o epoxi reforzado con fibras de vidrio.

También pueden usarse modelos positivos los mismos elementos que se quiere producir, si se dispone de ellos, no importa el material con que estén hechos.

Los moldes, además de una suficiente rigidez, que puede obtenerse, con la ayuda de bastidores, soportes o de otras estructuras, han de presentar una superficie absolutamente lisa y lo más perfecta posible, teniendo presente que ésta será reproducida fielmente en todos sus detalles por plástico reforzado y, por lo tanto,

cualquier defecto o imperfección aparecerá inevitablemente en las piezas fabricadas, lo que no siempre será fácil o factible corregir a posteriori.

Una vez preparados los moldes, que para mayor comodidad pueden montarse sobre armazones o plataformas corredizas, giratorias, basculantes, etc., se procede a la aplicación del agente separador (ceras, alcohol de polivinilo, acetato de celulosa, etc.), en una capa delgada y lo más uniforme posible, sin grumos o discontinuidades de ningún tipo podrían echar a perder no sólo la pieza en fabricación sino el molde mismo.

Hecho esto, ya puede iniciarse la laminación propiamente dicha, que consiste en la colocación y adaptación sobre el molde de las distintas capas de refuerzo previstas y su impregnación con resina. Para ello puede procederse a la aplicación con pistola o pincel de una primera mano de resina debidamente preparada y a continuación colocar encima el refuerzo (mat, tejido, etc.).

Puesto que las resinas una vez catalizadas y aceleradas empiezan a fraguar de manera irreversible en un tiempo relativamente breve, se aconseja preparar sólo la cantidad necesaria para la producción, digamos de un día, pero sin agregar el catalizador o el acelerante. Estos compuestos se adicionan de vez en vez, sobre la proporción de resina destinada a utilizarse inmediatamente, dentro del margen de tiempo disponible antes de que empiece la gelación. Operando sobre cantidades siempre iguales es posible evitar el riesgo de errores y el endurecimiento prematuro.

Por el mismo motivo se aconseja no impregnar grandes superficies a la vez sino por zonas sucesivas, calculando bien las cantidades y los tiempos de gelificación para poder trabajar cómodamente. Se debe cuidar de manera muy especial la uniforme distribución de la resina, sin excesos o deficiencias de ninguna naturaleza, la correcta adaptación del refuerzo sobre todos los puntos del molde y,

particularmente, como ya ha sido dicho, la más completa eliminación de toda burbuja o trampa de aire en el laminado.

Una vez iniciada la polimerización, una pieza más bien chica y de forma simple, puede ser separada del molde a la media hora o a los 45 minutos. Otros laminados de grandes dimensiones requiere en cambio varias horas antes de alcanzar suficiente robustez como para ser desmoldados sin peligro de distorsiones irreparables.

La fuerte contracción que sufren las resinas poliéster durante su polimerización, y que en cierta forma favorece su vinculación al refuerzo, tiende a dejar a la vista la textura de la fibra de vidrio sobre la superficie en contacto con el molde. A veces este fenómeno puede no ser deseado o resultar inconveniente. Para evitarlo y obtener un acabado superficial perfectamente pulido, es necesario, antes de iniciar la estratificación, aplicar sobre el molde - preparado con su correspondiente agente de despegue una primera capa de resina (gel coat) relativamente delgada pero perfectamente distribuida (a pincel o soplete), a fin de evitar zonas excesivamente ricas en resina, y por lo tanto frágiles, y otras casi carentes de ella.

Una vez iniciada la polimerización del gel coat, se sigue con la aplicación e impregnación normal de los refuerzos. Cuando se trata de productos de PRFV no translúcidos, con color incorporado, éste suele limitarse en muchos casos a la capa superficial puliendo las capas sucesivas de resina, prescindir del pigmento o bien prepararse con un color diferente si fuera deseado.

**Figura 52 Moldeo por Rociado (spray – up)**



*Fuente: Manual de Aplicaciones Poliser, SUIN S.A.*

**Figura 53 Moldeo por rociado con pistola semi alta**



*Fuente: Manual de Aplicaciones Poliser, SUIN S.A.*

## **4.2 FORMACION CON SACO PLASTICO**

Es esencialmente un mejoramiento del sistema anterior que también utiliza un molde abierto, macho o hembra según el caso, y presenta un estado intermedio, entre la formación por contacto, de corte prácticamente artesanal, y los procedimientos de compresión altamente mecanizados.



En principio, este método consiste en reemplazar parcialmente la impregnación a mano, con pincel o rodillo, por una limitada presión uniformemente distribuida y transmitida al laminado en formación por medio de un saco o membrana elástica. Ello proporciona algunas ventajas que se traducen en un mejoramiento del ritmo de producción y de las características de las piezas en general.

La aplicación de cierta presión y el eventual empleo de una moderada calefacción para acelerar el proceso de polimerización de la resina, requiere la adopción de moldes suficientemente rígidos y robustos de poliéster o epoxi, obtenidos por laminación a mano de modelos en yeso, madera, etc.; o también metálicos, provistos a menudo de pestañas y canaletas periféricas y relativos dispositivos aprieta-juntas (pinzas, tornillos de mariposa, etc.).

La técnica operativa del sistema es la siguiente: una vez dispuesto sobre el molde el refuerzo de fibras de vidrio, parcialmente impregnado, se coloca sobre éste un diafragma de PVC, neopreno (la goma común que también se emplea, es atacada y destruida rápidamente por la resina, por lo cual debe protegérsela del contacto directo mediante la interposición de una hoja de Cellophane o una película de las usadas como separador, por ejemplo), polietileno, alcohol polivinílico, etc., de 1 a 2 mm de espesor, que se cierra herméticamente según su contorno. A veces, el molde completo con el laminado se coloca en el interior de una bolsa o saco que lo envuelve totalmente.

Luego se conecta entre el molde y el diafragma o la bolsa, a un equipo de vacío por medio de una trampa para resina (recuperador del exceso de resina). La depresión así creada puede ejercer sobre el molde una presión de 0,5 a 1 Kg. /cm<sup>2</sup> aprox., que permite expulsar bien el aire del laminado en formación, lo que deberá favorecerse por algún medio destinado a abrirle camino, como por ejemplo una hoja porosa puesta en contacto con el estratificado.

Más simple todavía y más fácil de controlar que el sistema por vacío resulta el de presión directa que puede aplicarse colocando sencillamente el molde mismo, con su bolsa o diafragma, en un autoclave, o creando una cavidad por encima del molde, en la que se aplicará la presión por medio de aire comprimido (comúnmente entre 0,5 y 2 ó 3 Kg. /cm<sup>2</sup>). En cualquier caso deberán preverse oportunos dispositivos de drenaje para el exceso de resina y la evacuación del aire.

### **4.3 FORMACION CON PISTON FLEXIBLE**

Es un método poco usado que se deriva de los anteriores, pero que se aproxima por su técnica al estampado con moldes acoplados, y que puede dar bastante satisfacción, especialmente para la producción de pequeñas piezas de forma cóncava simétrica.

El elemento nuevo es un pistón macizo hecho de un material flexible, generalmente neopreno u otro elastómero apropiado, que se comprime contra el molde por la acción de un balancín o prensa, con una presión del orden de los 5 Kg./cm<sup>2</sup> que excepcionalmente, puede llegar hasta los 8 / 10 Kg./cm<sup>2</sup>.

Una vez acomodado debidamente el refuerzo sobre el molde, se vierte en el fondo la cantidad de resina necesaria, se cubre con una película Separadora y se baja lentamente el pistón. La resina se ve entonces obligada a penetrar a través de las fibras de vidrio y a subir poco a poco a lo largo del refuerzo, mientras que el pistón va adquiriendo la forma del molde, ejerciendo sobre sus paredes una presión cada vez mayor y más uniforme. Simultáneamente se suministra al molde calor, para iniciar y activar el proceso de endurecimiento.

#### **4.4 FABRICACION CON DOBLE MOLDE o RTM**

Es un sistema en el que todavía se utilizan resinas de polimerización en frío o muy baja temperatura, y aun cuando no requiere la aplicación de presiones, precisa el empleo de dos moldes, macho y hembra (molde cerrado), realizados generalmente en vidrio-poliéster o epoxi, con los bordes reforzados.

La impregnación puede hacerse por separado, sobre una hoja de acetato de celulosa o sobre cualquier otra película análoga.

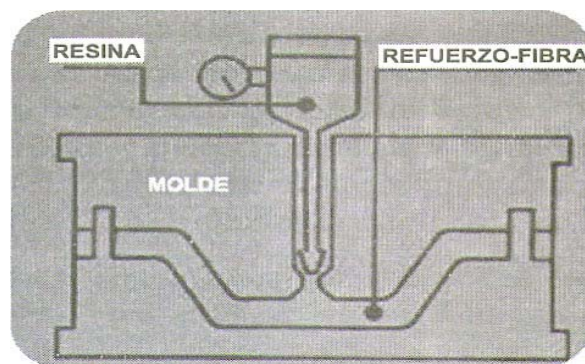
Una vez aplicada la resina se coloca encima del estratificado una segunda película transparente y mediante un rodillo se completa la eliminación de las burbujas de aire. Hecho esto se traslada el conjunto a uno de los moldes, adaptándolo a su forma; se encima el contramolde y se cierran firmemente las dos partes entre sí con la ayuda de tornillos u otros dispositivos apropiados.

De no ser posible el empleo de películas separadoras, por los pliegues que en una forma relativamente compleja podrían producirse, la impregnación se realiza directamente sobre el molde, previa aplicación de un agente de despegue, pero cuidando de manera muy especial durante el cierre de las dos partes la buena repartición de la resina, y de asegurar la salida del aire mediante la adopción de algún artificio.

En el caso de grande piezas, haciendo uso de moldes separables en varios elementos, que se van poniendo sucesivamente en el lugar correspondiente, es posible realizar la laminación por sectores y, asimismo, combinar este método con la formación a mano por contacto, a fin de lograr en algunas zonas en que fuera necesario, un mayor control del espesor y una mejor terminación. Los moldes cierran mejor con el refuerzo seco adentro.

Luego se vierte en la canaleta la cantidad necesaria de resina que, por efecto de succión o de la presión, se ve forzada a través del refuerzo repartiéndose poco a poco hasta llenar por completo la cavidad del molde. Al alcanzar la resina los visores de los orificios de salida, se cierra la llave de paso y se deja polimerizar, con o sin aporte suplementario de calor (Ver figura 54).

**Figura 54 Formación con doble molde**



*Fuente: Manual de aplicaciones poliéster, SUIN S.A.*

#### **4.5 FORMACION CON MATRICES METALICAS ACOPLADAS**

Es un método rápido, verdadero procedimiento de estampado netamente industrial, que permite ciclos de fabricación de tan solo 2 a 3 minutos y se emplea para producciones en gran escala (por lo menos del orden de algunos miles de unidades) de cualquier tipo de piezas. La formación se realiza con presiones de hasta 30 Kg. /cm<sup>2</sup>, pero más frecuentemente entre 3 y 10 Kg. /cm<sup>2</sup> para la resina poliéster, con temperaturas de polimerización de 110 a 130°C (hasta 70 / 100 Kg. /cm<sup>2</sup> y 180 / 200°C para otras familias de resinas).

Las matrices que se emplean son habitualmente de acero pulido y cromado, pero también puede usarse aluminio fundido, ligas especiales de zinc, hierro colado, etc. A menudo los bordes de estas matrices son especialmente tratados para

cortar por cizallamiento la fibra de vidrio sobrante, además de retener la resina en la cavidad del molde en la fase final de la operación de prensado. Llevan topes de arresto y dispositivos de calefacción, eléctricos o de vapor o aceite caliente.

Para hacer más rápido el ciclo de estampado especialmente cuando se emplean matrices de acero inoxidable o acero cromado, puede prescindirse de los agentes de despegue mediante el agregado de un lubricante interno a la resina (generalmente estearato de zinc) que, aflorando a la superficie en el curso de la polimerización, forma una película continua separadora que facilita el desmolde de la pieza.

Los refuerzos, oportunamente recortados o preparados de manera apropiada, pueden colocarse en el molde en estado seco, agregándose acto seguido la cantidad necesaria, o bien utilizarse preimpregnados. Las prensas para PRFV son casi siempre de dos velocidades: una, la más rápida, de acercamiento, necesaria para prevenir la gelación de la resina y la otra, muy lenta, de tan solo unos pocos centímetros por minuto, para el cierre final, destinada a evitar el desplazamiento violento de la resina y asegurar su correcta distribución; el mayor esfuerzo se aplica al momento del cierre, cuando la matriz empieza a cortar los bordes del refuerzo de vidrio.

La presión relativamente baja que se requiere para la formación de los plásticos reforzados permite realizar también elementos de muy grandes dimensiones (varios metros cuadrados) con prensas de potencia comparativamente poco elevada, siempre que estén equipadas con platos o suplementos apropiados para ello. Las dimensiones de las piezas producidas con este sistema quedan limitadas, en la práctica, al costo de las matrices y a la posibilidad de su amortización.

## 4.6 FORMACION POR CENTRIFUGADO

Es un procedimiento que sólo puede usarse, por supuesto, para la producción de tubos y cuerpos cilíndricos. La operación se realiza utilizando como molde de caño metálico que se hace girar a alta velocidad a fin de lograr, por medio de la fuerza centrífuga, una buena impregnación. Lo primero que se introduce en el molde, luego de aplicado el agente separador, es el refuerzo, que puede ser un tejido roving, normal o direccional, o también un mat o una combinación de ambos. Una vez que el molde está en movimiento y las capas de refuerzo se han adaptado a la pared, se vierte y distribuye la resina en el interior de la forma por medio de un aplicador especial (Ver figura 55).

La polimerización se realiza por lo común con suministro de calor, que puede ser aplicado ya sea exteriormente (infrarrojos de gas, etc.), como asimismo por medio de un calefactor colocado en el interior del molde. La misma contracción de la resina facilita el desmolde, una vez finalizado el proceso de endurecimiento.

