



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

Diseño de un procedimiento de homologación de los ensayos a realizar para casco de embarcaciones de recreo, realizadas en poliéster con fibra de vidrio (GFRP) según la Sociedad de Clasificación Naval Lloyd's Register.

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

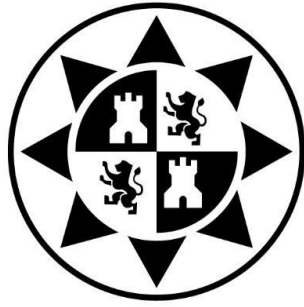
**Autor: Víctor Fernando Pérez
Peñarrubia**

**Director: Isidoro José Martínez Mateo
Codirector: Joaquín Arias Pardilla**



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, abril de 2020



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Parte I

Descripción de la normativa aplicada
según la Sociedad de Clasificación
Naval Lloyd's Register

Alumno: Víctor Fernando Pérez Peñarrubia

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Codirector: Joaquín Arias Pardilla

Titulación: Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Departamento: Ingeniería de Materiales y Fabricación

Contenido

Objeto	5
Normativa	5
1 Requerimientos generales.	6
1.1 Alcance.....	7
1.2 Información sobre la calidad del material y su aplicación	7
1.3 Fabricación	7
1.4 Procedimiento de inspección.....	8
1.5 Procedimientos de inspección alternativos	9
1.6 Calentamiento post-curado.....	9
1.7 Material para las pruebas.....	9
1.8 Procedimiento de re-testeo	10
1.9 Examinación visual y no destructiva.....	10
1.10 Reparación de material defectuoso	10
1.11 Identificación de los productos y los materiales base	11
1.12 Certificación	11
2 Pruebas con polímeros, resinas, refuerzos y materiales asociados.	12
2.1 Introducción	12
2.2 Resinas termoestables	13
2.3 Propiedades resinas termoestables	14
2.4 Procedimientos de ensayo resinas termoestables sin reforzar.....	14
2.5 Propiedades de los refuerzos en resinas termoestables	16
2.6 Procedimientos de ensayo resinas termoestables reforzadas	17
3. Procedimientos de las pruebas.	18

3.1	Requerimientos generales	18
3.2	Preparación de las muestras para las pruebas.....	19
3.3	Preparación de las probetas para ensayo	19
3.4	Pruebas	19
3.5	Descarte de probetas.....	20
3.6	Informe de resultados	20
3.7	Pruebas sobre probetas moldeadas a partir de resina termoestable sin reforzar	21
3.8	Pruebas sobre probetas moldeadas a partir de resina termoestable con refuerzo	22
4.	Probetas y accesorios plásticos.	22
4.1	Requerimientos de diseño	23
4.2	Fabricación	23
4.3	Certificación de calidad.....	25
4.4	Tolerancias dimensionales	25
4.5	Composición.....	25
4.6	Pruebas	26
4.7	Examen visual	28
4.8	Prueba hidráulica.....	28
4.9	Procedimiento de reparación	29
4.10	Identificación.....	29
4.11	Identificación de los productos y los materiales base	29
4.12	Certificación	29
5.	Control de la calidad del material para construcciones compuestas.....	30
5.1	Presentación del diseño	30
5.2	Construcción.....	30
5.3	Aseguramiento de la calidad	31
5.4	Tolerancias dimensionales	31

5.5 Composición del material	32
5.6 Pruebas sobre los materiales	32
5.7 Procesos de reparación	33
5.8 Identificación del material.....	33
5.9 Valores mínimos admisibles para los materiales	33
Comparativa requerimientos entre la Naval Lloyd´s Register y la American Bureau of Shipping	34

Índice de tablas

Tabla 1: Propiedades a hallar y modalidad de pruebas	28
Tabla 2: Requisitos mínimos según la ABS.....	35

Objeto

El presente trabajo tratará sobre el desarrollo del proceso de homologación necesario para la acreditación del poliéster reforzado con fibra de vidrio como material base para la construcción de embarcaciones de recreo o de pesca según el proceso de verificación y calidad desarrollado por la Sociedad de Clasificación Naval Lloyd's Register apoyado en las normas internacionales ISO.

Gracias a este trabajo se desarrollará un procedimiento que permitirá agilizar el proceso de certificación y el uso de este tipo de material en la construcción de las embarcaciones, permitiendo así a los constructores y las empresas asociadas a este procedimiento un rápido manejo de la normativa para conseguir un proceso acorde a los estándares internacionales descritos por una sociedad de clasificación reconocida en el sector Naval.

El uso del poliéster reforzado con fibra de vidrio está ampliamente extendido en el sector náutico por lo que la simplificación de los procedimientos en la certificación es de gran utilidad para un sector importante de la industria.

