



CONTROL DE MATERIALES PARA BUQUES DE PRFV

ING. NELSON NOZIGLIA, ING. ROSA ELENA MAZZOLLI DE BREIER

A) ASPECTOS GENERALES Y FISICOS

A-1) ASPECTOS GENERALES E HISTORICOS

La decisión de construir un buque en PRFV depende de cuestiones que no serán tratadas en el presente trabajo; de todas formas, ella tendrá como fundamento razones que lo hacen aconsejable frente a los de madera, acero o aleaciones livianas de base aluminio, considerando resistencia mecánica, a la corrosión, peso, coste, tiempo de construcción, características operativas, materiales y mano de obra especializada disponible.

La base fundamental de los PRFV es la resina sintética. En este trabajo nos referiremos exclusivamente a la resina poliéster no saturada.

El otro elemento primordial es el refuerzo, que para el caso será el constituido exclusivamente por fibra de vidrio.

Existen en la actualidad otros tipos de resinas y de refuerzos, pero los mencionados son los de mayor aplicación para buques en general y embarcaciones deportivas que no sean de competencia.

Históricamente el material plástico para uso comercial fue presentado al público en Londres en 1862, en una exposición internacional. Se lo llamó Parkesine en honor a su descubridor Alexander Parkes. Fue el predecesor del celuloide.

Sin embargo, la industria del plástico tal como se la conoce hoy tuvo su punto de partida en 1907, cuando el Dr. Leo Bakeland en EEUU y Sir James Swinburne en Inglaterra, patentaron la reacción del fenol y del formaldeído. Particularmente, en 1940 se produjeron muchos materiales plásticos diferentes con propiedades específicas.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los plásticos comenzaron a tener una dudosa reputación; tal vez no a causa de defectos del material, sino a un inadecuado uso. Se suele decir: «no hay malos

plásticos, hay malas aplicaciones».

Hoy los plásticos se utilizan en la mayoría de los campos de la actividad humana. Entre sus aplicaciones se encuentra la de la construcción naval, dentro de límites en general reconocidos, tanto en dimensiones como en uso. Puede admitirse que en cuanto a esloras, el límite máximo es en la actualidad del orden de los 30 metros.

Los ingenieros navales dedicados a este tipo de construcciones debieron y deben especializar sus conocimientos en lo que concierne a diseño estructural y características de los materiales, técnicas de producción y control de esta nueva disciplina.

Los avances tecnológicos requieren que el ingeniero naval haga uso cada vez con mayor frecuencia de interdisciplinas. En este caso particular necesita de un profundo fundamento de la química orgánica, y por lo tanto la acción conjunta entre profesionales de ambas especialidades es imprescindible para lograr los rendimientos deseados.

El presente trabajo que vuelca gran parte de la experiencia en el control de construcciones de buques y embarcaciones de PRFV se apoya en la tarea conjunta de una ingeniera química y de un ingeniero naval. De otra forma, una considerable parte de los problemas no hubieran podido resolverse adecuadamente.

La construcción naval en PRFV (dadas sus aparentes características de simplicidad y posibilidades de ser efectuadas en lugares no especialmente aptos: pequeños locales, fondos de viviendas, terrazas, etc.) permitió una proliferación descontrolada y en muchos casos sin respaldo técnico adecuado.

En algunas circunstancias y en especial cuando

las potencias propulsoras y las dimensiones fueron en aumento, los accidentes se hicieron más notables, lo que comenzó a preocupar a las autoridades que deben velar por la seguridad náutica. La República Argentina al igual que otros países, resolvió la cuestión utilizando en los controles, procedimientos que fueron evolucionando progresivamente.

A-2) INTERVENCION DE LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACION

Las sociedades de clasificación de buques estuvieron permanentemente atentas a esta circunstancia y sus normas, basadas en profundas investigaciones y experiencias, requirieron periódicas actualizaciones que permiten en la actualidad diseñar las estructuras y controlar los materiales en forma adecuada para prever resultados finales confiables.

Las primeras normas concretaban la aprobación con una prueba de caída de la embarcación desde una determinada altura sobre el agua. Si esta prueba era resistida, la embarcación resultaba aprobada.

Frente a los avances mencionados la prueba de caída (de características traumáticas y no factible en embarcaciones de mayor porte) actualmente se ha suprimido reemplazándola por verificaciones estructurales y controles de las características de los materiales empleados que intervienen en las fórmulas del escantillonado.

A-3) SINTESIS DE ASPECTOS ESTRUCTURALES

Si bien en este trabajo no se tratan los aspectos del dimensionamiento estructural de las embarcaciones de PRFV, se hará referencia a los criterios fundamentales en que se basa uno de los institutos de clasificación, en este caso el Registro Italiano Navale, con un número importante de embarcaciones de este material clasificadas en el mundo y en la República Argentina.

Obviamente las fórmulas de escantillonado tienen en cuenta las características mecánicas del laminado, y por lo tanto de sus componentes. Las normas existentes en este Instituto son específicas para embarcaciones deportivas, pesqueros y para buques de carga comunes (separadas en textos particulares con diferencia, según los casos) pero sobre una misma base de procedimientos.

Las ecuaciones para el dimensionamiento son válidas para relaciones entre dimensiones principales establecidas, que cubren los diseños normales.

Los materiales que se prescriben se basan en los necesarios para lograr el plástico reforzado, que se define como un material heterogéneo constituido

por una matriz de resina termoendurecible (en general, poliéster no saturada) o eventualmente epóxida, a la que se le aplican los aditivos correspondientes y un refuerzo de fibra de entramado particular, generalmente de vidrio.

Al producto final se le da forma por estratificados, sobre molde o estampa.

Los refuerzos de vidrio tienen las características ya conocidas y pueden ser de producto:

* *homogéneo*: Cuando las fibras de todos los estratificados son de un mismo material.

* *promiscuo*: Cuando los estratificados tienen materiales diferentes, como ser: vidrio, carbono, etc.

* *híbrido*: Cuando cada estratificado posee fibras diferentes mezcladas.

Los estratificados a su vez pueden ser simples, o bien dobles (sandwich). En este último caso compuesto de estratificados simples conjuntamente con un alma de material liviano.

Los estratificados pueden ser de superficie con resina gel coat o de estratificación.

Las resinas pueden diferir. Para el caso de las de los gel coat, ellas no deben ser ortoftálicas sino isoftálicas, por razones de mayor protección a los agentes externos, menor absorción de agua y mínima alteración por dilataciones térmicas.

Los aditivos de las resinas son principalmente: catalizadores, aceleradores, cargas y pigmentos colorantes.

Se especifica que el catalizador (que realiza el proceso de polimerización de la resina) y el acelerante (que regula el tiempo de gelatinización y endurecimiento) deben producir sus efectos en frío, es decir en las condiciones ambientales donde se efectúa el laminado.

Las cargas, en general para lograr la tixotropía, o dar color al gel coat, no deben variar sensiblemente las características de las resinas, en particular la viscosidad.

Los productos colorantes no deben afectar la polimerización. Se los agrega en forma de pasta a la resina de superficie.

Las fibras del refuerzo que no sean de vidrio (vidrio «E»), tales como las aramídicas (KEVLAR, de la Du Pont), o de carbono, se consideran particularmente en los estudios de proyectos.