La velocidad de rotación, que varia, entre otras causas, con el diámetro del molde y la viscosidad de la resina, y que debe mantenerse permanentemente bajo control durante la formación, oscila entre 500 y 3000RPM aproximadamente.

Este método admite normalmente el agregado de pigmentos y colorantes en la resina, pero no el de cargas, debido al elevado peso específico de casi todos los materiales de relleno, los que serian proyectados por tal motivo hacia la superficie externa del laminado.

La superficies que se obtienen son muy buenas, no solo la exterior en contacto con el molde, sino también la interior, debido a la mayor proporción de resina que se concentra en dicha zona por constituir el componente de menor peso específico (vidrio, 2,55- poliéster 1,10 / 1,20 gr./cm<sup>3</sup>). Este procedimiento permite, además, la

aplicación previa de un gel coat y también la incorporación de un velo de superficie si fuera necesario.

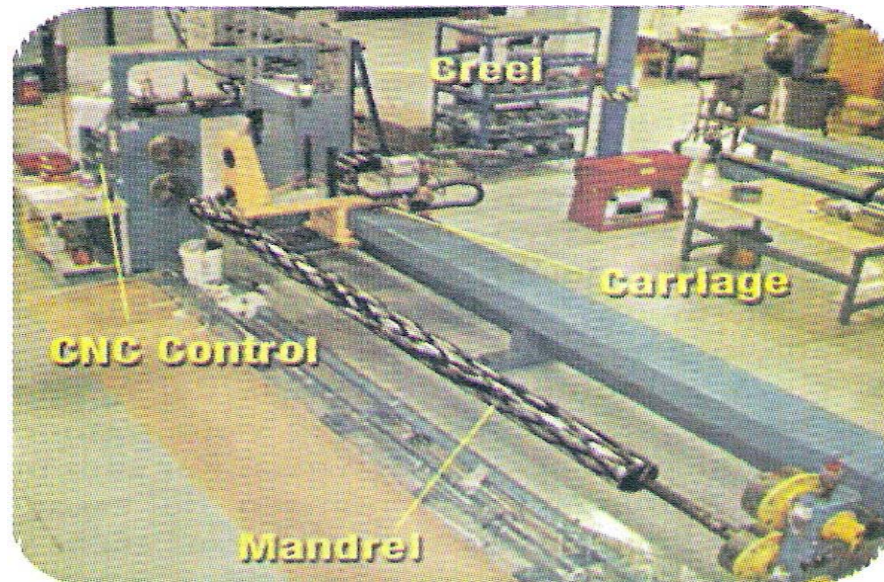
La fibra de vidrio se coloca en la superficie interior de un molde en rotación, de forma cilíndrica, tubular o paraboloide, también conocido como mandril hueco. La velocidad de rotación se controla con el fin de crear la fuerza centrífuga deseada. El molde, al igual que en el moldeo por contacto se le debe adicionar un agente de desmoldeo. La resina (ya catalizada) se puede introducir mediante distintos métodos como: rociado, inyección, por vertido, etc.

La fuerza centrífuga sirve para consolidar la mezcla y mantenerla unida al molde, y también induce la eliminación de aire existente en el refuerzo. La rotación continúa hasta que la resina ha gelificado. La gelificación puede acelerarse aumentando la temperatura del molde.

Una vez se ha realizado el curado, se separa la pieza del molde, aplicando el procedimiento más simple, es decir, aflojando la pieza y dejándola caer.

Entre los productos que se obtienen pueden citarse: tubos de diferente diámetro (de hasta 6 metros de diámetro) que se utilizan en las industrias químicas y del petróleo, y diversidad de recipientes cilíndricos para múltiples usos.

**Figura 55: Formación por centrifugado**



*Fuente: Manual de aplicaciones poliéster, SUIN S.A.*

#### **4.7 FORMACION POR ENROLLADO DE FILAMENTOS**

También conocido como proceso de Embobinado.

Consiste en enrollar filamentos continuos o mecha sobre un Molde giratorio, haciéndolos pasar primero por un baño de resina, el cual contiene un dispositivo que regula la cantidad de resina.

Se forman sobre el mandril varias capas de filamento hasta alcanzar el espesor requerido. El ángulo formado entre el eje de rotación y la hélice del embobinado varía entre 25 y 85 grados, sin embargo la mecha puede embobinarse en sentido longitudinal, helicoidal, circunferencial; esto dependiendo de las necesidades de resistencia que se requieran.

La fibra de vidrio utilizada en este proceso generalmente viene en forma de mecha



continua, pero se pueden utilizar otras formas como telas tejidas, mantas de hebras, etc. Los moldes también pueden ser de diversos materiales, aunque normalmente se utiliza acero.

El enrollado de filamentos es considerado como uno de los procesos más económicos para la producción de objetos cilíndricos, como: chimeneas, canalizaciones, tubos, etc.

#### **4.8 FORMACION POR ENVOLVIMIENTO (WINDING)**

Este sistema que consiste en el envolvimiento alrededor de una horma o mandril un refuerzo de fibras de vidrio (roving, cintas, tejidos), previa o sucesivamente impregnado con resina, se destacan algunos de los principales sectores de consumo de plásticos reforzados y algunas de sus aplicaciones más espectaculares, que incluyen: contenedores, para fluidos líquidos; cañerías de conducción de cualquier tipo; misiles, cohetes, torpedos y tubos de lanzamientos; depósitos de combustible, cámaras y toberas de salida de reactores y propulsores de vehículos espaciales, partes de satélites y capsulas espaciales, submarinos y vehículos para investigadores oceánicas; revestimientos de refuerzos de protección de tubos, tanques, etc.; realizados con distintos materiales; estructuras cilíndrica, cónicas, de doble cono, mixtas, etc. Y en general, cualquier otro elemento, pieza, cuerpo hueco también de forma insólita, cuya superficie se origina sin embargo en una figura de revolución (Ver figura 56).

La importancia de este particular método de formación que, independientemente de algunas variantes más simples, permite la realización de estructuras dotadas de las mayores características mecánicas de tipo direccional, con relaciones vidrio-resina más elevadas que las obtenidas con cualquier otro procedimiento, nos hace considerar oportuno detenernos un poco sobre sus principios y normas.

Los principios ya sea geométricos o cinemáticos, en que se funda este método de formación, son los mismos que utiliza la industria textil, y más exactamente, la hilandería, para la distribución de los hilados en conos, bovinas, etc. En sus líneas generales, la envoltura puede realizarse según dos esquemas distintos; circunferenciales o helicoidales.

El primero es bastante simple; se enrolla el roving o la cinta sobre la sagoma o mandril en un ángulo de  $90^\circ$  aproximadamente, con respecto a una de sus generatrices, mientras que por medio de un lento movimiento de traslación recíproco entre el roving y la sangoma, paralelo a su eje, se regula la sobre posición del refuerzo y se va cubriendo paulatinamente toda la forma.

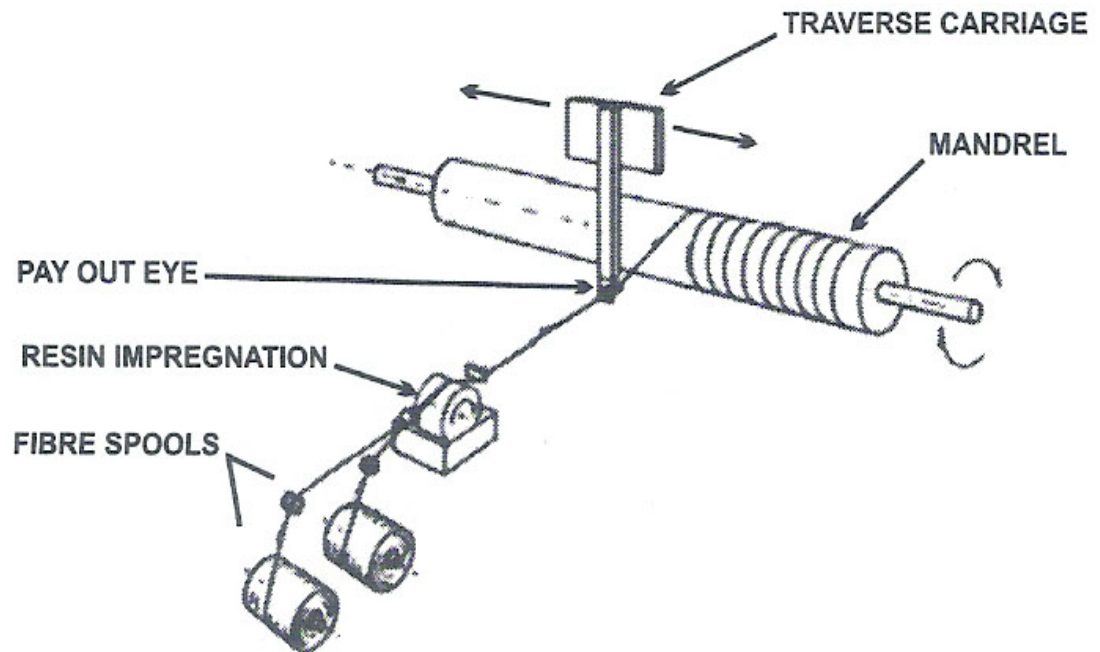
En la práctica, la realización de tal esquema puede hacerse de manera que sea el mandril el que gira, tirando directamente del esfuerzo a través de un dispositivo guía-hilos capaz de desplazarse longitudinalmente en una o ambas direcciones, para permitir, eventualmente, la repetición del ciclo de forrado hasta completar el espesor de pared deseado.

La envoltura circunferencial como puede fácilmente suponerse, adolece de algunas serias limitaciones:

- No permite obtener recipientes cerrados integrales, de una sola pieza, ya sea esférico o cilíndrico con fondos semiesféricos.
- No puede obtenerse estructuras cónicas o similares, que presenten una pendiente superior a los  $20^\circ$ .
- Es imposible producir elementos destinados hacer frente a esfuerzos distintos de los puramente circunferenciales, salvo en el caso de usarse

cintas tejidas o de contarse con otros esfuerzos roving dispuestos longitudinalmente.

**Figura 56: Formación por envolvimiento (winding)**



Manual de aplicaciones poliser, SUIN S.A

El sistema de envoltura helicoidal permite superar por completo tales limitaciones ya que permite obtener estructuras resistentes a todas las combinaciones pudiéndose realizar una envoltura en forma de ovillo.

#### **4.9 CASO PRÁCTICO EN PLANTA DE BOTES MOTOMARLIN S.A.**

Todo proceso de fabricación de productos de Plásticos Reforzados en Fibra de Vidrio sigue un proceso similar de producción, razón por lo cual se ha tomado como ejemplo la fabricación de botes o embarcaciones para trabajo y recreo.

MOTOMARLIN S.A. es una empresa dedicada a la construcción de botes en fibra de vidrio (materiales compuestos) para el sector náutico.

Dentro de este proceso que involucran los materiales compuestos o plásticos reforzados con fibra de vidrio, se tienen las aplicaciones que conciernen al diseño, aplicación, laminación y ensamble de piezas en fibra de vidrio.

El proceso de construcción se inicia con la encerada de un molde previamente construido con fibra de vidrio y un Gel Coat para moldes con características especiales y alta resistencia química.

Dentro de este proceso de construcción después de la encerada (cera a base de carnauba) que son seis o diez aplicaciones si el molde no está curado (curado, cuando en el molde se han sacado varias piezas), se continúa con la aplicación de un Gel Coat, que deberá tener un grosor entre 0.3-0.6 mm. Este Gel Coat deberá ser de resina de alta resistencia al choque, tixotrópica y que sea resistente a la intemperie o a aquellos agentes agresivos que vayan a estar en contacto con la pieza.

Este Gel coat cubre la fibra de vidrio y se aplica en el molde ya encerado, después de que esta aplicación, se procede con las fibras de vidrios (Mat. 600 gr., y Woven Roving 800 gr.) previamente cortada a la medida y resina poliéster adecuada para esta aplicación, el proceso se inicia en el adecuado suministro de materiales en proceso (Gel Coat, Resinas pre-aceleradas, fibra de vidrio, etc.), forma seguida el operario se ubicará en el área de laminación, después de terminar esperará que la laminación endurezca. Debemos disponer de un tiempo de gel de aproximadamente 15 min. No es recomendable que se a menor para que la temperatura de exotermia no sea demasiado elevada, lo que podría

producir grietas, pero tampoco mucho mas largo, dado que se produce entonces una gran perdida de estireno que hace que se pueda producir un curado incompleto. Por este mismo motivo se debe trabajar en un lugar donde no existan corrientes de aire.

Desmoldado la pieza esta se lleva al área de corte y pulida para finalmente ingresar al área de acabados y embalaje en donde se dará su disposición final en el almacén de productos terminados.

## **5. PROTECCION Y CUIDADO QUE SE DEBE TENER EN EL AREA DEL POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN CUANTO A PRODUCTOS QUIMICOS**

Los problemas relacionados con la salud y el medio ambiente reciben cada vez mayor atención. Las atmósferas de los lugares de trabajo y el aire acondicionado de la industria del poliester reforzado con fibra de vidrio (PRFV) están seriamente afectados por las emisiones de estireno provenientes de las resinas poliester.<sup>10</sup>

Debemos considerar que las sustancias químicas que se utilizan en los trabajos relacionados con PRFV, son altamente volátiles e inflamables (vapores de estireno), asimismo el proceso de fabricación incluye una reacción exotérmica y desprendimiento de vapores de estireno en la polimerización de la resina; debemos tener en cuenta que aún después del curado del producto se siguen desprendiendo vapores de estireno, que representan un peligro para los operarios en proceso de producción.