Los materiales de las almas de los laminados dobles, o estructuras «sandwich» son también considerados y, en general, deben cumplir ciertas condiciones:

* características físicas (peso específico)

* resistencia a los agentes ambientales: agua, hidrocarburos, etc.

* resistencia mecánica

* compatibilidad con las resinas de los estratifica-

dos de contorno.

Las actuales normas determinan las características mecánicas mínimas requeridas para los estratificados. Se obtienen de fórmulas en función de la relación «Gc», entre la masa de refuerzos de vidrio por unidad de área (g/m^2) y la masa total del estratificado por unidad de área, excluyendo de la masa, la de resina de superficie (g/m^2).

Las normas consideran que el valor mínimo admisible de «Gc» debe ser 0,25. La Tabla que se agrega muestra los valores indicados y los de la última columna determinan los mínimos admisibles para $Gc = 0.25$.

Los valores se refieren al caso de estratificados en fibra de vidrio. Si el refuerzo fuera de otro material, estos mínimos deben cumplirse básicamente, pero sin lugar a dudas resultan mayores en las pruebas. Para el cálculo de las dimensiones estructurales es necesario fijar previamente las características de distribución, separación, etc. de los elementos que componen el conjunto.

Las fórmulas para el escantillonado están afectadas por dos tipos de coeficientes: los K_o , que se refieren a las características del material empleado, y los K_v , que consideran la velocidad.

Los coeficientes K_o tienen relación directa con el tema que ocupa este trabajo y para el caso de estratificados simples con fibra de vidrio y en piezas en que se analiza la tracción, el valor K_o deberá ser $75/R_m$. Cuando se considera la flexión, $K_o f = \sqrt{118/R_m f}$, siendo R_m y $R_m f$, las tensiones de rotura a la tracción y flexión de los estratificados, que resultan de las fórmulas en función de «Gc», o bien de las pruebas directas.

Cuando se trata de refuerzos diferentes al vidrio, R_m representa la tensión de rotura que resulte menor entre la tracción y la compresión.

Los coeficientes K_v se emplean para los cascos de elevada velocidad, cuando V/\sqrt{L} (nudos/m) supera 3.6.

El dimensionamiento resulta del empleo de fórmulas que determinan espesores, o bien módulos resistentes del elemento conjuntamente con parte del forro en el cual se apoya.

El espesor (que se emplea para forros, quilla plana, codaste) resulta en general de fórmulas del tipo:

$$t = C_t Q_t f(L)^m K_o K_v \quad \text{donde:}$$

C_t = coeficiente específico para el elemento.

Q_t = relación entre la distancia real entre refuerzos estructurales internos y la reglamentaria.

$f(L)$ = función de la eslora en construcción.

K_o y K_v = coeficientes relativos a los materiales y a la velocidad.

Como concepto general, los espesores de forros resultan para las embarcaciones de carga y

pesqueros, un 28% mayores que para las deportivas de no elevada velocidad.

El módulo resistente se utiliza para elementos estructurales internos longitudinales, cuadernas, varengas, montantes y resulta en general de fórmulas del tipo:

$$Z = C_m S h b^n K_o K_v \quad \text{donde:}$$

C_m = coeficiente específico para el elemento.

S = luz entre apoyos del elemento.

h = parámetro que depende de la carga soportada.

b = considera la distancia entre longitudinales contiguos.

K_o y K_v = coeficientes relativos a los materiales y a la velocidad respectivamente

Para el caso de buques de carga y pesqueros, por ejemplo: el módulo resistente de los longitudinales de fondo resulta un 20% mayor que para embarcaciones deportivas de no elevada velocidad.

Las dimensiones de las estructuras tipo «sandwich» se determinan específicamente, y cualquiera de los dos estratificados de superficie del «sandwich» no debe ser menor que 6/10 del espesor del estratificado común calculado según las fórmulas correspondientes. Las normas incluyen métodos simplificados simples, con refuerzo y estratificados dobles («sandwich»), con módulos de elasticidad iguales o diferentes entre los laminados.

A-4) ASPECTOS RELATIVOS A LOS DISEÑOS ESTRUCTURALES

Los métodos de dimensionamiento mencionados presuponen una adecuada distribución de las estructuras y refuerzos, en consideración a sollicitaciones locales y generales. Se deberán tener en cuenta, además, las características particulares del material a emplear y su condición de anisótropo y de bajo módulo de elasticidad.

Si bien la cuestión escapa al tema específico tratado, son casos típicos los refuerzos en la zona de posible planeo de embarcaciones deportivas, en las zonas de proa en general, o en la zona de apoyo de motores fuera de borda.

Son lugares a considerar además, los sometidos a cargas concentradas y los afectados por aberturas en el casco o cubierta.

Los excesos de refuerzos aumentan excesivamente la rigidez, por lo que deben evitarse y controlarse, creando acuerdos de espesores con las zonas adyacentes.

La adecuada forma de unir (coser) los mamparos, en general de madera laminada, a las estructuras del casco y cubierta es de importancia particular. Si bien el control se realiza sobre la base de los planos ya aprobados, es conveniente insistir en las soluciones adecuadas que provean la resistencia, estanqueidad y el acuerdo de espesores entre ambas superficies, para evitar concentraciones

de tensiones.

Otra cuestión importante que en este aspecto marcan las normas, es la unión entre la cubierta y el casco. Si bien existen varias posibilidades de solución, admitiendo que es una zona de riesgo particular, tanto en lo que atañe a la estanqueidad como a la resistencia estructural

En el caso del abulonamiento, cuyo diámetro y paso están especificados por las normas, es necesario el adecuado control del material utilizado, el que debe someterse además a prueba de plegado por muestreo, ya sea se trate de aleaciones de cobre o de acero inoxidable. Es necesaria una adecuada altura de solapa para permitir el abulonado en zig-zag, complementado con el laminado interior.

El abulonado en línea no es compatible con la distancia.

A-5) CONTROL DE LOS LAMINADOS

Las características finales de los laminados de PRFV para uso naval están sujetas simultáneamente a cuestiones que se pueden agrupar en:

- a) Lugares donde se los realiza
- b) Mano de obra
- c) Materiales empleados

Los ensayos físicos realizados a las muestras del material laminado, aún procediendo ellas de cortes en la estructura real, son un elemento de gran importancia para prever las respuestas. Sin embargo, ello no es suficiente, vistas las características no homogéneas del material laminado, para considerar que toda la estructura a la que pertenece posee las mismas condiciones, dado que la muestra puede no ser representativa del conjunto. La única manera de aproximarse a una calificación real del producto fabricado es considerar la suma de todos los elementos intervinientes, entre los que se encuentran las pruebas mecánicas de probetas obtenidas de muestras representativas finalizado el laminado.

Existe la opinión simplista, pero no real, que supone que las pruebas mecánicas realizadas en probetas del material son suficientes por sí solas para calificar la calidad (razón por la cual resultaría factible evitar los otros controles previos y periódicos a que se somete la obra).

a) En lo que se refiere al lugar físico donde se realizan las obras y cuyo control debe ser previo a la iniciación para determinar su idoneidad, es de particular y básica importancia, pues de él dependen las posibilidades del cumplimiento estricto de las condiciones de higiene ambiental, temperatura y humedad durante la laminación, así como también las adecuadas condiciones de almacenamiento y procesado de los materiales utilizados.

Las condiciones de limpieza del aire del lugar de trabajo permiten evitar la contaminación de los refuerzos de vidrio y por lo tanto alterar la necesaria condición de impregnarse con la resina.

En este aspecto deben evitarse pisos de tierra o sucios, aberturas sin protecciones para polvos, proximidades de máquinas de corte o trabajo para madera y métodos de limpieza sobre la base de barrido sin aspiración simultánea. Los mismos operarios no deben transportar polvo (zapatos, etc.).

Las condiciones de temperatura y humedad son también fundamentales. Ellas afectan los resultados de los procesos de las resinas e incluso de la adherencia resina-refuerzo de vidrio. Las normas en forma general determinan que la humedad ambiente no debe superar el 70% y el rango de temperatura debe encontrarse entre los 16°C y 25°C. Ello puede ser variado según las especificaciones de los fabricantes de las resinas, en virtud de las características particulares.

Los equipos de aire acondicionado con filtros permiten cumplir con las exigencias atmosféricas indicadas, a lo que hay que sumar los cuidados en relación con procedimientos internos y características del local.

Son imprescindibles los instrumentos para el control de humedad relativa y temperatura. La cantidad y distribución dependerá del local y dispersión de las obras.

En establecimientos de importancia se utilizan instrumentos con registros gráficos continuos para un control más prolijo y permanente.

Lo indicado no considera los aspectos de ventilación por cuestiones de respirabilidad de las personas dentro del local, que debe ser analizado conjuntamente con los de prevención y extinción de incendios.

Debe cuidarse además que las corrientes de aire no incidan en forma directa sobre los laminados en ejecución, dado que ello produce una aceleración en la evaporación del monómero de estireno, que causa defectos, en particular en los laminados de superficie (gel coat).

b) La mano de obra que involucra además el uso de herramientas adecuadas, es otro de los elementos de capital importancia en el resultado final del producto. En todos los casos de obras navales, la idoneidad y lealtad de los operarios encargados son fundamentales, e incluso se emplea personal calificado, como ser: soldadores. Para la construcción con PRFV ello es de particular importancia dado que los errores difícilmente puedan ser detectados en la obra finalizada ya que se cubren por la gran velocidad de las operaciones.

Son fallas de mano de obra por ejemplo, la inadecuada dosificación de los productos, la operación

en atmósfera no apta, la mala aplicación del gel coat, la defectuosa superposición de bordes de los refuerzos, la inadecuada impregnación utilizando herramientas poco aptas.

Además del permanente control de los procedimientos, es necesario realizar academia en forma permanente y persuadir al personal sobre la trascendencia de los errores y la necesidad de una lealtad constante, en el sentido de informar toda alteración a los procedimientos especificados o defectos observados en los materiales.

En establecimientos no dotados de elementos específicos de control de la atmósfera, la necesidad de no variar los plazos contractuales o evitar la paralización de la obra y pérdida de jornales, lleva a no cumplir con las especificaciones de temperatura o humedad, con los consiguientes deterioros en la calidad.

Una de las mayores responsabilidades de los operarios laminadores es la de lograr una buena impregnación de los refuerzos con las resinas y obtener finalmente los espesores requeridos en los planos, ello además utilizando la adecuada reacción entre peso total y peso de vidrio (Gc). Esto requiere de una experiencia particular y del uso de elementos de trabajo aptos: pistolas, rodillo, etc., entre otros.

La viscosidad de las resinas es fundamental para lograr un buen laminado. La tendencia a disminuirla con monómero tiene como sentido facilitar la tarea del operario, sin considerar el efecto negativo en el producto.

El control periódico, incluso con instrumental no sofisticado, u observando el comportamiento durante el proceso de laminado, es de gran utilidad. Los valores de la viscosidad necesaria de las resinas para un correcto laminado dependen de algunas circunstancias y, en general, están especificadas por los fabricantes. Algunos de ellos ya presentan sus resinas en condiciones de utilizarlas para evitar errores al tratar de disolverlas. Como concepto general, y para temperaturas normales de laminación por contacto, se estima el valor mínimo de la viscosidad de 350Cp. Las deficiencias de mano de obra o procedimientos de laminado para el caso de características controladas de calidad de resinas, fibras de vidrio y contenido de refuerzos (Gc) es posible detectarlo por comparación con los valores óptimos que determinan las fórmulas dadas en la Tabla antes presentada. Si se observan valores inferiores no atribuibles a los materiales, la cuestión debe suponerse como consecuencia del proceso.

En los gráficos se puede observar la dispersión de valores reales frente a las curvas representativas de las características óptimas en función del contenido de vidrio (Gc), realizadas para la flexión

y tracción. De este gráfico puede deducirse además, que los valores de (Gc) que presentan menos dispersión en relación con los óptimos, se encuentran para este tipo de laminado (Mat), entre 0.35 y 0.40, con una desviación estándar $\sigma_{n-1} = 21.59$ MPa y un valor medio de 137.33 MPa para la tracción. Para la flexión dichos valores son: $\sigma_{n-1} = 9.748$ MPa, con un valor medio = 184.55 MPa.

De un total de 9 casos, el 100% se encuentra sobre los valores de la función óptima de tracción, mientras que el 78% de los casos, sobre la función óptima de flexión y el 22%, por debajo.

Sin embargo, el análisis de esta cuestión debe aún profundizarse y estamos realizando experiencias en ese sentido, lo que determinará un fundamento importante para los procedimientos de los astilleros constructores.

c) En lo que se refiere a los materiales a emplear, el problema del control requiere mayor dedicación y complejidad que para los otros materiales comunes, y en muchos casos el complemento de asesores en química en una tarea interdisciplinaria, que antes se recomendó.

Las normas de las sociedades de clasificación prevén la homologación de tales materiales, cuando ellos cumplan los criterios especificados, y particularmente que su proceso de fabricación y controles de calidad internos merezcan considerarse confiables, para suponer un mantenimiento de la calidad de aprobación con el tiempo.

Sin embargo, la homologación no exime de controles periódicos de los productos, tanto en la fábrica como al aplicarlos en los astilleros.

Las mismas normas otorgan a los fabricantes la posibilidad de decidir sobre las características y formas de uso de sus materiales.

Se ha dado anteriormente el ejemplo de las especificaciones particulares sobre bandas de temperatura y humedad de laminado, según instrucciones del fabricante.

En el caso de productos no homologados, el control debe realizarse en principio sobre las especificaciones informadas por el fabricante, y por los controles que requiera el inspector según cada caso. La elección de laboratorios adecuados para los casos de determinaciones más complejas es de gran importancia, dado que no todos los laboratorios están en condiciones de cumplir con las normas estipuladas. Todos los ensayos y análisis deben realizarse sobre la base de las normas que se requieren a los efectos de que los resultados puedan ser comparables con los criterios de aceptación.

Se agrega como ejemplo una Planilla donde se mencionan las normas de aplicación para los análisis químicos y ensayos mecánicos prescriptos por el RINA, en cada caso con las adaptaciones

que requiere específicamente el Instituto para adecuarse a las exigencias particulares.