### **5.1 ALMACENAMIENTO**

El estireno, debe estar completamente incoloro y transparente. Para verificar su estado, mezcle una parte de estireno con cinco partes de etanol, agítelo vigorosamente y observe si la mezcla se pone turbia. Si el estireno cambia de

---

<sup>10</sup> ANDERCOL S.A.: boletín informativo. Diciembre. 1996. P 1

aspecto, deseche o trabaje con cuidado el producto ya que posiblemente esta a punto de dañarse.<sup>11</sup>

El mek peroxido al igual que el estireno, debe estar incoloro y transparente, libre de estireno y separación de fases. Si observa algo anormal, el producto puede tener problemas. Nunca trabaje el mek peroxido viejo o vencido, su tiempo de gel será impredecible, genera además piezas sub. Curadas o lo que es peor, piezas con endurecimiento parcial.

Utilizar mek peroxido con alto contenido de agua, también es perjudicial, el agua es el resultado de un mal almacenamiento, inestabilidad del producto o vejez. Se puede verificar el contenido de agua, mezclando partes iguales de mek peróxido y de estireno, observe si la mezcla se pone turbia y en especial si los dos líquidos se separan. Si esto ocurre, deseche el producto, no lo utilice, pues puede traer defectos posteriores en las piezas.

Siempre que se utilice pastas pigmento para colorear el gel coat, se debe mezclar bien la pasta antes de sacar la cantidad necesaria. Si se requiere mezclar colores para entonar el gel coat, en lo posible gastar dicha preparación en ese momento, pues la mezcla con el tiempo se separara causando cambios de color. Si queda algo de mezcla de colores, ya sea pasta pigmento o gel coat entonado, se debe antes de utilizar, homogeneizar bien para evitar cambios de color.

Recuerde que las resinas preparadas de fábrica y el gel coat, ya vienen listos para su uso. Es mejor no agregar ningún otro aditivo para no dañar sus propiedades. Solo se agrega el color en el caso del gel coat y el catalizador, al momento de trabajar. Estos productos deben mezclarse antes de su uso, para homogeneizar el aditivo tixotrópico, que pudo haberse asentado durante el almacenamiento.

---

<sup>11</sup>Empresa suministros industriales: manual de aplicaciones Poliser .2006. p 31

## 5.2 SEGURIDAD Y MANEJO

Como se ha visto en las páginas anteriores, el manejo de los materiales y las técnicas de aplicación son sencillos, muy prácticos y fáciles. Pero **cuidado**: aquí se manipulan sustancias químicas corrosivas, tóxicas e inflamables que se deben manejar con respeto y cuidado. Siempre, observe las normas de seguridad y el sentido común para hacer de este oficio algo seguro para nosotros y la comunidad en general.

Los productos que se manejan, a excepción de las fibras de vidrio y las cargas minerales, generan vapores que pueden explotar o iniciar un incendio cuando entran en contacto con:

- Cigarrillos y fósforos
- Fogatas
- Elementos calefactores o con sobre calentamiento
- Soldadura
- Chispas de motores eléctricos o gasolina
- Alambres eléctricos en mal estado que pueda generar chispas
- Chispas generadas por electricidad estática

La electricidad estática se genera cuando hay partes en movimiento de líquidos. Máquinas, bombas, motores y recipientes, se deben aterrizar o conectar a tierra para evitar descargas eléctricas. Esto se hace conectando la máquina o envase con un alambre a una tubería metálica que conduzca agua o con una varilla larga de cobre enterrada en la tierra.

Para evitar las chispas de los motores eléctricos, esta industria prefiere el uso de motores neumáticos movidos por aire comprimido (taladros, pulidoras, cortadores



de fibra, etc.). Si se trabaja con motores eléctricos, estos y todas las instalaciones eléctricas, deberán ser a prueba de explosión.

También, se debe evitar la acumulación de vapores. Tenga en cuenta lo siguiente:

- Trabajar en locales sin paredes o bien ventilados, instale sistemas adecuados para la extracción de gases, mantenga los envases de la materia prima bien tapados, use equipos de aspersión adecuados, que generen baja polución, etc.; estas recomendaciones ayudan en este propósito, evitan muchos accidentes y mejoran la eficiencia de los trabajadores. Estos vapores, causan cansancio prematuro e irritación de las vías respiratorias.
- Los sistemas de extracción de gases, deberán ubicarse a la misma altura o por debajo de las mesas de trabajo, ya que los vapores generados, son pesados y tienden a acumularse en el piso.
- El área de almacenamiento de las materias primas, debe ser un lugar fresco, aireado, libre de los rayos solares, con adecuados sistemas contra incendio (extintores) e instalaciones eléctricas a prueba de explosión.
- Todas las materias primas deben permanecer bien tapadas. El cobalto y el mek peroxido deben almacenarse separadamente.
- El mek peroxido es el material que exige la mayor precaución. Debe almacenarse en envases plásticos, preferiblemente en recipientes pequeños. Nunca exponga al sol o al calor, ni mezcle

con otra sustancia, ya que se pueden iniciar reacciones explosivas.

- El mek peroxido es un agente oxidante que reacciona violentamente con aceleradores, sales de metales pesados, agentes reductores, ácidos, bases, materiales inflamables y orgánicos. Al contaminarse puede reaccionar, causar auto ignición, generar gran cantidad de gases, explotar y arder vigorosamente, a cualquier temperatura.
- Descarte recipientes de mek peroxido que se inflen, burbujeen o que hayan pasado su fecha de vencimiento. Pida información a su proveedor sobre la forma mas segura de descargar el mek peroxido. Nunca lo bote en las cañerías. Si se presentan derrames de mek peroxido, seque con un material absorbente inerte en polvo; luego recoja en un abolsa de polietileno y disponga de acuerdo con las indicaciones del proveedor.
- Es importante prestar especial cuidado con las basuras, los materiales depositados allí, generalmente son combustibles, además, están contaminados con solventes, aceleradores y catalizadores, los cuales en presencia del calor, pueden iniciar un incendio.
- A excepción del mek peroxido, las demás materias primas liquidas, deben almacenarse en envases metálicos o de vidrio color ámbar, para evitar la acción nociva de la luz ultravioleta.

Use todos los elementos de protección en especial, cuando se esta manipulando el mek peroxido, el estireno, solventes, etc. Si cae cualquiera de estas sustancias en los ojos, lavase con agua durante quince minutos y consulte al medico.

Los productos químicos en especial los solventes y limpiadores, cuando se tienen un contacto frecuente o prolongado con ellos, producen irritación sobre la piel (dermatitis). Evite esta enfermedad con el uso de limpiadores especializados (crema limpiadora “Glass”) o en lo posible, con el uso de guantes.

Los productos manejados en nuestra industria, son moderadamente tóxicos. Si por error hay ingestión, procure no inducir el vomito y llamar inmediatamente un medico.

Se debe tener especial cuidado con la manipulación de envases parcialmente llenos, la acumulación de vapores puede con un golpe o chispa, hacer explotar el producto.

### **5.3 Elementos de protección**

Durante todo el tiempo de trabajo, la persona debe tener todos los elementos de seguridad que protejan su salud y hagan seguro su oficio. Estos elementos son:

- Overol con manga larga.
- Delantal que cubra hasta el pecho (Ver figura 57)
- Botas de seguridad hasta el tobillo (Ver figura 59)
- Gorro protector para la cabeza. (Ver figura 58)
- Mascarilla para polvos o vapores químicos (según el oficio). (Ver figura 58)
- Gafas de seguridad. (Ver figura 58)
- Guantes de hule resistentes al estireno.

El sitio de trabajo debe tener ducha de seguridad con equipo lavador de ojos. No se trata de ir a extremos con el uso del equipo de protección personal. Las personas que trabajan en este oficio, deben saber los riesgos que se corren. A mayor prevención más se evitara los costos de accidentes que muchas veces son irreparables.

**FIGURA 57: Equipo de protección personal en aplicaciones de poliéster reforzado**



*Fuente: Catálogo General - Empresa SUMIGLAS*

**FIGURA 58: Equipo de protección para la cara**



*Fuente: Catálogo General - Empresa SUMI GLAS*

**FIGURA 59: Protección para los pies**



*Fuente: Catálogo General - Empresa SUMIGLAS*

#### **5.4 ¿Qué son los agentes químicos?**

Son agentes químicos tanto aquellos que se presentan en forma natural, sustancias químicas, como aquellos a los que da lugar el hombre en sus procesos productivos, preparados químicos. Ambos son igualmente peligrosos para el hombre, y más aún para los trabajadores que se exponen a ellos en su trabajo diario. El peligro que entrañan está en función de la dosis a la que estemos sometidos.

Los efectos, por tanto, estarán en función de la dosis recibida y en relación directa con la toxicidad de la sustancia química, ya que cada una tiene una capacidad diferente de actuar en el organismo humano y cada una da lugar a un tipo de reacción diferente. Las vías de penetración de los agentes químicos son:

**5.4.1 Vía respiratoria.** Es la vía de penetración más común de todas. La inhalación de agentes químicos junto al aire que respiramos en el medio ambiente laboral es habitual. Los filtros naturales de nariz, boca, y en general de todo el aparato respiratorio, no es suficiente para frenar la entrada de vapores, polvos, gases y aerosoles.

**5.4.2 Vía dérmica.** Muchos agentes penetran por la epidermis con el simple contacto, no siendo necesaria la existencia de erosiones o llagas; simplemente al perderse la totalidad o parte de los aceites protectores, por la acción de disolventes, penetran hasta llegar al torrente sanguíneo. La piel, al ser la parte del cuerpo de mayor extensión, ha de ser protegida contra el contacto y la exposición de entornos laborales agresivos.

**5.4.3 Vía digestiva.** La ingestión de agentes químicos por el aparato digestivo puede producirse tanto por la dificultad de proteger esa vía frente a cualquier agresión como por los malos usos laborales (como, por ejemplo, comer y beber en el lugar de trabajo).

**5.4.4 Vía parenteral.** Quizá sea la forma más directa de contaminarse, pero también de las menos habituales. Es necesaria la existencia de heridas o llagas para que pueda tener lugar una infección por vía parenteral.

**Importante:** *En cualquier caso es importante señalar que la concentración de elementos químicos en el aire es el mayor problema para los trabajadores; polvos, Aerosoles, gases y vapores son susceptibles de penetrar por cualquiera de las Vías señaladas. Por ello es necesaria la protección directa de los trabajadores por medio de los equipos de protección individual, el control del foco y el del medio.*

## **5.5 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN**

Por ejemplo la protección contra partículas volantes hace indispensable que el equipo de protección de los ojos se ajuste estrechamente alrededor de la cavidad o cuenca del ojo, pero han de suministrarse orificios de ventilación en lugares adecuados para evitar que las gafas se empañen. El método para disponer la ventilación de las gafas variará; en un caso podrá emplearse una rejilla de alambre en lugar de un lente de cristal, por la mayor capacidad para ventilación que así se obtiene; sin embargo, si la exposición es a vapores irritantes será necesario que el dispositivo de protección no solamente sienta bien alrededor de la cuenca de ojo, sino que habrá de estar completamente cerrado, para que los vapores en el aire no hagan contacto con el ojo.

Los materiales utilizados en la construcción del equipo protector de los ojos deberán ser no corrosivos, fáciles de limpiar, y en muchos casos no inflamables, y la parte transparente, deberá ofrecer el campo de visión más amplia posible, sin distorsión apreciable o efecto de prisma. (Ver tabla 6)

**Tabla 6: clasificación de equipos de protección<sup>12</sup>**

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Gafas	Copas de forma anatómica, que se mantienen cerca de la cuenca del ojo mediante una banda elástica.
Químicas	Construidas con materiales resistentes a la corrosión, y en los que se utilizan lentes resistentes al impacto, utilizando pantallas laterales con ventilación indirecta; protegen contra el salpicado y el riesgo en cualquier dirección.
Polvo	Construidas con pantallas laterales especiales para ventilación y salvaguardar los ojos en todas las direcciones contra los polvos y las pequeñas partículas flotantes volantes.
Vapores químicos	Lentes que están moldeados a una armadura de goma que se acomoda al contorno de la parte superior de la cara. No cuentan con ventilación, y las gafas, por lo tanto, ofrecen protección contra gases, humos o vapores: para reducir el empañado de los vidrios, este tipo esta con frecuencia equipado con una copa de agua interconstruidas para cada lente.

---

<sup>12</sup> Manual sobre normatividad, tipología, uso y mantenimiento de los elementos de protección personal. 2006 .P 219



## 5.5.1 PROTECCION RESPIRATORIA

**FIGURA 60: Protecciones respiratorias para polvo y sustancias químicas**

**Respirador de cartucho químico**



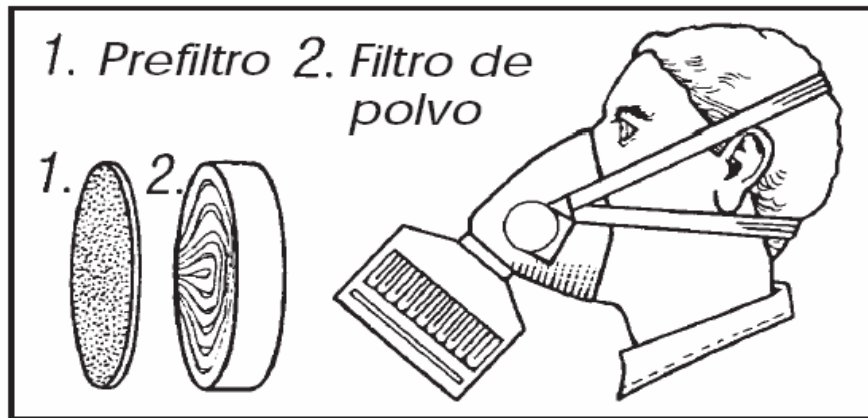
**Respirador de polvo**



*Fuente: Manual sobre normatividad, tipología, uso y mantenimiento de los elementos de protección personal. Universidad Tecnológica de Bolívar, 2006*

**Respiradores de Polvo:** Protegen contra los polvos que causan Neumoconiosis, tales como el asbesto y la sílice libre, y polvos perjudiciales tales como el carbón, harina, yeso, madera, aluminio, cal y cemento; polvos tóxicos que no sean evidentemente mas tóxicos que el plomo, tales como manganeso, plomo, arsénico, cromo, selenio, cadmio, vanadio y sus compuestos. Cada respirador debe contar con una etiqueta o certificado de aprobación de la OSHA, en el que se describan los materiales para los cuales el respirador ofrece la protección aprobada.