Como una síntesis de controles necesarios, tema que será luego ampliado en la parte B) en los aspectos químicos puede indicarse:

RESINAS

Las resinas requieren controles en su estado líquido y en el sólido. Los de mayor importancia frente a la necesidad de determinar su comportamiento para este tipo de construcciones en la obra son:

al estado líquido:

- Densidad
- Viscosidad
- Pico exotérmico
- Tiempo de gelatinización
- Índice de acidez
- Contenido de monómero
- Tiempo de vida útil
- Resistencia a la abrasión (resinas de superf.)
- Resistencia a los agentes atmosféricos (id)
- Resistencia a la variación de temperatura (id)

al estado sólido:

- Dureza Barcol
- Absorción de agua

Los valores típicos y su incidencia en las características finales se informan en la Parte B).

El control del tipo de resina (isofáltica u ortofáltica), así como su procedencia y fecha de vencimiento, es de fundamental importancia.

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Los fabricantes de las resinas aseguran el cumplimiento de las características de sus resinas, siempre que las materias primas complementarias y los aditivos utilizados sean los adecuados. Por lo tanto, es necesario controlar que tanto la calidad como las formulaciones que se realicen en el astillero para el proceso de laminado, cumplan tales especificaciones o se justifiquen plenamente sus variantes (por ejemplo variaciones de temperatura del local).

Los componentes y aditivos tienen también vida útil, es decir, fecha de vencimiento que debe controlarse como en el caso de las resinas.

Los métodos simplificados de control con reactivos durante la utilización son adecuados. Los componentes utilizados son:

- Materias primas para la polimerización y disolución:

- Monómero de estireno (de mayor uso)
- Metil o butil metacrilato
- Acetato de vinilo
- Vinil tolueno

ADITIVOS

- Para catalización (curado)
- Peróxido de metiletilcetona (MEKP), (líquido)

- Peróxido ciclohexanona (pasta)
- Para acelerar el curado (promotores)
- Octoato de cobalto
- Aminas
- Derivados del vanadio
- Compuestos cuaternarios del amoníaco
- Para dar color al gel coat
- Dióxido de titanio, para dar color blanco que es el más utilizado.
- Para facilitar el despegue del molde
- Alcohol polivinílico (PVAL)

No se han considerado en la lista precedente las cargas del gel coat, que se introducen durante la fabricación de este elemento (tixotrópicas, etc.)

REFUERZOS

Los controles de los refuerzos en obra se basan fundamentalmente en la verificación de especificaciones de calidad y características de fábrica, las que deben estar de acuerdo con los requerimientos de planos. Las normas establecen aspectos cuyas determinaciones se efectúan mediante ensayos normalizados que se indican en la Tabla adjunta, en función del material. (Mat-Tejidos-Telas).

Los ensayos físicos y análisis químicos requeridos son:

- Masa por unidad de superficie
- Contenido de humedad
- Solubilidad en estireno
- Contenido de material combustible
- La resistencia a la tracción

Los refuerzos también pueden poseer homologación por parte de las sociedades de clasificación. Sin embargo es necesario realizar periódicos controles en obra para verificar:

- Peso por unidad de superficie; características que los definen (Mat-Tejido-Tela)
- Condiciones de almacenamiento
- Condiciones de aplicación

Es necesario reiterar que las inadecuadas condiciones de humedad, así como también el polvo que puede existir en la atmósfera en el lugar de trabajo, perjudican la impregnación con la resina y por lo tanto, la resistencia del laminado.

Es conveniente verificar la constancia del peso de estos productos, ya que puede ocurrir que varíe entre valores no admisibles a lo largo del rollo.

Cuando el refuerzo está muy húmedo, sobrepasando ampliamente los valores admitidos, la resina con que se lo impregna toma una coloración blanca. La prohibición de laminar por exceso de humedad es muy anterior a esta situación límite.

Se puede mejorar la adherencia entre el refuerzo de vidrio o la resina, lo que incluso permite ampliar el margen de humedad ambiente, tratando al vidrio con compuestos de cromo o siliconas (existen

otros en investigación), si bien aumentan considerablemente el precio.

MATERIALES PARA ALMA DE ESTRUCTURAS CON LAMINADOS DOBLES (SANDWICH)

El control de estos elementos, cuando no se trata de productos específicos que abundan en la actualidad, requiere en general la verificación de características tales como:

- Peso específico
- Resistencia mecánica a temperatura hasta 60°C (tracción, corte, corte longitudinal)
- Absorción de agua
- Resistencia a hidrocarburos
- Compatibilidad con las resinas de los laminados periféricos
- Tratamientos de conservación
- Forma de corte (caso madera)
- Poseer piel de superficie (células cerradas)

Estas características deben cumplir los requerimientos de las normas. Los materiales a utilizar, que son de bajo peso pueden ser sintéticos tales como: Poliuretano (con peso específico entre 60 y 90 kg/m³) o cloruro de polivinilo, de 55 a 80 kg/m³. Puede utilizarse también madera, en general «balsa», de peso específico entre 96 y 175 kg/m³, que se corta de tal forma que las fibras queden normales a la superficie del laminado de superficie.

Los tratamientos de conservación de las maderas deben prevenir contra la formación de hongos e insectos.

La humedad no debe superar el 12% al ser instalada la madera.

Es un control importante el de la compatibilidad del material sintético de relleno con la resina del laminado de superficie respectivo. Por ejemplo, la espuma de poliestireno es atacada por el estireno que contienen las resinas poliéster, aunque puede realizarse un tratamiento superficial de protección al material del alma.

La espuma de poliuretano no es atacada por el estireno y ella puede ser inyectada in situ.

La espuma fenólica no es atacada por el estireno, pero en ambio presenta problemas en presencia de las cargas tixotrópicas de los gel coat.

CONTROLES DURANTE EL PROCESO DE LAMINADO

Durante el proceso de laminado es necesario controlar:

- El cumplimiento de las condiciones ambientales
- La utilización de los materiales aptos (lo que incluye la coincidencia con los planos)
- La adecuada aplicación de los refuerzos, cum-

pliendo con las requeridas dimensiones de sobrepuestos de uniones.

- El adecuado espesor del gel coat, recordando que debe encontrarse entre valores muy limitados (0.4 a 0.6 mm), para evitar fracturas.
- La adecuada impregnación, con los métodos idóneos, de los materiales de refuerzo con las resinas
- El cumplimiento de los tiempos de curado
- La verificación de las durezas Barcol en cada capa de laminado, luego del curado
- La confección simultánea de la muestra para probetas de ensayos.

CONTROLES DEL PRODUCTO TERMINADO

En esta etapa los controles se limitan a:

- Pruebas mecánicas de las probetas obtenidas de muestras de laminado (muestras separadas, laminadas en forma simultánea con la obra, o cortadas de partes que necesariamente deben extraerse).

Para obtener el adecuado valor comparativo con los criterios de las normas, es necesario que para cada muestra se obtenga el contenido de vidrio «Gc», y se adjunte el resultado al ensayo.

- Prueba de dureza Barcol
- Control de espesor del gel coat (de las muestras)
- Control de la superficie del gel coat
- Control de posibles averías en el desmoldado
- Medición de los espesores del laminado

El control de la superficie exterior del gel coat permite observar las deficiencias que se sintetizan en Planilla adjunta, y que normalmente son solucionables con procedimientos adecuados y reconstrucción de la superficie.

Las averías en el desmoldado pueden provenir de los esfuerzos a que se somete la estructura cuando existen adherencias en el molde, o bien por movimientos durante el transporte dentro del astillero, sin que aún se encuentren instaladas las estructuras rigidizadoras de los laminados.