**Figura 61: Mascara con filtro de polvo**



**Fuente:**[http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man\\_oit/pdf/man12.pdf](http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man_oit/pdf/man12.pdf)

**5.5.2 PROTECCION DE MANOS Y BRAZOS** Por la fragilidad de los dedos, manos y brazos, se recomienda usar elementos de protección; en el mercado existe una amplia variedad de estos, adecuados para diversas operaciones especializadas, el elemento mas común es el guante, que de acuerdo a sus materiales y sus diversas adaptaciones hace que tengan un amplio uso de acuerdo a los ambientes que determinan su uso.

Un medio practico para proteger las manos contra las soluciones liquidas son los llamados guantes de hule sintético (nitrilo o neopreno), ya que los fabricados por hule natural son deteriorados por los compuestos derivados por el petróleo, perdiendo así su efecto protector o de permeabilidad.

### 5.5.3 PROTECCION PARA LOS OJOS

**FIGURA 62: Protección para los ojos, polvo y químico**

Químicas



Polvos



*Fuente: Tomada del manual sobre normatividad, tipología, uso y mantenimiento de los elementos de protección personal. Universidad Tecnológica de Bolívar, 2006*

Polvos



*Fuente: Tomada del manual sobre normatividad, tipología, uso y mantenimiento de los elementos de protección personal. Universidad Tecnológica de Bolívar, 2006*

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de este proyecto obedeció a una necesidad de información específica y consolidada que permita al cuerpo de estudiantes, docentes y demás, contar con una guía para orientarse en cuanto al tema de PRFV (plásticos reforzados con fibra de vidrio).

El gran desarrollo, desde la aparición de las resina poliéster en el mercado, se ha dado más a nivel del proceso de transformación, que del proceso de síntesis o fabricación del polímero.

Las Resinas de Poliéster representan una alternativa de material y producto terminado de grandes bondades y ventajas comparativas con otros materiales (madera, aceros, etc...) tanto en términos técnicos (flexión, tracción, compresión, torsión, elasticidad y térmicas) y aspectos económicos (bajo costo de producción, diseños fáciles y económicos de desarrollar, materias primas de stock local, etc.) lo que da una gran ventaja comparativa con otros materiales. Es importante para las empresas de este sector difundir en mayor proporción estas bondades y poder obtener mejores oportunidades de negocio.

Con este manual práctico se busca que los estudiantes de pregrado y técnicos en la materia tengan una idea clara de los materiales compuestos o plásticos reforzados con fibra de vidrio en cuanto a su diseño y aplicación de los materiales teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas y químicas

Las empresas de acuerdo a las exigencias de precio por la competencia de mercado deben de buscar de minimizar sus costos optimizando sus procesos productivos (procesos en línea, orden, limpieza, etc.), invirtiendo en herramientas de mayor eficiencias y menor consumo de energía (neumáticas u otros), ahorrando el consumo de material (dentro de las escalas de calidad permisibles, etc.).

Todas las empresas en general buscan controlar la calidad de sus procesos mediante técnicas de laminación y aplicación, para esto utilizan herramientas (urómetro Balcol, viscosímetros, pruebas químicas, etc.) que garanticen inicialmente la calidad de las materias primas y materiales a usar (viscosidad, gelado, humedad de la fibra, etc..) en los productos terminado.

## BIBLIOGRAFIA

- ✚ DIEZ PAJON, Agustín M. MANUAL DE APLICACIONES POLISER, Medellín – Colombia 2006.
- ✚ Suministro Glass Ltda. “SUMIGLAS”. Catalogo general, herramientas Glass, Medellín- Colombia.
- ✚ CARVALHO, Andrés GUIA DE LAMINACION MANUAL Y A PISTOLA, SAO PAULO, ENERO DE 1991, OWENS CORNING.
- ✚ OWENS CORNING, PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO, GUIA DE FABRICACION POR LOS PROCESOS MANUAL (HAND LAY-UP) Y A PISTOLA (SPRAY – up)
- ✚ MODERN PLASTIC ENCICLOPEDIA, NEW YORK, MC. GRAW HILL, 1980 VOL. 3 P 110
- ✚ CHALITA FAJEL, Roberto. Una Nueva Visión Hacia Los Plasticos Reforzados Con Fibra De Vidrio, Barranquilla- Colombia. P. 12, 13,3,8,16,18

## ANEXOS

### ANEXO A: Características en gramaje Tela Matt

<b>PESO NORMAL</b>	<b>PESO MINIMO</b>	<b>PESO MAXIMO</b>
<b>1.0 oz./ft<sup>3</sup> ( 300g/mt<sup>2</sup>)</b>	<b>268.5</b>	<b>341.7</b>
<b>1.5 oz. /ft<sup>3</sup> ( 450 g/mt<sup>2</sup>)</b>	<b>420.9</b>	<b>517.7</b>
<b>2.0 oz. /ft<sup>3</sup> (600 g/mt<sup>2</sup>)</b>	<b>537.1</b>	<b>683.5</b>

### ANEXO B: Características en gramaje tela Woven Roving

<b>PESO NORMAL</b>	<b>PESO MINIMO</b>	<b>PESO MAXIMO</b>
<b>500 g/mt<sup>2</sup></b>	<b>450</b>	<b>550</b>
<b>850 g/mt<sup>2</sup></b>	<b>765</b>	<b>935</b>

**ANEXO C: Relación Entre El Método De Formación, El Tipo De Refuerzo Y Las Propiedades Mecánicas De Los Estratificados Vidrio-Poliéster (Valores ilustrativos, variables especialmente con el contenido de vidrio y el modus operandi)**

Método de formación	Tipo de refuerzo*	Proporción fibra de vidrio %	Resistencia a la tracción Kg./mm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión Kg./mm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión Kg./mm <sup>2</sup>	Modulo de Young Kg./mm <sup>2</sup>	Resistencia al choque (Charpy) Kg./mm <sup>2</sup>
A mano por contacto	Fieltro o proyección simultanea	20-30	6-9	10-15	8-12	500-700	7-10
	Fieltro + estera roving	30-40	8-10	10-15	9-12	600-900	8-40
	Estera roving	40-45	10-16	12-20	10-14	800-1.200	30-50
Con saco elástico, por presión o vacío <sup>1</sup>	Fieltro o proyección simultanea	30-40	8-14	9-18	10-16	600-900	10-25
	Fieltro + estera roving	35-55	10-18	12-20	10-18	800-1200	20-50
	Estera roving	45-60	12-18	15-20	10-18	900-1.200	40-80
	Tejido sillionne	50-65	15-25	18-30	12-20	900-1.500	50-70
Bajo prensa, con presiones ≤10 Kg./cm <sup>2</sup>	Esters roving					1.500-	
	Tejido sillionne	45-65	15-25	20-40	16-30	2.500	130-180
		50-70	20-40 <sup>2</sup>	30-65 <sup>2</sup>	25-40	1.200-3.000	140-180
Estampado bajo prensa	Compounds (fibras cortadas + cargas)	15-30	10-18	15-20	15-22	800-1.200	>50
	Tejido sillionne preimpregnado	50-75	20-50 <sup>2</sup>	30-75 <sup>2</sup>	30-45	1.800-3.500	140-180
Centrifugación	Fieltro	25-35	8-12	9-15	9-14	700-900	15-30



	Fieltro + tejido sillionne	35-45	12-18	12-20	10-15	900-1.300	20-60
Filament Winding	Roving	70-85	100-120 <sup>3</sup>	90-100 <sup>3</sup>	20-35	5.000-6.000	>180

<sup>1</sup>Las mejores características se obtienen con presión directa.

<sup>2</sup>Los valores mas altos corresponden a tejidos direccionales, en el sentido preferencial.

<sup>3</sup>En el sentido circunferencial.

\*Entiéndase por fieltro = Mat, Estera=Woven Roving

**ANEXO D: Espesor de pared de algunos objetos típicos realizados en PRFV (Valores en mm dados a título de orientación)**

Elementos de plástico reforzado ( vidrio poliéster)	Formación a mano por contacto	con saco elástico o molde cerrado	Premix	Sistema a winding	Por poltrusion en continuo
Armarios y pupitres para tableros eléctricos		2-3,5			
Asientos – sillas		2,5-3,5			
Bandejas		1,5-2			
Bañaderas y artefactos sanitarios	3-3,8	2,8-3,2			
Bases y zócalos para aparatos eléctricos			2,5-5,5		
Cajas para relojes para control de personal		2-2,3			
Calefactor de automóvil			2-3,9		
Caña para pescar, macizas					5-12,5
Caños ø 50 a 150 mm (presión de rotura 20-35 Kg./cm <sup>2</sup> )				2,2-4,5	
Carteas para soldadores		1,3-1,8			
Carrocerías de automóviles sport	2,5-3,5	1,6-2,6			
Carrocerías isotérmicas o frigoríficas	3,5-4	3,2-3,5			
Carters y defensas de pequeñas y medianas dimensiones		1,8-2,8			
Carters y defensas para maquinas de grandes	2,5-3,5	2,3-3,2			

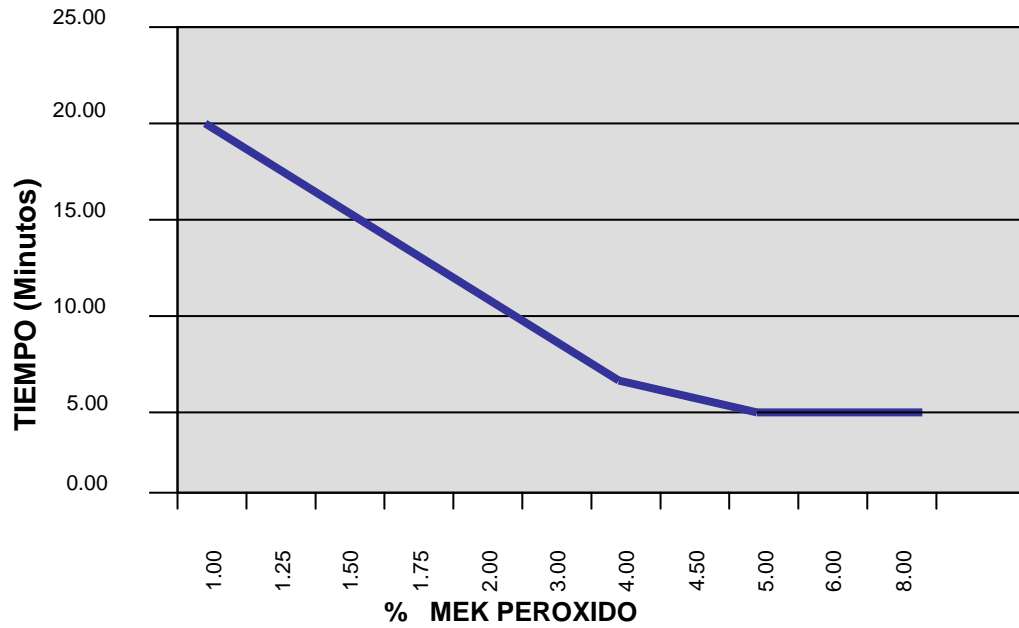
dimensiones					
Cascos de embarcaciones de 3 m de eslora aprox.	3-3,8	2,6-3,2			
Cascos de embarcaciones de 5 m de eslora aprox.	3,5-4	2,8-3,5			
Cascos de protección		1,2-1,5			
Cubiertas para motores	1,8-3	1,8-2,7			
Chapas tipo invernáculo					0,8
Chapas planas tipo ventana					1,2-1,8
Chapas onduladas para divisorios y decoración					1-1,2
Chapas onduladas para techos y aplicaciones industriales					1,2-2,8
Guardabarros para autos y camiones	2,5-3,5	2,5-2,8			
Muebles de televisores		1,9-2			
Perfiles comunices para varios usos					3,5-3,8
Piletas comunes para varios usos					
Piletas para galvanoplastia de aprox. 4x1x1	3-4	2,5-3,2			
Placas y marcos para filtros-prensa			5-8		
Radomes para aviones				7,5-9,5	
Tanques para lavarropas familiares		2,3-2,5	3-4		
Tanques 200÷2.000 litros				3-5	
Tanques para 4.000 l, de 130 cm. de diámetro aprox.				6-6,5	