El control de los espesores finales del laminado del forro (fondo, costado, cubierta, etc.) puede realizarse por medio del calibre mecánico (agujero de 6 mm y calibre de sonda), obturando luego adecuadamente el orificio con resina isoftálica y refuerzo de vidrio en la superficie interna, y reintegrando el gel coat; o bien aprovechando la realización de perforaciones para el pasaje de elementos (ejes, tuberías, ojos de buey, etc.). Los calibres ultrasónicos y magnéticos no son totalmente aplicables.

A-6) LOS CONTROLES NO DESTRUCTIVOS

No existen hasta el momento métodos no destructivos confiables para el control interno del

laminado de PRFV. En gran parte ello tiene fundamento en la característica del material compuesto, con respuestas diferentes de sus componentes. Esta carencia, que no se presenta para los materiales metálicos, justifica más los controles en todas las etapas de la construcción en este tipo de obras.

En forma circunstancial y para casos particulares pueden emplearse:

- Método visual (en material translúcido)
- Líquidos penetrantes
- Método de Moire
- Barnices frágiles
- Método radiográfico (impregnando el material a radiografiar con líquido orgánico pesado (Tetracloruro de Carbono))
- Método de microondas (sobre la base de respuestas dieléctricas conocidas)
- Termografía (es por el momento el más adecuado, pero con limitaciones)
- Emisión Acústica (utilizando transductores piezoeléctricos)
- Ultrasonido (es también utilizada esta técnica, pero con equipos especiales)

Se investigan actualmente los métodos de Holografía Óptica, Holografía Acústica, Análisis Modal y Corrientes Inducidas.

De obtenerse una metodología no destructiva de confiabilidad, el control de las estructuras de PRFV en general, y en particular las navales, se verá facilitado y logrará un nivel de seguridad más adecuado, evitando inoportunas que hoy se presentan frente a un buque ya construido con este material, es decir sin control durante el proceso de fabricación.

A-7) TRATAMIENTOS ANTIOSMOSIS

La ósmosis en los laminados sintéticos navales es uno de los problemas que aún no tiene una solución definitiva; no obstante, sus efectos son dignos de consideración.

La absorción de agua en la matriz del laminado por esta causa ha demostrado para el caso de una embarcación de 9 metros de eslora, sin protección contra ósmosis, un aumento de peso del orden de 500 kg.

Además de este aumento de desplazamiento sin rendimiento, el agua produce el deterioro interno del estratificado y el ampollamiento de la superficie del gel coat.

La utilización de resina isoftálica, tal como exigen las normas para las capas externas y el gel coat, no resulta suficiente.

El pintado de la carena con productos de base epoxi, es otra solución aunque precaria, dada la vida de la pintura en los cascos, pero es contribuyente para disminuir el efecto de la absorción de

agua.

Actualmente se han presentado a la venta productos especiales, sobre la base también de resinas epoxi, que se aplican sobre el gel coat, cuyos resultados si bien se asegura son buenos, faltaría aún un tiempo de experimentación.

Es conveniente aclarar que el problema que presenta la ósmosis se plantea también para el caso de líquidos que se encuentran en el interior de los cascos, tales como en tanques estructurales, sentinas o pozos de achique. En esas circunstancias, los procedimientos antiósmosis deben implementarse en forma similar al de la superficie de carena.

En la actualidad existe en la plaza internacional un instrumento portátil, de reducidas dimensiones que permite determinar la humedad en los laminados plásticos e incluso en la madera, especialmente adaptados para agua dulce o de mar. Las mediciones son sencillas y posee una alarma acústica para cuando se detectan niveles inadmisibles.

Utiliza un procedimiento analógico que mide la resistencia eléctrica del elemento controlado.

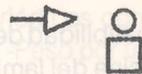
B) FUNDAMENTOS SOBRE LOS PROCESOS DE LAS RESINAS POLIESTER NO SATURADAS

B-1) FORMACION DE POLIMEROS

La representación de los grupos funcionales y las moléculas es:



Esqueleto de hidrocarburos



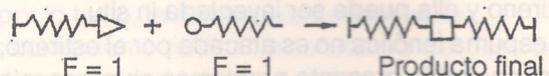
Grupos funcionales unidos a las cadenas

Grupos producidos por reacción entre grupos anteriores

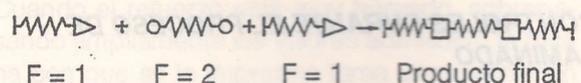
Se define la funcionalidad de acuerdo con los grupos reactivos que existan por molécula:

Caso 1

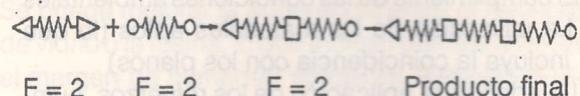
Ambas materias primas tienen funcionalidad 1



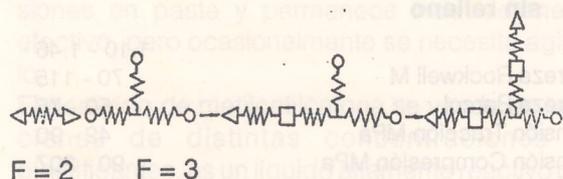
Caso 2



Caso 3



Caso 4

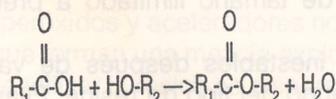


En general, cuando las materias primas reaccionan poseen una funcionalidad mayor o igual a 2. Las cadenas iniciales van a seguir creciendo indefinidamente, mientras haya materias primas en cantidad suficiente y siempre y cuando no se detenga el crecimiento por algún factor externo. La situación 3 y 4 es la de fabricación de todas las resinas.

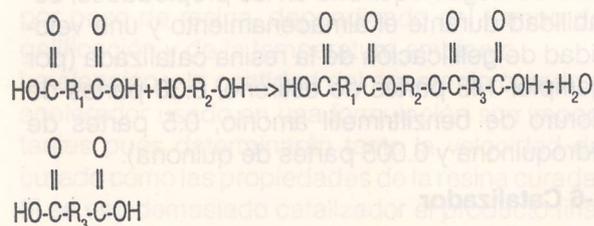
El producto final está constituido por moléculas muy grandes llamadas polímeros.

B-2 Reacciones de formación de poliéster

En las mismas están involucrados un polialcohol (glicerina, neopentil-glicol, trimetil propano, dietilenglicol) y un ácido polibásico o anhídrido (ftálico, maleico, fumárico, tereftálico, adípico). El resultado es un éster más agua.



En estas resinas la funcionalidad mínima es 2



El agua debe ser retirada para que la reacción avance. Como consecuencia de la reacción se produce un aumento progresivo del peso molecular de la resina (aumentando su viscosidad) y desaparecen por reacción los grupos ácidos (disminuyendo su acidez).

Las resinas poliéster para laminados son materiales viscosos de color ligeramente amarillo y de grado de polimerización bajo. Se producen por condensación de un glicol con dos ácidos dicarboxílicos, uno saturado y otro insaturado.

El ácido insaturado proporciona puntos para el ulterior entrecruzamientos, mientras que el ácido saturado reduce la proporción de estos puntos. Por lo tanto, la densidad de entrecruzamientos y el carácter quebradizo del producto.

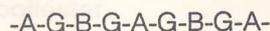
La resina se mezcla con un diluyente reactivo como el estireno (monómero).