**ANEXO E: Análisis comparativo “resistencia - peso “de algunos materiales**

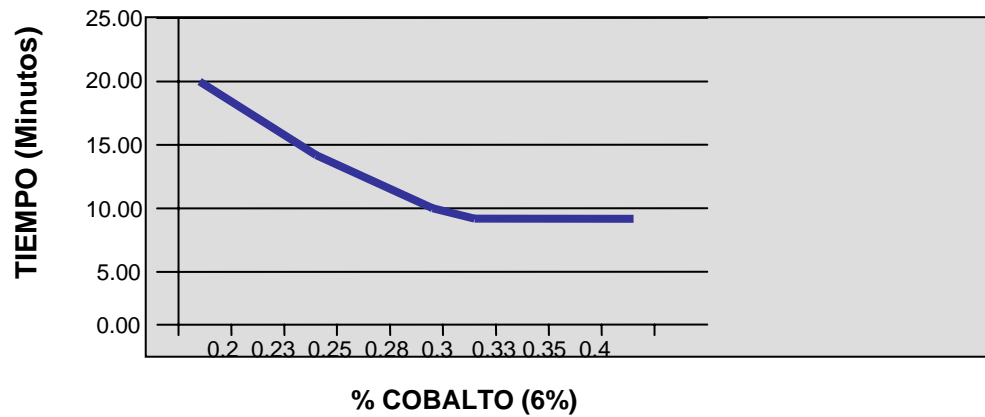
Materiales		Peso específico	Resistencia a la flexión			Rigidez			Resistencia a la tracción		
			Resistencia a la flexión	Espesor equivalente para una misma sollicitación	Peso de un elemento de 1 m <sup>2</sup> por el espesor hallado	Modulo de elasticidad a la flexión	Espesor equivalente para una misma prestación	Peso de un elemento de 1 m <sup>2</sup> por el espesor hallado	Resistencia a tracción	Espesor equivalente para una misma sollicitación	Peso de un elemento de 1 m <sup>2</sup> por el espesor hallado
			g/cm <sup>2</sup>	Kg./c m <sup>2</sup>	mm	Kg.	Kg./c m <sup>2</sup> x 10	Mm	Kg.	Kg./c m <sup>2</sup>	mm
Plásticos reforzados termoendurentes	Epoxi-fibras de vidrio (formación por enrollamiento)	2,2	19.000	0,85	1,87	4,9	3,8	8,36	17.500	0,025	0,06
	Poliéster-fibras de vidrio (perfiles y barras fabricadas por pultrusion)	2,0	12.500	1,0	2,0	4,2	4,0	8,0	12.500	0,025	0,05
	Epoxi-tejidos de vidrio	1,8	7.000	1,4	2,52	2,8	4,35	7,80	4.200	0,05	0,09
	Poliéster-fibra de vidrio (mats o preformas)	1,7	3.150	2,0	3,40	1,25	5,6	9,52	1.700	0,1	0,17
	Poliéster-fibra de vidrio (formación con equipos de aspersión)	1,6	1.960	2,6	4,18	0,85	6,5	10,40	1.260	0,15	0,24
	Poliéster-fibra de vidrio (compounds)	2,0	1.820	2,75	5,50	1,75	5,1	10,20	700	0,25	0,50
	Fonólica-fibra de vidrio (compounds)	1,9	1.680	2,85	5,42	2,1	4,75	9,03	1.190	0,15	0,29
Termostásticos	Nylon-fibra de vidrio	1,36	2.800	2,2	3,0	0,85	7,1	9,65	2.170	0,075	0,10

	Poliestireno-fibra de vidrio	1,3	1.400	3,1	4,02	-	8,7	11,30	1.050	0,17 5	0,23
<b>Termoplásticos no reforzados</b>	Nylon	1,14	1.020	3,5	4,10	0,29	9,3	10,64	840	0,2	0,23
	Poliestireno (usos generales)	1,06	1.050	5,0	5,3	0,28	21,0	22,26	630	1,0	1,06
	Poliestireno (resistencia al choque)	1,08	350	8,0	8,64	0,35	13,0	14,0	450	0,6	0,65
	PVC rígido	1,44	1.050	3,5	5,05	0,42	8,0	11,55	630	0,27 5	0,40
<b>Metales</b>	Acero de bajo tenor de carbono	7,8	1.960	2,6	20,03	21,0	2,2	17,2	2.300	0,1	0,78
	Acero inoxidable	7,92	2.450	2,3	18,21	19,6	2,25	17,82	2.450	0,07 5	0,60
	Aluminio semi trabajado	2,8	1.400	3,1	8,68	7,0	3,2	8,96	1.890	0,32	0,90
	Aluminio fundido	2,96	560	4,9	14,50	7,0	3,2	9,47	1.820	0,32 5	0,96
	Magnesio fundido	1,8	980	3,7	7,03	4,5	3,7	7,03	980	0,17 5	0,34

**ANEXO F:** influencia del mek p. En el tiempo del gel  
(0,3% de co al 6%)



**ANEXO G:** influencia del contenido de acelerador en el tiempo de gel (2% mek p.)



**ANEXO H: propiedades de resistencia de los laminados con telas de fibra de vidrio mat y woven roving**

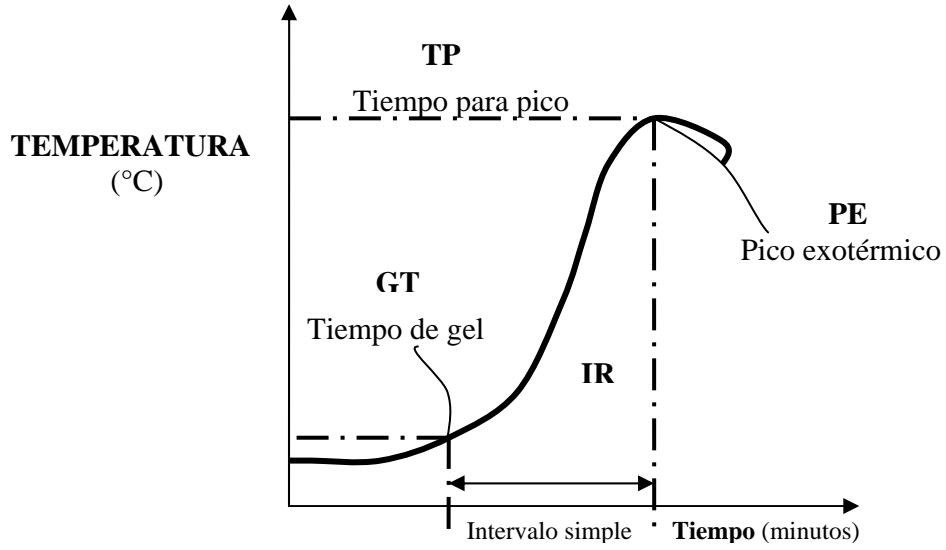
<b>TIPO DE LAMINADO</b>	<b>CONTENIDO %FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>ESPESOR M.M.</b>	<b>RESISTENCIA A LA FLEXION MN/M<sup>2</sup></b>	<b>MODULO DE FLEXION GN/M<sup>2</sup></b>	<b>RESISTENCIA A LA TRACCION MN/M<sup>2</sup></b>	<b>MODULO DE ELASTICIDAD GN/M<sup>2</sup></b>
<b>Mat-Ma</b>	<b>30</b>	<b>2.2</b>	<b>150</b>	<b>6</b>	<b>100</b>	<b>6</b>
<b>WR-Mat-WR</b>	<b>42</b>	<b>3.0</b>	<b>250</b>	<b>7</b>	<b>190</b>	<b>10</b>
<b>Mat-WR-Mat</b>	<b>35</b>	<b>3.0</b>	<b>175</b>	<b>7</b>	<b>140</b>	<b>8</b>
<b>WR-Mat-WR-Mat-WR</b>	<b>45</b>	<b>5.6</b>	<b>190</b>	<b>11</b>	<b>220</b>	<b>10</b>

**Notas:**

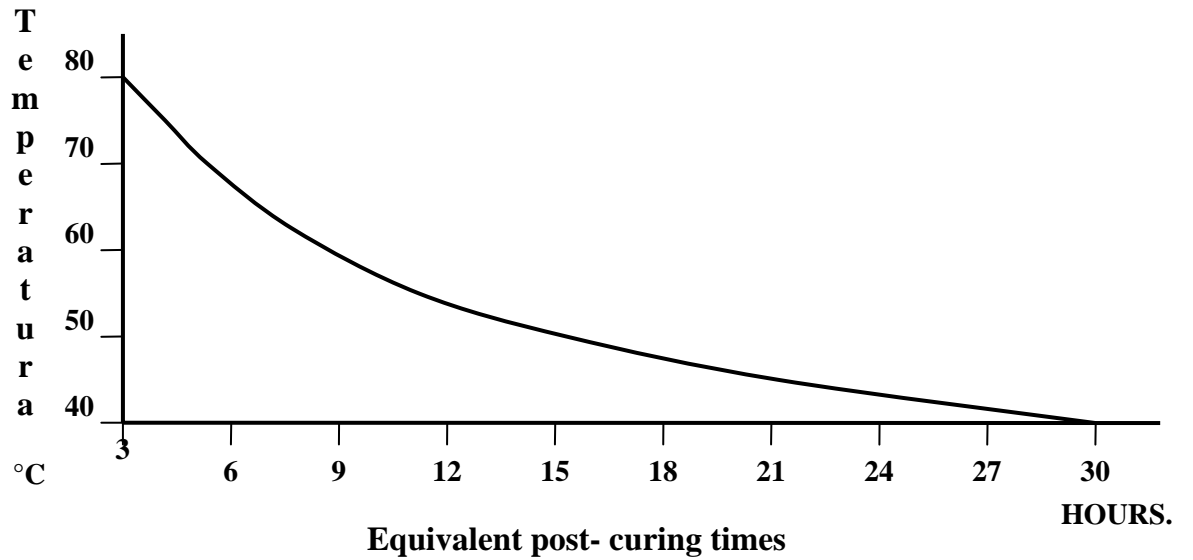
**Mat: fibra Mat de 450 gr/m<sup>2</sup>**

**WR: fibra Woven Roving de 800 gr/m<sup>2</sup>**

**ANEXO I: Ciclo de Cura**

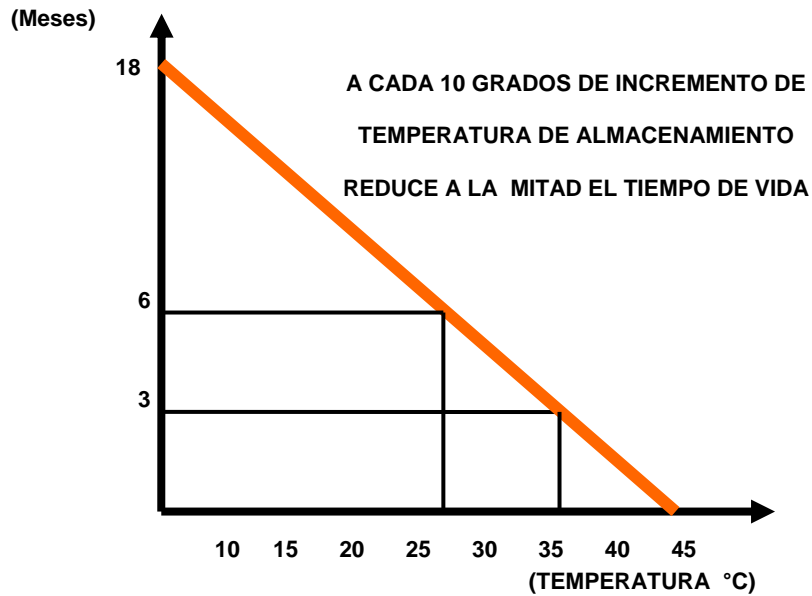


**ANEXO J: Maduración del poliéster – tiempos de postcurado de acuerdo con la temperatura**

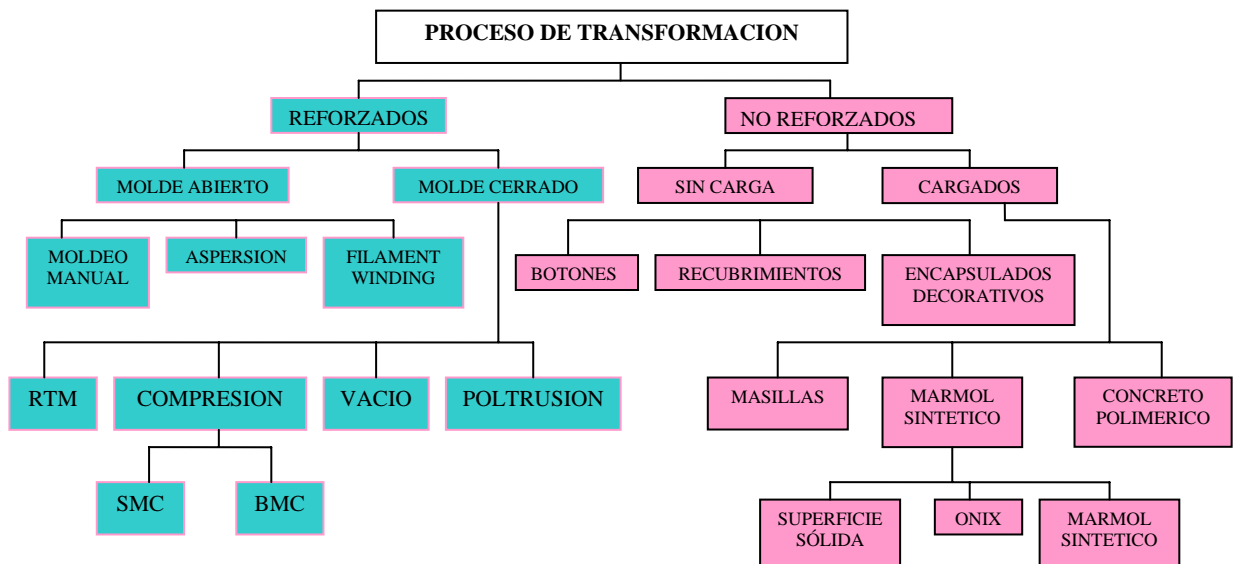




**ANEXO K: ALMACENAMIENTO** – tiempo de vida de la resina poliester, gel coat, estireno, aceleradores y catalizadores de acuerdo con la temperatura



**ANEXO L: Proceso de Transformación del plástico reforzado con fibra de vidrio**



**ANEXO M: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta Temperatura**

		Resina									
		% conc. ++	CRISTALAN 805	CRISTALAN 860	CRISTALAN 866/870	CRISTALAN 869	CRISTALAN 863	CRISTALAN 865	CRISTALAN 871	CRISTALAN 861	CRISTALAN VINIL ESTER
<b>AMBIENTE QUIMICO</b>											
<b>Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio</b>											
<b>AGENTES QUIMICOS INORGANICOS</b>											
<b>1.1 ACIDOS (Minerales)</b>											
Acido Bórico <sup>1</sup> - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	NA	95	95
Acido Bromhídrico <sup>1</sup> (HBr)		20	40	55	50	70	65	80	50	95	75
Acido Bromhídrico <sup>1</sup> (HBr)		48	35	55	45	60	60	70	45	70	65
Acido Carbónico <sup>1</sup>			45	55	50	70	70	85	NA	95	95
Acido Clorhídrico <sup>1</sup> (HCL)		5	40	55	50	70	70	80	50	95	95
Acido Clorhídrico <sup>1</sup> (HCL)		15	35	50	40	70	65	75	40	85	85
Acido Clorhídrico <sup>1</sup> (HCL)		20	30	45	35	70	55	65	35	70	70
Acido Clorhídrico <sup>1</sup> (HCL)		25	30	40	30	55	45	55	30	65	55
Acido Clorhídrico <sup>1</sup> (HCL)		35	NR	35	25	40	30	40	25	30	30
Acido Crómico <sup>1</sup> - solución acuosa		5	35	45	45	55	70	75	45	65	65
Acido Crómico <sup>1</sup> - solución acuosa		10	35	45	45	55	55	60	45	55	45
Acido Crómico <sup>1</sup> - solución acuosa		20	NR	NR	NR	25	30	35	NA	30	40
Acido Crómico <sup>1</sup> - solución acuosa		30	NR	NR	NR	NR	25	30	NA	30	NR
Acido Fluorhídrico <sup>1</sup> (HF)		20	25	25	25	35	30	35	NR	40	35
Acido Fluorosilícico <sup>1</sup> - solución acuosa		10	NR	30	30	65	60	65	25	65	65
Acido Fluorosilícico <sup>1</sup> - solución acuosa		15	NR	25	25	40	35	40	NA	40	40
Acido Fluorosilícico <sup>1</sup> - solución acuosa		25	NR	NR	NR	30	25	30	NA	30	30
Acido Fluorosilícico <sup>1</sup> - solución acuosa		34	NR	NR	NR	25	25	25	NA	25	25
Acido Fosfórico <sup>1</sup>		50	45	55	50	70	70	80	50	95	95
Acido Fosfórico <sup>1</sup>		85	45	55	50	70	70	80	50	95	95
Acido Hipocloroso		Sat.	NR	NR	25	30	45	50	25	55	55
Acido Nítrico <sup>1</sup>		5	35	50	45	55	65	70	45	70	70
Acido Nítrico <sup>1</sup>		10	30	45	25	50	55	60	25	60	60
Acido Nítrico <sup>1</sup>		20	NR	NR	NR	NR	40	45	NR	45	50
Acido Nítrico <sup>1</sup>		40	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	25	25
Acido Nítrico <sup>1</sup>	Concentrado	71	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Acido Nítrico <sup>1</sup>	Fumante	95	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Acido Perclórico <sup>1</sup> - solución acuosa		10	NR	NR	25	NR	50	55	NA	50	55
Acido Perclórico <sup>1</sup> - solución acuosa		25	NR	NR	NR	NR	30	35	NA	30	35
Acido Sulfúrico <sup>1</sup>		10	45	55	60	70	70	80	50	95	95
Acido Sulfúrico <sup>1</sup>		50	50	80	60	85	75	85	60	100	95
Acido Sulfúrico <sup>1</sup>		65	25	50	30	65	65	70	30	70	70
Acido Sulfúrico <sup>1</sup>		77	NR	NR	NR	NR	25	25	NR	40	40
Acido Sulfúrico <sup>1</sup>		90	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Agua Clorada		Sat.	NR	NR	25	30	45	50	25	55	55
Agua regia <sup>1</sup>			NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dióxido de Azufre en solución acuosa (ác. sulfuroso)		10	-	50	45	65	65	80	25	90	95
Oleum (ácido sulfúrico fumante)			NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
<b>1.2 ALCALIS</b>											
Amoniaco en solución acuosa		5	NR	NR	25	NR	30	35	25	60	60
		20	NR	NR	NR	NR	25	30	NR	50	50
		28	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	35	35
Hidróxido de Bario en solución acuosa		10	NR	NR	NR	NR	NR	25	NR	30	45
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (Poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un Velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.											
* Usar barrera de polipropileno.			NR = No recomendado.				NA = No disponible				

**ANEXO N: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

		Resina									
<b>AMBIENTE QUIMICO</b>											
<b>Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio</b>		% conc.++	CRISTALAN 805	CRISTALAN 860	CRISTALAN 866/870	CRISTALAN 869	CRISTALAN 863	CRISTALAN 865	CRISTALAN 871	CRISTALAN 861	CRISTALAN VINIL ESTER
Hidróxido de Calcio en solución acuosa			NR	25	35	30	45	50	NA	60	60
Hidróxido de Potasio <sup>2</sup> en solución acuosa	30		NR	NR	NR	NR	35	40	NR	50	50
Hidróxido de Sodio <sup>2</sup> en solución acuosa (Ver también soda cáustica)	<1		NR	NR	NR	NR	55	60	25	70	75
	10		NR	NR	NR	NR	45	45	NR	60	70
	25		NR	NR	NR	NR	35	30	NR	50	60
	50		NR	NR	NR	NR	50	45	NR	80	80
	Sat.		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	80	80

Oxido de Calcio (CAL)			NR	25	35	30	45	50	NA	60	60
Potasa Cáustica <sup>2</sup> (KOH)		30	NR	NR	NR	NR	35	40	NR	50	50
Soda Cáustica <sup>2</sup> (NaOH)		<1	NR	NR	NR	NR	55	60	25	70	75
(Ver también hidróxido de sodio)		10	NR	NR	NR	NR	45	45	NR	60	70
		25	NR	NR	NR	NR	35	30	NR	50	60
		50	NR	NR	NR	NR	50	45	NR	80	80
		Sat.	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	80	80
<b>1.3 HIPOCLORITOS</b>											
Hipoclorito de Calcio - solución acuosa (con el 17% de cloro activo)			NR	NR	NR	NR	40	40	NA	50	50
Hipoclorito de Sodio - solución acuosa (con el 14% de cloro activo) <sup>2</sup>			NR	NR	NR	NR	55	50	NR	55	55
Solución de Blanqueo (Hipoclorito de Sodio con el 5.25% de cloro activo)			NR	NR	NR	25	60	60	25	60	60
<b>1.4 SOLUCIONES PARA GALVANOPLASTIA</b>											
Cianuro de Cadmio			NR	NR	NR	NR	NA	NA	NR	80	80
Cromo			NR	NR	NR	NR	25	30	NR	25	25
Niquel			35	50	45	65	65	75	NA	90	80
Oro			35	50	45	65	65	75	NA	90	40
Plata			25	40	30	50	45	60	NA	90	80
Platino			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	80	75
Plomo			35	50	45	65	65	75	NA	90	80
Solución de Revestimiento pesada (ver notas pag. 14)			40	65	50	65	70	80	NA	80	80
<b>1.5 AGENTES QUIMICOS INORGANICOS VARIOS</b>											
Acido Clorhídrido Gaseoso		100	55	80	65	90	70	85	45	100	100
Azufre – sólido		100	55	65	60	90	60	75	60	90	90
Bromo Líquido		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cianuro Gaseoso (seco)		-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	25	25
Cloro		Gas	50	70	65	80	70	85	60	100	100
Dióxido de Carbono		Gas	55	100	70	120	75	90	60	110	110
Dióxido de Carbono		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Dióxido de Cloro, Húmedo		Gas	NR	NR	NR	NR	45	50	NA	45	50
Fuentes de Ensilage			NA	NA	25	NA	NA	NA	NA	NA	25
Gas de Dióxido de Azufre (seco)			55	95	65	115	70	85	65	105	105
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.											
* Usar barrera de polipropileno.	NR = No recomendado.						NA = No disponible				

**ANEXO O: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

		Resina									
<b>AMBIENTE QUIMICO</b>											
<b>Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio</b>		<b>% conc.++</b>	<b>CRISTALAN 805</b>	<b>CRISTALAN 860</b>	<b>CRISTALAN 866/870</b>	<b>CRISTALAN 869</b>	<b>CRISTALAN 863</b>	<b>CRISTALAN 865</b>	<b>CRISTALAN 871</b>	<b>CRISTALAN 861</b>	<b>CRISTALAN VINIL ESTER</b>
Mercurio		100	50	60	60	100	60	70	60	100	100
Monóxido de Carbono		Gas	55	100	70	120	75	90	60	110	110
Peróxido de Hidrógeno		20vol	NR	NR	NR	30	60	65	25	65	65
Peróxido de Hidrógeno		100vol	NR	NR	NR	NR	25	25	NA	25	25
Revelados Fotográficos			35	50	45	65	70	80	NA	90	80
Sulfuro de Hidrógeno Gaseoso (H <sub>2</sub> S)		100	50	60	60	60	55	65	60	65	65
Tintura de Iodo		2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	25
<b>1.6 SOLUCIONES SALINAS</b>											
Acetato de Plomo - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	75	50	95	95
Acetato de Sodio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Alumbres		Sat.	55	70	60	75	60	70	50	95	95
Bicarbonato de Sodio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	80	50	95	75
Bisulfato de Sodio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Bisulfito de Calcio - solución acuosa		Sat.	35	50	45	60	65	70	NA	80	80
Carbonato de Amonio		Sat.	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NA	30	40
Carbonato de Potasio - solución acuosa		10	NR	NR	NR	25	25	30	25	80	60
Carbonato de Potasio - solución acuosa		40	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	30	30
Carbonato de Sodio - solución acuosa		10	NR	NR	25	30	30	35	40	80	80
Carbonato de Sodio - solución acuosa		25	NR	NR	NR	25	25	30	25	75	80
Cianuro de Zinc <sup>(1)</sup>		100	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	25	30
Citrato de Amonio - solución acuosa		Sat.	35	50	45	60	50	70	45	70	60
Clorato de Calcio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	75	50	95	95
Clorato de Sodio		Sat.	45	55	50	70	70	85	NA	95	95
Cloruro Estañoso - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Aluminio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Amonio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Bario - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Calcio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Cobalto (II) - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	85

Cloruro de Magnesio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Niquel - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Potasio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Sodio - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro de Zinc - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Cloruro Férrico - solución acuosa		Sat.	40	50	45	65	65	80	45	90	80
Ferricianuro de Sodio - solución acuosa		Sat.	40	55	50	70	70	75	50	95	95
Ferrocianuro de Potasio - solución acuosa		Sat.	40	55	50	70	70	85	50	95	95
Fluoruro de Aluminio		Sat.	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Fosfato de Magnesio (ver ácido fosfórico)			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Fosfato de Potasio - solución acuosa		Sat.	40	50	45	65	65	80	45	90	60
Fosfato de Sodio - solución acuosa		Sat.	40	60	45	65	65	80	NA	90	95
Jabón		Sat.	40	60	60	75	60	70	NA	85	85
Metasilicato de Sodio - solución acuosa		Sat.	35	40	45	60	65	80	NA	80	90
Nitrato de Aluminio		10	35	45	40	60	65	80	40	70	70
Nitrato de Amonio - solución acuosa		Sat.	35	50	45	65	65	80	45	90	90
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.											
* Usar barrera de polipropileno.		NR = No recomendado.							NA = No disponible		

**ANEXO P: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

Resina												
<b>AMBIENTE QUIMICO</b>  <b>Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio</b>		% conc.++	CRISTALAN 805	CRISTALAN 860	CRISTALAN 866/870	CRISTALAN 869	CRISTALAN 863	CRISTALAN 865	CRISTALAN 871	CRISTALAN 861	CRISTALAN VINIL ESTER	
	Nitrato de Bario - solución acuosa	Sat.	35	50	45	65	65	70	45	80	80	
	Nitrato de Calcio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	NA	95	95	
	Nitrato de Niquel - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95	
	Nitrato de Plata - solución acuosa	Sat.	NR	35	30	40	60	65	30	60	70	
	Nitrato Férrico - solución acuosa	Sat.	40	50	45	65	70	85	45	95	95	
	Pentacloruro de Antimonio - solución acuosa	Sat.	NR	NR	NR	25	NR	25	25	25	25	
	Permanganato de Potasio - solución acuosa	Sat.	NR	NR	NR	25	25	30	25	35	40	
	Persulfato de Amonio - solución acuosa	Sat.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45	70	70	
	Sales de Epsom			45	55	50	70	70	85	50	95	95

Sales de Glauber (sulfatos sódicos cristalinos)		45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sales de Litio	100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sales de Mercurio	100	55	70	60	75	55	70	60	95	95
Salmuera (solución concentrada de sal)		45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato Aluminio Potásico - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato Crómico - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	85
Sulfato de Aluminio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato de Amonio - solución acuosa	Sat.	45	50	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato de Calcio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato de Cobre - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato de Magnesio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato de Niquel - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato de Potasio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato de Sodio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	25	95	95
Sulfato de Zinc - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfato Férrico - solución acuosa	Sat.	40	50	45	65	70	85	45	95	95
Sulfato Ferroso - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	45	95	95
Sulfito de Sodio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Sulfuro de Sodio - solución acuosa	Sat.	45	55	50	70	70	85	25	95	95
Suspensión de Carbonato Cálcico		45	55	50	70	70	75	NA	95	95
Tiocianato de Amonio - solución acuosa	20	85	50	45	65	65	80	NA	90	80
Tiocianato de Sodio	20	35	50	45	65	65	80	NA	90	80
Tiosulfato de Sodio - solución acuosa	Sat.	40	55	50	65	70	75	NA	85	80
Tricloruro de Antimonio - solución acuosa	Sat.	NR	NR	NR	25	NR	30	25	30	25
<b>1.7 AGUA</b>										
Agua de mar		45	55	50	70	70	85	50	95	95
Agua desionizada	100	40	50	45	65	65	80	45	90	90
<b>AGENTES QUIMICOS ORGANICOS</b>										
<b>1.8 ACIDOS (ORGANICOS)</b>										
Acido Acético <sup>1</sup> - solución acuosa	10	25	45	50	30	55	30	65	90	90
Acido Acético <sup>1</sup> - solución acuosa	25	NR	30	35	45	60	75	50	85	90
Acido Acético <sup>1</sup> - solución acuosa	70	NR	NR	25	35	50	55	NR	65	65
Acido Acético <sup>1</sup> - solución acuosa	98	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Acido Acrílico <sup>1</sup>	100	NR	NA	NR	NA	NA	NA	NR	35	35
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.										
* Usar barrera de polipropileno.	NR = No recomendado.							NA = No disponible		