El endurecimiento se produce por copolimerización entre el ácido insaturado de poliéster (maleico) y el diluyente reactivo (estireno); y se forman eslabones transversales entre las moléculas de poliéster. Se produce simultáneamente al endurecimiento una reticulación completa sin la liberación de subproductos.

El estireno cumplió su rol de disolvente y quedó incorporado a la polimerización.

Las materias primas son:

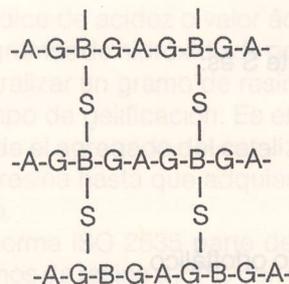
- A Acido dibásico saturado
- B Acido dibásico no saturado
- G Polialcoholes
- S Reactivo diluyente



Tal poliéster permanece insaturado a causa de la forma y tamaño de la molécula del grupo insaturado B. Se dice que un grupo es insaturado cuando tiene dobles enlaces C=C.

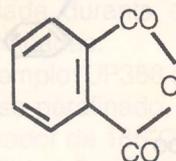
En esta etapa la resina es una larga cadena de polímero termoplástico.

Si otro grupo insaturado se introduce, S puede interactuar con el grupo insaturado B y un entrecruzamiento con la cadena lineal da una compleja red tridimensional que es termoestable y que puede representarse así:

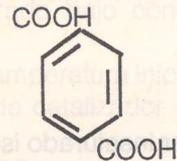


B-3 Materias primas

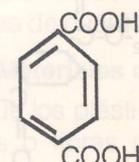
a) Los ácidos dibásicos saturados A son:



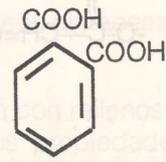
Anhídrido ftálico



Acido isoftálico



Acido tereftálico



Acido Ortoftálico

El peróxido de ciclohexano se presenta en dispersiones en pasta y permanece indefinidamente efectivo, pero ocasionalmente se necesita agitarlo.

El peróxido de metilcetilcetona se vende en soluciones de distintas concentraciones en plastificantes, es un líquido altamente reactivo que tiende a perder vigor con el almacenaje.

Puede medirse volumétricamente y es más reactivo que el peróxido de ciclohexanona, por lo tanto se necesita menos cantidad. Por ser incoloro debe ponerse especial cuidado de la dispersión del Mekp en la resina.

Una buena dispersión es esencial para lograr un producto consistente.

Para un curado en frío la dispersión lleva alrededor del 4% de pasta de ciclohexano y un 2% de Mekp. Una vez catalizada la resina tiene un potlife a temperatura ambiente de 8 a 30 horas, dependiendo del tipo de resina.

B-7 Aceleradores

Los aceleradores de importancia comercial son naftenato de cobalto, aminas, compuestos de amonio cuaternario o algunos derivados del Vanadio.

Los peróxidos y aceleradores no se deben juntar porque forman una mezcla explosiva. Cuando se ha de utilizar la resina se dispersa en ella primero el acelerador y luego el iniciador respetando ese orden.

La cantidad de acelerador está entre el 1 y el 4% por peso de resina, dependiendo del tiempo de gelificación y de la temperatura ambiente.

La elección y la cantidad del agente de curado o acelerador usado en una formulación son importantes pues determinarán tanto la velocidad de curado como las propiedades de la resina curada. Si se usa demasiado catalizador el producto final puede tener un curado incompleto y tendrá propiedades físicas, químicas inferiores; si se usa menos catalizador también se puede obtener un producto final con curado incompleto.

El tiempo de gelificación sería controlado por el porcentaje del acelerador y no se altera por el catalizador.

Los agentes de curado y las formulaciones dadas por los fabricantes de resinas deben ser respetados y así la resina podrá alcanzar su máxima resistencia, durabilidad, resistencia química y estabilidad.

B-8 Efecto exotérmico

El tiempo de gelificación de la resina varía con la concentración de acelerador agregado. Al seguir la gelificación se observa la elevación de la temperatura, que puede alcanzar hasta 200°C.

Cuanto más corto es el tiempo de gelificación más

alto es el pico de elevación de la temperatura.

En el laminado en frío el calor generado se disipa al molde o a la atmósfera y la temperatura del laminado no cambia mucho. Esto explica por qué el tiempo de gelificación del laminado es mayor que el obtenido en un recipiente de resina.

Cuando se eleva demasiado rápido la temperatura se acelera el curado de la resina. esto ocurre en un molde aislado y debido a las tensiones internas en la pieza sufrirá agrietamientos por la baja conductividad térmica de la resina sólida. Por lo tanto, en piezas grandes como las que nos ocupan, cualquier factor que aumente el tiempo de gelificación reducirá la exotermia o evitará la existencia de tensiones internas.

B-9 Parámetros de control de las resinas poliéster

Viscosidad: Se relaciona con el peso molecular del polímero. A mayor viscosidad, mayor peso molecular (a igualdad de contenido de sólidos y tipo de solvente).

La norma ISO 2555 establece un modelo de viscosímetro RVF o RVT, la temperatura de 23°C y una velocidad de rotación del buzo de 10 min⁻¹.

Sólidos: Está unido al control de viscosidad.

Por ejemplo, una resina Crytic 189 al 62% de sólidos tiene una viscosidad de 360 cp a 25°C

Índice de acidez: Es una medida de los grupos carboxilos que quedan sin reaccionar. Crytic 189MV es 26

El índice de acidez o valor ácido es el número de miligramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar un gramo de resina.

Tiempo de gelificación: Es el tiempo transcurrido desde el agregado del catalizador y el acelerador a la resina hasta que adquiere un aspecto gelatinoso.

La norma ISO 2535 parte de una muestra de 50 gramos de resina a 25°C con 0.5 ml de solución de octoato de cobalto y 0.3 ml de MEKP y mide el tiempo necesario para alcanzar 500p (50 Pa.s).

Pico exotérmico: Es la temperatura más alta desarrollada durante el curado bajo condiciones especificadas.

Por ejemplo: UP366 con temperatura inicial 20°C, en vaso parafinado, 3% de catalizador y 1% de acelerador da 185°C

Estabilidad: Se realiza a 80°C y se observa cuántos días tarda la resina en gelificarse.

Da idea de cuánto tiempo se la puede almacenar.

B-10 Materiales de refuerzo

Aunque los plásticos se refuerzan con rellenos o polvos o fibras para mejorar sus propiedades mecánicas, el término plástico reforzado se reserva para el plástico reforzado con fibra de vidrio.

TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES DE MATERIALES

| MATERIAL | SG | RES. TRACCION | M. YOUNG | R. ESPECIFICA |
|---------------|-----|-----------------------|--------------------------|---------------|
| MADERA(NOGAL) | 0.8 | 14 KG/MM ² | 16000 KG/MM ² | 17.5 |
| ACERO | 7.9 | 70 | 7000 | 8.8 |
| ALUMINIO | 2.8 | 40 | 20000 | 14.3 |
| POLIESTER | | | | |
| 70%ROVING | 1.9 | 84.3 | 4216 | 44.4 |
| 55% TELA | 1.7 | 35 | 1757 | 20.6 |
| 30% MAT | 1.6 | 17 | 1054 | 10.6 |

Hay algunas razones que hacen de la resina poliéster y la fibra de vidrio una buena combinación:

- Las resinas poliéster son líquidas y de esa manera fluyen e impregnan la fibra de vidrio con poca o ninguna presión.
- La fibra de vidrio es uno de los materiales más fuertes conocidos y no se deteriora aún después de largo tiempo
- La fibra de vidrio es fácilmente quebrada no sirve para moldeo a alta presión pero es el refuerzo ideal con resina curada con poca presión
- El molde o el laminado de plásticos reforzados tiene excelentes propiedades físicas a menudo mejor resistencia específica que los metales.