**ANEXO Q: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

		Resina									
<b>AMBIENTE QUIMICO</b>											
<b>Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio</b>		<b>% conc.++</b>	<b>CRISTALAN 805</b>	<b>CRISTALAN 860</b>	<b>CRISTALAN 866/870</b>	<b>CRISTALAN 869</b>	<b>CRISTALAN 863</b>	<b>CRISTALAN 865</b>	<b>CRISTALAN 871</b>	<b>CRISTALAN 861</b>	<b>CRISTALAN VINIL ESTER</b>
Acido Benzóico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	75	50	95	95
Acido Cítrico - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Acido Clorosulfónico		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Acido Cresílico		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Acido Esteárico (comercial)			40	50	45	65	65	80	45	90	90
Acido Fórmico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		20	25	30	35	50	55	65	25	70	70
Acido Fórmico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		50	NR	NR	25	40	45	55	25	55	55
Acido Fórmico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		75	NR	NR	NR	25	30	40	NR	40	40
Acido Fórmico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Acido Ftálico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		Sat.	40	50	45	65	65	70	25	90	90
Acido Láctico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		44	40	55	50	70	70	75	50	95	95
Acido Maléico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		Sat.	40	50	45	65	65	80	45	90	90
Acido Monocloro Acético <sup>(1)</sup>		25	NR	30	40	50	55	70	NR	70	45
Acido Monocloro Acético <sup>(1)</sup>		50	NR	NR	25	30	35	50	NR	60	35
Acido Oléico <sup>(1)</sup>		100	45	55	50	70	70	75	50	95	90
Acido Oxálico <sup>(1)</sup> - solución acuosa		Sat.	40	40	45	60	60	70	45	80	80
Acido Propiónico <sup>(1)</sup>		100	NA	NA	25	NA	NA	NA	NA	NA	25
Acido Tánico - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Acido Tartárico - solución acuosa		Sat.	45	55	50	70	70	85	50	95	95
Acido Tricloroacético <sup>(1)</sup> - solución acuosa		25	NR	NR	30	40	45	50	30	60	60
Acido Tricloroacético <sup>(1)</sup> - solución acuosa		50	NR	NR	NR	NR	25	30	25	50	50
<b>1.9 ALCOHOLES Y GLICOLES</b>											
Alcohol Amílico		100	25	40	30	40	25	35	30	35	40
Alcohol Bencílico		100	NR	30	25	30	NR	NR	NA	25	30
Alcohol Butílico		100	25	35	30	35	25	30	NA	30	35
Alcohol Etilico		95	NR	25	25	30	25	30	25	25	30
Alcohol Etilico - solución acuosa		20	25	30	30	35	25	35	30	30	40
Alcohol Isopropílico		100	NR	35	30	35	25	35	NA	30	35
Alcohol Metílico		100	NR	35	25	35	25	30	25	30	30



Alcohol Propílico		100	NR	35	30	35	25	35	30	30	35
Ciclohexanol		100	35	45	30	45	30	45	NA	35	45
Dietilen Glicol		100	45	70	55	80	70	80	55	95	80
Dipropilen Glicol		100	45	70	55	80	70	80	55	95	80
Etilen Glicol		100	45	70	55	80	70	80	55	95	80
Líquido Hidráulico			25	35	30	35	25	30	30	30	35
Líquido para Frenos			25	35	30	35	25	30	30	30	35
Polietilen Glicol			40	50	45	65	65	80	NA	90	80
Propilen Glicol		100	45	70	55	80	70	80	35	95	80
<b>1.10 PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y ACEITES COMESTIBLES</b>											
Aceite de Castor		100	55	95	70	110	55	70	NA	110	70
Aceite de Coco		100	NA	NA	50	NA	NA	NA	NA	NA	70
Aceite de Oliva		100	45	95	50	100	40	55	50	90	100
Aceite de Semillas de Algodón		100	NA	NA	50	NA	NA	NA	35	NA	90
Azúcar *		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NA	NR	NA
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.											
* Usar barrera de polipropileno.		NR = No recomendado.					NA = No disponible				

**ANEXO R: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

Resina											
AMBIENTE QUIMICO			CRISTALAN 805	CRISTALAN 860	CRISTALAN 866/870	CRISTALAN 869	CRISTALAN 863	CRISTALAN 865	CRISTALAN 871	CRISTALAN 861	CRISTALAN VINIL ESTER
Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio		% conc. ++									
Cerveza		NA	NA	NA	55	NA	NA	NA	NR	NA	NA
Extractos de Carne		NA	NA	NA	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Gelatina		1	45	60	50	70	45	60	NA	85	NA
Glicerina		100	55	85	60	100	70	85	60	100	90
Glucosa		NA	NA	NA	60	NA	NA	NA	60	NA	80
Jugos de Frutas		NA	NA	NA	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Levadura		NA	NA	NA	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Molzas		NA	NA	NA	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA

<b>1.11 COMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES</b>											
Aceite Combustible (ver Aceite Diesel)											
Aceite de Linaza	100	55	95	70	110	70	85	60	105	110	
Aceite Diesel	100	30	40	35	45	25	30	35	40	50	
Aceite Lubricante	100	45	95	50	100	40	55	NA	90	70	
Aceite Mineral	100	45	95	50	100	40	55	25	90	100	
Aceite no Refinado (amargo o dulce)	100	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	85	90	
Aceites Lubricantes tipo Ester (RD 2487)	100	45	95	50	100	40	55	NA	90	70	
Aceites para Transformadores	100	45	95	50	100	40	55	NA	95	100	
Aceites Siliconados	100	55	95	70	110	70	85	50	105	110	
Combustible para Avión AVTAG/JP4	100	NR	30	25	35	NR	25	NA	25	NA	
Gasolina (ver Petróleo)											
Gasolina para Aviación (AVGAS)	100	NR	NR	NR	30	NR	NR	NA	NR	NA	
Keronese (doméstico)	100	30	50	30	55	25	40	30	35	60	
Kerosene (AVTUR)	100	25	45	30	50	25	30	NA	35	NA	
Nafta	100	25	35	25	40	25	35	25	30	40	
Nafta Aromática Pesada (HAN)	100	NR	40	NR	45	NR	NR	NR	25	40	
Parafina	100	30	50	30	55	25	40	30	35	60	
Petrol (Gasolina de 98 octanos - desplomada)	100	NR	NR	NR	40	NR	NR	25	NR	40	
<b>1.12 AGENTES QUIMICOS MISCELANEOS ANTE LOS CUALES EL POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO MUESTRA RESISTENCIA</b>											
Acetato de Amilo	100	NR	NR	NR	25	NR	NR	25	25	25	
Acetona	10	NR	25	NR	25	NR	NR	NA	25	30	
Acetona	100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Acriflavina - solución acuosa	2	45	50	50	50	45	50	NA	50	NA	
Cebo	100	55	95	70	110	70	85	NA	105	110	
Cera de Parafina	100	55	95	70	110	70	85	60	105	110	
Detergentes (ver Surfactantes)											
Dialil Ftalato	100	45	50	50	60	45	60	NA	70	70	
Dibutil Ftalato	100	45	50	50	60	45	60	NA	70	70	
Dietanolamina	100	NR	NR	NR	NR	25	35	NA	50	50	
Dimetil Ftalato	100	45	50	50	60	45	60	NR	70	70	
Diocil Ftalato	100	45	50	50	60	45	60	NR	70	70	
Emulsión de Polivinil Acetato		NA	NA	NA	NA	NA	NA	25	65	40	
Emulsiones de Caucho Latex	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	25	25	
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.											
* Usar barrera de polipropileno.											
	NR = No recomendado.							NA = No disponible			

**ANEXO S: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

		Resina										
		%	CRISTALAN 805	CRISTALAN 860	CRISTALAN 866/870	CRISTALAN 869	CRISTALAN 863	CRISTALAN 865	CRISTALAN 871	CRISTALAN 861	CRISTALAN VINIL ESTER	
<b>AMBIENTE QUIMICO</b>												
<b>Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio</b>		%										
Espumas para extinción de incendios			Ver Tabla III									
Etil Oleato		100	40	50	45	65	65	70	NA	90	70	
Formaldehido - solución acuosa			30	Hacia la temperatura máxima estable								
Heptano		100	25	35	25	40	25	30	25	30	40	
Hexano		100	25	35	25	40	25	30	25	30	40	
Hidrocarburos Volátiles		100	35	35	25	40	25	35	25	30	40	
Iso-Octano		100	25	35	25	40	25	35	NA	30	40	
Lanolina		100	45	55	50	70	70	75	50	95	95	
Metilados Volátiles Industriales (IMS)			NR	25	25	30	25	30	25	25	30	
Naftaleno		100	25	55	40	65	35	50	25	50	65	
Orina			30	25	30	35	35	50	NA	65	65	
Sangre		NA	NA	NA	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Solución Acuosa de Almidón		Sat.	45	55	50	70	70	80	NA	95	95	
Solución de Polímero Acrílico		NA	NA	NA	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Sulfato de Anilina - solución acuosa		Sat.	30	45	45	60	65	70	45	90	90	
Soluciones Acuosas de Surfactantes												
Aniónicos			Ver Tabla IV									
Catiónicos												
No Iónicos			40	50	45	65	55	70	NA	90	80	
Trementina		100	25	30	25	35	25	30	NR	30	40	
Urea - solución acuosa		2	35	40	40	45	55	70	NA	90	90	
<b>1.13 AGENTES QUIMICOS ORGANICOS MISCELANEOS ANTE LOS CUALES EL POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN GENERAL NO MUESTRA RESISTENCIA</b>												
Acrilonitrilo		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Anilina		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Anisol		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Benceno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Benzaldehido		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	

Bromuro de Metilo		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Butil Acetato		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Butil Amina		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Clorobenceno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cloroformo		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cloruro de Amilo		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	30
Cloruro de Benzoilo		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cloruro de Metileno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cloruro de Tionilo		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Creosota			NR	NR	NR	25	NR	NR	NR	25	25
Cresoles		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dicloro Etileno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Diclorobenceno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dicloroetileno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dietil Cetona		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dietil Eter		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.											
* Usar barrera de polipropileno.											
		NR = No recomendado.								NA = No disponible	

**ANEXO T: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

		Resina									
AMBIENTE QUIMICO		% conc.++	CRISTALAN 805	CRISTALAN 860	CRISTALAN 866/870	CRISTALAN 869	CRISTALAN 863	CRISTALAN 865	CRISTALAN 871	CRISTALAN 861	CRISTALAN VINIL ESTER
Velo de superficie rico en resina, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio											
Dietil Formamida		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dimetil Anilina		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dimetil Formamida		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dioxano		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Disulfuro de Carbono		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Estireno		100	NR	NR	NR	25	NR	NR	NR	NR	25
Eter Etílico		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Etil Acetato		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Etil Acrilato		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Etil Carbonato		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Fenol - solución acuosa		1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NR	25	25
Fenol - solución acuosa		Sat.	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Furfural		15	NR	NR	NR	NR	NA	NA	NR	35	NR
Furfural		20	NR	NR	NR	NR	NA	NA	NR	35	NR
Furfural		25	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Metil Acetato		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Metil Etil Cetona		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Metil Metacrilato		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Monocloro Benceno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Nitro Benceno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Paraquat		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Percloroetileno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	25
Piridina		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Químicos para Cosechas (técnica de rociado)		-	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Tetracloroetileno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	25
Tetracloruro de Carbono		100	25	25	25	30	NR	NR	25	30	30
Tetrahidrofurano		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Tetralin		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Tolueno		100	NR	25	NR	30	NR	NR	NR	NR	30
Tricloroetano		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	25
Tricloroetileno		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Vinil Acetato		100	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Xileno		100	NR	40	NR	45	NR	NR	NR	25	35