La estructura de los plásticos reforzados con fibra de vidrio permite prestar atención al tipo y sentido del esfuerzo. Para aumentar la resistencia en una dirección se utiliza tela de vidrio distinta de la de la industria textil. La máxima uniformidad se obtiene con vellones de fibras sin ninguna orientación pero entonces la resistencia es mínima.

Con tela de vidrio y vellones se prepara un tipo de fieltro que se impregna con resina poliéster. Así se producen laminados y la disposición del producto de diferentes tejidos y vellones unidos se adaptan a los esfuerzos puestos en juego.

Es importante dirigir las tensiones de tracción de manera de ser recogidas por las fibras de vidrio y no por la resina poco resistente a la tracción.

Hay que tener en cuenta los esfuerzos vibracionales, ya que en estos materiales la resistencia vibracional no es elevada y está limitada por la unión entre la fibra de vidrio y la resina.

En el gráfico se muestra la resistencia a la tracción para cuerdas orientadas (roving), tejido (woven cloth) y vellones. Se ejecutará siguiendo un procedimiento de colocación manual estratificando a mano los fieltros una vez cortados e impregnando uno tras otro con resina.

Para mejorar la adhesión entre el vidrio y la resina el vidrio se trata con un acabado químico. Esto vuelve la superficie del vidrio menos hidrofílico y

así mejora el rendimiento de la laminación en condiciones húmedas.

Otra forma de aumentar la adhesión de las capas entre sí en este material compuesto sería introduciendo transversalmente fibras. El Ministerio Federal de Ciencia y Tecnología promovió el estudio de una máquina tejedora para conectar fibras en las tres dimensiones sin desperfectos. La resina no se absorbe desde afuera sino se entreteje en forma de fibra en tres dimensiones. Estas fibras son derretibles por ser termoplásticas y por acción del calor lo hacen y se reparten como medio de unión. Las fibras sintéticas y naturales, tales como: nylon rayón acetato, amianto, algodón, sisal y yute han sido usadas como refuerzos y los tejidos de terilene mejoran la resistencia a la abrasión y al impacto de un laminado. Pero usadas solas ninguna tiene una resistencia mayor que el vidrio.

B-11 Gel Coat

La durabilidad de una pieza moldeada de resina poliéster depende de la calidad de su superficie expuesta.

Se debe tomar la precaución para impedir que las fibras vayan cerca de la superficie donde puede ser atacada por la humedad. Para lograrlo, la superficie del laminado es un área rica en resina y se llama gel coat.

Su función es:

- * Proteger la fibra de vidrio de influencias externas
- * Ocultar la fibra y dar un moldeo suave y una superficie atractiva
- * Dar propiedades superficiales especiales (mejorar abrasión o el impacto)
- * Es la parte más importante del laminado pero también la más vulnerable

Se debe aplicar con rodillo o pincel o con pistola sin aire que garantice una mínima evaporación del monómero.

Debe tener 311g por metro cuadrado para dar el espesor necesario.

B-12 Control de calidad del proceso

El éxito o fracaso de realizar un laminado de

poliéster reforzado de alta calidad depende en gran medida del conocimiento que se tenga de la naturaleza de la estructura poliéster fibra de vidrio. Cuando se trabaja con aluminio o con acero la composición química y las propiedades del material son responsabilidad del fabricante; con poliéster reforzado, la responsabilidad recae en el que produce el laminado, porque en este caso al laminar se realiza el propio material.

El Control de Calidad debe cubrir pues cada etapa de la fabricación. Para comenzar las condiciones de trabajo ya fueron enumeradas en la primera parte.

Respecto al almacenamiento de las materias primas. La resina y los agentes de curado deben ser mantenidos en un lugar frío, lejos del área de trabajo; recordando los peligros asociados al estacionamiento de líquidos inflamables.

La fibra de vidrio debe conservarse en condiciones secas y fuera del área de trabajo.

La temperatura de estacionamiento varía entre 15 y 20°C y el local debe tener luz diaria difusa (recordar que la luz solar provoca gelificación prematura de la resina).

En el astillero, sería conveniente la existencia de un laboratorio que permitiera el control de los siguientes parámetros:

- Variación del contenido de resina

- Viscosidad de la resina.
- Valor ácido.
- Corrientes de aire que producen una excesiva pérdida de estireno.
- Tiempo de gelificación.
- La temperatura ambiente, si variara hay que ajustar el contenido del acelerador.
- Adecuada mezcla de los agentes de curado.
- Variación de la actividad del catalizador líquido.
- Control de la humedad ambiente.
- Tiempo entre la adición del catalizador y la adición del acelerador.
- Medición de la dureza del laminado con Durómetro de Barcol GYZJ9341.

Si bien la dureza Barcol no es una medición absoluta del estado del curado, permite reconocer un mal laminado.

Los equipamientos básicos para estas determinaciones son:

- Viscosímetro Rotacional para viscosidad media con una viscosidad mínima de 100 cp de tipo RTV o RVF, con velocidad de rotación entre 2 y 20 rpm.
- Material de vidrio para el laboratorio químico esencial.
- Higrómetro.
- Termómetros.
- Agitador magnético.
- Termostato.
- Durómetro.

CARACTERISTICAS MECANICAS MINIMAS

R.I.N.A.

| CARACTERISTICA | FUNCION | MPa (1) |
|--------------------------------|------------------------------|---------|
| Tensión de rotura tracción | $1278.Gc^2 - 510.Gc + 123$ | 75 |
| Módulo de elasticidad tracción | $(37.Gc - 4,75) 10^3 (*)$ | 6000 |
| Tensión de rotura compresión | $150.Gc + 72 (*)$ | 115 |
| Módulo de elasticidad compres. | $(40.Gc - 6) 10^3$ | 4000 |
| Tensión de rotura flexión | $(502.Gc^2 + 106,8 (**))$ | 118 |
| Módulo de elasticidad flexión | $(33,4.Gc^2 + 2,2) 10^3 (*)$ | 5000 |
| Tensión rotura al corte | $80.Gc + 38$ | 58 |
| Módulo de elasticidad corte | $(1,7.Gc + 2,24) 10^3$ | 2665 |
| Tensión rotura corte interlam. | $22,5 - 17,5.Gc$ | 18 |

(*) Fórmulas aplicables para $Gc > 0,29$. Para Gc entre 0,29 y 0,25 se requiere $E_t \geq 6000$ MPa $\sigma_m \geq 115$ MPa y $E_i \geq 5000$ MPa.

(**) Para Gc entre 0,29 y 0,25 se admiten valores menores, pero no inferiores a 100,3.

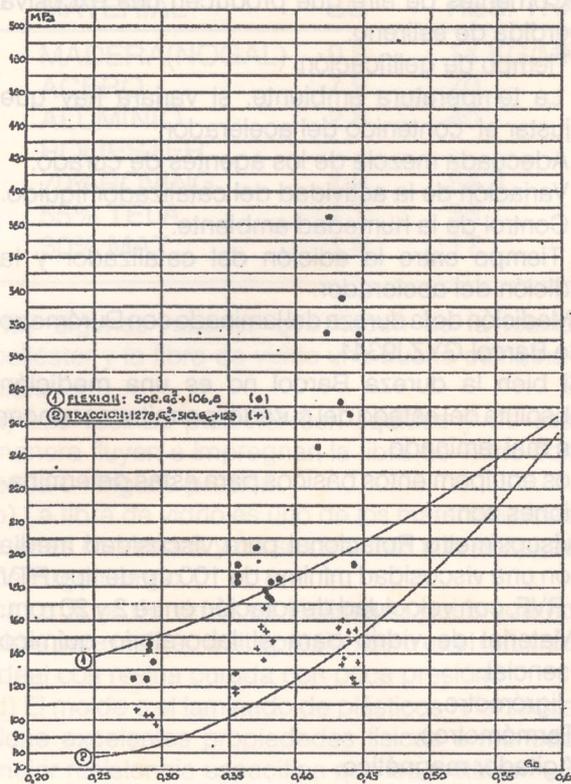
(1) Valores mínimos

$Gc = P/Q$

P= Masa por unidad de área del refuerzo en el estratificado (g/m^2)

Q= Masa por unidad de área del estratificado, excluyendo la resina de superficie (g/m^2).

TENSIONES DE ROTURA A LA FLEXION Y A LA TRACCION (R.I.N.A)



NORMAS APLICABLES ENSAYOS FISICOS Y ANALISIS QUIMICOS

**PRFV
RINA**

- A) RESINAS
1) ESTADO LIQUIDO**

| TIPO | NORMAS INDISTINTAS |
|--------------------------|---------------------------------------|
| PESO ESPECIFICO | ISO R 1675 - 1970 |
| VISCOSIDAD | ISO R 2555 - 1974 |
| TIEMPO DE GELATINIZACION | ISO 2535 - 1974 PROGR 476 UNIPLAST |

- 2) ESTADO SOLIDO**

| TIPO | NORMAS INDISTINTAS |
|--|--|
| PESO ESPECIFICO | ISO R 1675 - 1970 |
| ABSORCION DE AGUA | ISO - 62 - 1980 - M1 |
| TENSION ROTURA A LA TRACCION, DEFORMACION | ISO - 527 - 1966 |
| MODULO ELASTICO | |
| RESISTENCIA A LOS AGENTES ATMOSFERICOS | ASTM G 23 - 69 - 1975 ASTM 1499 - 64 - 1977 |
| DUREZA BARCOL | UNI EN 59 ASTM 2583/75 |
| TENSION ROTURA A LA FLEXION, MODULO DE ELASTICIDAD Y DEFORMACION A TEMPERATURA ELEVADA | ISO - 75 - 1974 - M.A. |
| ACIDEZ | ISO R 2114 - 1974 |
| CONTENIDO DE MONOMERO | ISO 3251 - 1974 |

B) REFUERZOS DE VIDRIO

| CARAC | TIPO | NORMAS INDISTINTAS |
|---------------------|--|--|
| MAT | MASA POR UNIDAD DE SUPERFICIE | UNI 8039 - 2 - 1979 ISO 3374 - 1980 |
| | CONTENIDO DE HUMEDAD | UNIPLAST 375 ISO 3344 - 1977 |
| | SOLUBILIDAD EN ESTIRENO | UNI 8039 - 3 ISO 2568 - 1974 |
| | CONTENIDO DE MATERIAL COMBUSTIBLE | UNI 8532 ISO 1887 - 1980 |
| | RESISTENCIA A LA TRACCION | UNI 8039 - 4 ISO 3342 - 1975 |
| TEJIDO O TELA | MASA POR UNIDAD DE SUPERFICIE O LINEAL | UNIPLAST 366 - 5 ISO 4605 - 1978 |
| | CONTENIDO DE HUMEDAD | UNIPLAST 375 ISO 3344 - 1977 |
| | RESISTENCIA A LA TRACCION | UNIPLAST 366 - 5 ISO 4605 - 1979 |

C) MATERIALES PARA ALMAS

| TIPO | NORMAS INDISTINTAS |
|---|--|
| RESISTENCIA A LOS AGENTES EXTERNOS | R I N A |
| RESISTENCIA A LA TRACCION LUEGO DE LA INMERSION | ASTM C 272 R I N A |
| RESISTENCIA AL CALOR | R I N A |
| COMPATIBILIDAD CON RESINAS | R I N A |
| RESISTENCIAS MECANICAS | ASTM- D- 790 (FLEXION) ASTM- C 273 (CORTE) ASTM- D- 1621- 73 (COMPRESION) ASTM- D- 1621- 72 (TRACCION) ISO- R- 84 (COMPRESION) ISO- 1926 (TRACCION) |
| PESO ESPECIFICO | ASTM D- 1622- 63 |

SINTESIS SOBRE DEFECTOS TÍPICOS EN EL GEL COAT

| DENOMINACION | ASPECTO | CAUSAS PROBABLES |
|--|--|---|
| Arrugas (Wrinkling) | Superficie arrugada | Ataque del solvente en el gel coat, por bajo espesor; mal curado; condiciones ambientales; corrientes de aire |
| Agujeros puntuales (pinholding) | Pequeños agujeros del tamaño de cabeza de alfiler o menor. | Pequeñas burbujas de aire en el gel coat. Resina muy viscosa; alto contenido de refuerzo. Agente de despegue no adecuado |
| Manchas. | Coloración superficial. | Aditivos mal dispersos. |
| Estrías (Striations) | Líneas en las dos direcciones de la superficie. | Colorantes mal mezclados o incompatibles. |
| Fibras visibles (Fibre Pattern) | Se observa la fibra del refuerzo, o es muy detectable. | Bajo espesor del gel coat. Refuerzo colocado con el coat no endurecido. Quitado prematuro del molde. |
| Ojos de pez. (Fish eyes) | Manchas oscuras circulares, de aproximadamente 6 mm de diámetro | Carencia de gel coat en el lugar. Efecto de la cera siliconada de despegue. |
| Ampollas. (Blisters) | Ampollas en la superficie en áreas variables. Pueden producirse despegues algunos meses luego del desmoldado | Aire o solvente en la superficie. Exceso de humedad absorbida con el casco en el agua. Curado deficiente. Elevada temperatura del curado. |
| Cuarteado (Crazing) | Finas grietas entrecruzadas en la superficie, visibles inmediatamente o después de algunos meses de desmoldado. | Fallas en la formulación de las resinas. Exceso de estireno en el gel - coat. Dureza del gel coat no compatible con el espesor. Poca flexibilidad del gel - coat. |
| Agrietamiento en estrella (Star cracking) | Grietas en forma de estrella. | Espesor del gel coat superior al máximo recomendado (0.6mm) y un impacto en la cara interna del laminado. |
| Permeabilidad (Leaching) | Pérdida de la resina del laminado, dejando expuesto el refuerzo. Se presenta luego de la exposición a la intemperie. | Resina no adecuada, o mal curada. Es una falla seria y de difícil solución. |
| Amarillamiento (Yellowing) | Torna el color al amarillo. | Absorción de los rayos ultravioletas de la luz solar. Falta de estabilidad de las resinas por esa causa. |

Como concepto general, todos estos defectos son solucionables.