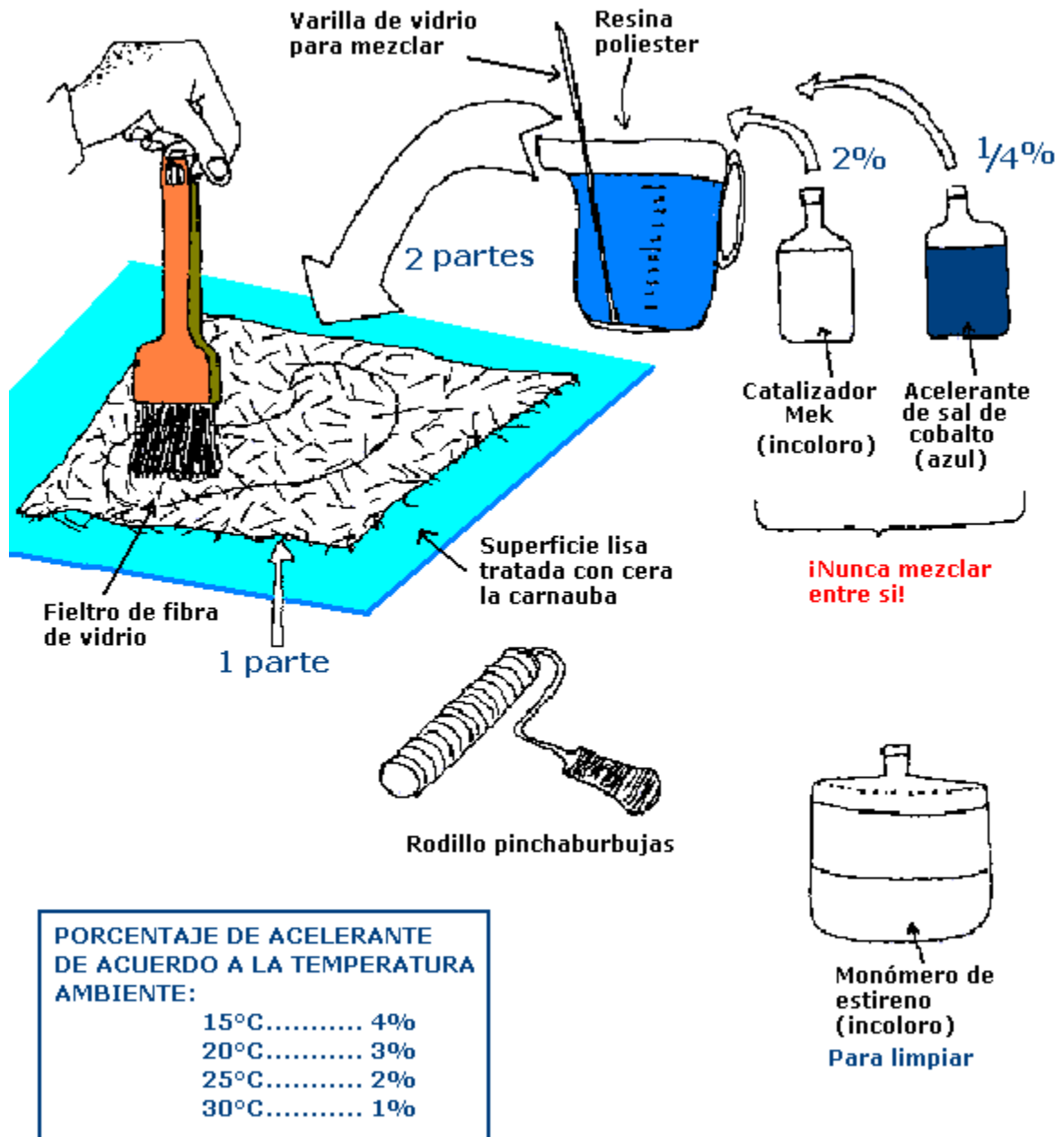
**ANEXO U: Temperaturas máximas operativas, en °C, para los laminados resistentes químicamente, fabricados con Poliéster CRISTALAN, totalmente postcurados a alta temperatura**

1.14 ESPUMAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS				CRISTALAN 870/866		CRISTALAN 861			
Velo de superficie rico en resinas, barrera anti-corrosiva en contacto con el medio									
Tipo Espuma	Nombre Comercial								
Fluoroproteína	Fluoropolidol			NR			25		
Fluoroproteína	FP70			25			50		
Fluorosintética	Tridol 3			NR			25		
Proteína	Nicerol			25			50		
Sintética	Expandol			NR			25		
1. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente como el Terylene (poliéster) en lugar de vidrio. 2. Se debe usar en la superficie en contacto con el medio químico un velo resistente de acrílico o nylon en lugar de vidrio.									
* Usar barrera de polipropileno.				NR = No recomendado.				NA = No disponible	

**ANEXO V:** Medidas de catalizador para aplicacion con resina poliester

ml de resina	Medido en gotas 16 Gotas = 1ml			Medido en ml		
	2%	1,5%	1%	2%	1,5%	1%
10	3	2	2	0,2	0,15	0,1
20	6	5	3	0,4	0,3	0,2
30	10	7	5	0,6	0,45	0,3
40	13	10	6	0,8	0,6	0,4
50	16	12	8	1	0,75	0,5
60	19	14	10	1,2	0,9	0,6
70	22	17	11	1,4	1,05	0,7
80	26	19	13	1,6	1,2	0,8
90	29	22	14	1,8	1,35	0,9
100	32	24	16	2	1,5	1

## ANEXO W: PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR Y APLICAR LA RESINA CON FIBRA DE VIDRIO



## ANEXO X: MÉTODO DE ENSAYO TIPO IZOD

- Descripción de la maquina, según norma ASTM D256  
La maquina consta de una base maciza , sobre la cual se montara la prensa para empotrar la probeta, rodamientos; un péndulo tipo martillo, teniendo una energía inicial adecuada, dependiendo de la resistencia ( valor asumido) de la probeta que va a ser ensayada ; un mecanismo de agarre y soltado ; una escala con sus indicadores , para lectura sobrante en el péndulo después de la rotura un patrón guía para posicionar la probeta en la prensa y tablas para ayudar en el calculo de la corrección por fricción y resistencia del aire .
- El péndulo consta de un brazo con rodamientos y cabeza de un extremo y la nariz del golpeador en el otro. El brazo debe ser lo suficientemente rígido para mantener adecuadas tolerancias y relaciones geométricas entre las partes de la maquina y la probeta, para minimizar las perdidas de energía vibracional.
- La nariz del golpeador será de acero endurecido, con un eje horizontal perpendicular al plano de oscilación. Las partes del péndulo adyacentes al filo del golpeador, serán localizadas de tal manera que no toquen la probeta durante la rotura.
- La posición del mecanismo de agarre y soltado será tal que la altura vertical de caída de la nariz del golpeador sea de  $610 \pm 2$  mm.

Esto produce una velocidad del centro del golpeador en el instante de impacto de aproximadamente 3.46 m/s. El mecanismo será construido de tal forma que al soltar el péndulo. No se produzca aceleración ni vibración.



- La longitud efectiva del péndulo, estará comprendida entre 325 mm y 406.4 mm, con base en este parámetro y a la altura vertical del golpeador en el instante del soltado, se obtiene que en esta posición el péndulo forme con la horizontal un Angulo comprendido entre 60° y 30°.
- El péndulo será usado con todas las probetas que absorban menos del 85% de su Máxima energía. Para probetas que requieran más energía, se usaran golpeadores mas pesados.

Se utilizara una prensa para fijar rígidamente la probeta en posición tal que el eje longitudinal de la probeta sea vertical y forme un ángulo recto con el plano horizontal que pasa por la cabeza de la prensa. El posicionamiento de la probeta es generalmente hecho con un patrón guía ajustado a la maquina.

Cuando el péndulo cuelgue libremente, la superficie del golpeador debe tocar la probeta a una distancia de  $22 \pm 0,05$  mm por encima de la superficie superior de la prensa.

Se proveerá de una escala y aguja indicadora para proporcionar la lectura de la altura del péndulo después del impacto, en términos de energía, esta lectura será corregida con el diagrama de calibración (perdidas).

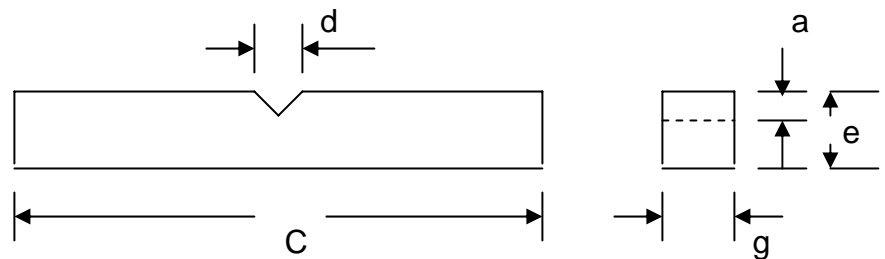
El péndulo, la prensa y la estructura, serán lo suficientemente rígiditas para asegurar la correcta alineación del golpeador y la probeta.

La calibración de la maquina es difícil hacerla bajo condiciones dinámicas. Los parámetros básicos son normalmente chequeados bajo condiciones estáticas. Si la maquina supera los ensayos estáticos, entonces se asume que esta correcta.

## PROBETAS DE ENSAYO

Las probetas de ensayo serán conformadas con las dimensiones y geometría específica.

Las probetas moldeadas tendrán un ancho entre 3.17 mm y 12.7 mm según especificaciones del material. Todas las probetas tendrán una dimensión menor de 12.7 mm y se muesquearan en el lado mas corto.



La cara muesqueada, puede no ser paralela a su cara opuesta, debido al diseño del molde, entonces es necesario maquinarse la cara muesqueada removiendo la mínima cantidad de material hasta alcanzar el paralelismo, sin alterar las dimensiones recomendadas.

Para probetas en forma de láminas, estas deben cortarse tanto en dirección longitudinal como transversal. El ancho de la probeta debe ser igual al espesor de la lamina siempre que no exceda de 12.7 mm. , hay que maquinarse hasta obtener la dimensión recomendada. Si la probeta se corta de una lamina gruesa, debe indicarse de que parte se corto,

Por ejemplo:

Parte superior, central o inferior.

La practica de pegado, prensado, o apernado o combinación de probetas para dar forma a la probeta de ensayo, no es recomendada y debe evitarse ya que los resultados pueden ser seriamente modificados, por efectos de interfase o efectos de solventes y pegantes sobre la energía de absorción. Sin embargo, si los datos de ensayo IZOD son requeridos cuando otros medios de preparación de la probeta no son posibles y si las fuentes de error son aceptables, la siguiente técnica de preparación puede ser utilizada: cuando la muesca tiene un ancho menor de 12.7 mm, la probeta debe consistir de un numero de piezas individuales de menor calibre, hasta alcanzar el ancho mas próximo a 12.7 mm. Los componentes individuales deben alinearse perfectamente entre si; remachados, pegados o atornillados. La selección del solvente o pegante debe ser cuidadosa de tal forma que no afecte la resistencia al impacto del material a ensayar.

Al reportar el resultado de la probeta se debe dejar constancia de que la probeta usada fue compuesta, (es decir formada por varias laminas), para obtener las dimensiones requeridas.

## **MUESQUEO DE LA PROBETAS DE ENSAYOS**

El muesqueo será en una fresadora, torno u otra maquina – herramienta conveniente, con una herramienta de uno o varios dientes. Una herramienta de un solo diente es preferible porque da facilidad de pulimento del contorno especifico y porque el corte de la probeta queda liso. El filo cortante será cuidadosamente afilado para asegurar la agudeza y facilidad

el muesqueo y el raspado. Las herramientas mas adecuadas son las que tienen un ángulo de  $15^{\circ}$  a  $20^{\circ}$  y no tiene ángulo de inclinación.

El plano bisectriz del ángulo de la muesca ( $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ), debe ser perpendicular a la cara de la probeta con una tolerancia de  $2^{\circ}$ .

En general una alta velocidad y una baja profundidad de corte, son deseables para evitar la creación de esfuerzos térmicos por sobrecalentamiento durante el maquinado.

## **CONDICIONES**

Atmósfera normal de laboratorio: aquella que tiene  $23^{\circ} \text{ C} \pm 2^{\circ} \text{ C}$  y una humedad relativa. De  $50 \pm 5\%$ . Cuando se requieran condiciones más estrictas, las tolerancias deben ser de  $\pm 1^{\circ} \text{ C}$  Y  $2\%$  de humedad relativa. Estas condiciones deben medirse lo más cerca posible de la probeta que se ensaya en ningún caso a una distancia mayor de 60cm.

Se deben determinar cinco, diez o mas valores de impacto para cada tipo de material, siempre bajo las mismas condiciones y dimensiones.

Se estima la energía de rotura y se selecciona un péndulo apropiado, con el cual se espera la rotura de cada probeta con una perdida de energía no mayor del 85%

Antes de iniciar el ensayo se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Calcular la energía perdido por fricción, rodamientos y resistencia del aire.

Chequear la probeta el ancho de la región muesqueada.

Posicionar la probeta precisa y rígidamente sin tensarla. Tener cuidado que la línea central de la muesca quede al nivel de la parte superior de la prensa. Suelte el péndulo y anote el exceso de energía después de la rotura de la probeta – observar si el tipo de rotura es frágil o dúctil –

El valor de energía consumida en la rotura de la probeta se determina dividiendo la energía consumida en el ensayo, por la dimensión a lo largo de la muesca (ancho de la probeta) la unidad del resultado obtenido es N-m / mm.

<b>Medidas de las probetas ( Medidas en milímetros)</b>						
<b>Material</b>	<b>No. Probeta</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>g</b>
<b>Plástico Reforzado Material compuesto (PRFV)</b>	1	1,62	58	4,25	13,62	4,8
	2	2,3	67,7	4	13,7	3,7
	3	2,8	64	3,4	13,05	2,5
	4	2,1	67,2	3,3	11,5	3,9
	5	3,95	61,2	3,75	13,95	3,9
	6	1,05	56	2,7	12,5	4,9
	7	1,7	61,85	3,2	12,7	3,7
	8	1,3	61,4	3,2	13,2	3,6
	9	1,4	67,7	3,8	12,6	3,8
	10	2,5	56,8	2,8	12,6	4,3

Energía absorbida y Resiliencia					
Material	No. Probeta	Ea (N.m)	Área sección Rotura mm <sup>2</sup> Ar	Re N.m/mm <sup>2</sup> $Re = \frac{Ea}{Ar}$	Re (Prom) N.m/mm <sup>2</sup>
<b>Plástico Reforzado Material Compuesto (PRFV)</b>	1	2,18	57,6	0,03784722	0,04780186
	2	2,11	42,18	0,05002371	
	3	2,08	25,625	0,08117073	
	4	1,53	36,66	0,04173486	
	5	1,6	39	0,04102564	
	6	2,19	56,105	0,03903395	
	7	1,71	40,7	0,04201474	
	8	1,68	42,84	0,03921569	
	9	2,03	42,56	0,04769737	
	10	2,53	43,43	0,05825466	

## **ANEXO Y REPRESENTATIVO DE UNA INSTALACION INDUSTRIAL PARA LA FABRICACION DE RESINAS INSATURADA**

- 1.01 Reactor
- 2.01 Bomba de vacío
- 1.02 Agitador
- 2.02 Tambor de recirculación
- 1.03 Columna empacada con deflegmador
- 4.01 Filtro de canasta
- 1.04 Condensador
- 4.02 Tanque de disolución
- 1.05 Separador
- 4.03 Agitador
- 1.06 Bomba
- 4.04 Enfriador de flujo
- 1.07 Tanque receptor
- 1.08 Ducto de sublimación
- 1.09 Tambor conector de condensado
- 1.10 Bomba de condensado
- 1.11 Tanque receptor