Normativa

En cuanto a la normativa que involucra este proceso de homologación, el principal documento del que se extraen los procedimientos para la certificación es el documento llamado "Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials" desarrollado por la Lloyd's Register. Se trata de un manual donde se recogen todos los procedimientos de certificación de todos aquellos materiales y técnicas que son necesarios para el correcto desarrollo de la actividad de construcción de estructuras de uso naval, barcos, embarcaciones de todos los tamaños y maquinaria utilizada en la construcción de estos objetos.

Dicho documento recoge los procedimientos necesarios para la manufactura de materiales tales como el hierro y el acero forjados, aleaciones de aluminio o cobre y, el principal objeto de este trabajo, la manufactura de materiales compuestos de matriz

polimérica y reforzado con fibra de vidrio recogidos en dicha normativa en el capítulo 14.

Para el desarrollo de este documento, definiremos cada uno de los puntos del procedimiento detallado en el informe de la Lloyd's Register en el capítulo anteriormente citado además de las normas internacionales a las que se referencia en el mismo, el procedimiento consta de 5 puntos que son:

- 1. Requerimientos generales.**
- 2. Pruebas con polímeros, resinas, refuerzos y materiales asociados.**
- 3. Procedimientos de las pruebas.**
- 4. Probetas y accesorios plásticos.**
- 5. Controles de calidad sobre construcciones con materiales compuestos.**

A excepción del primer punto de este procedimiento, los demás están referidos a todo tipo de materiales plásticos y no metálicos por lo que para agilizar el procedimiento identificaremos en el documento las categorías a las que pertenece el poliéster con fibra de vidrio.

Durante el desarrollo de los puntos se nombrarán las normas ISO asociadas a los mismos y posteriormente se desarrollarán las mismas en base al material seleccionado para poder acceder a ellas de manera rápida durante la lectura del informe.

1 Requerimientos generales.

Esta sección se divide en una serie de puntos donde se describen los requisitos previos comunes a la mayoría de materiales tratados en esta sección. Todos aquellos procedimientos que no estén incluidos en el Capítulo 14 de la normativa de la Lloyd's Register serán desarrollados después de su mención en este documento. A continuación, se nombran los puntos expuestos en los requerimientos generales y se describe su contenido.

1.1 Alcance

- El proceso de homologación descrito en el capítulo 14 del documento redactado por la Lloyd's Register (a partir de ahora se la nombrará como LR), puede ser utilizado para la creación y prueba de tubos de plástico además de la construcción y reparación de embarcaciones creadas con materiales compuestos, estructuras marinas, tuberías y cualquier pieza creada con materiales similares.
- En el caso de materiales base, el fabricante no requiere de la aprobación de LR para su uso, sin embargo, estos materiales deben cumplir las condiciones de calidad según LR que se expondrán posteriormente.
- Si existen requerimientos sobre el material para su uso, estos deben cumplir las especificaciones que se expresan en la segunda parte de la normativa creada por LR.
- Los requerimientos de diseño de las piezas plásticas y accesorios deben seguir las directrices de la cuarta parte de la normativa sobre plásticos y materiales no plásticos que se describirá en páginas posteriores.
- Para la clasificación de los materiales sujetos a esta normativa, definiremos el material plástico como una sustancia orgánica que puede ser termoestable o termoplástico y que, en su estado final, puede contener refuerzos o aditivos.

1.2 Información sobre la calidad del material y su aplicación

- Para la clasificación o certificación de los materiales plásticos, el fabricante debe dar al proveedor del material la información necesaria para asegurar que se cumplen todos requerimientos y especificaciones. Puede ser necesario incluir la información que el supervisor de LR vea oportuno.

1.3 Fabricación

- Para la fabricación del material debe utilizarse equipamiento aprobado para el tipo de producto que se desea fabricar utilizando materiales base aprobados.

- Dichos materiales deben cumplir las especificaciones dadas en la segunda y tercera parte de la instrucción creada por LR.
- Para poder verificar los procedimientos de fabricación, el fabricante debe demostrar a LR que posee tanto la maquinaria necesaria como el personal cualificado para desempeñar todos los estadios de la producción. Para realizar dicha verificación, LR designara inspectores que verificaran si dicho proceso cumple las expectativas de LR. Cuando el fabricante posee más de un proceso productivo, la verificación solo será válida para aquel proceso que se siga el programa de LR.
- Para mantener la aprobación de LR, el fabricante debe confirmar por escrito que no se han producido cambios en la teoría ni en el proceso productivo en si para el material examinado y además que el lugar de fabricación permanece sin cambios.

1.4 Procedimiento de inspección

- Los supervisores deben tener acceso a todas las partes relevantes del proceso y deben ser provistos de toda la información y facilidades necesarias para permitirles verificar que la fabricación es llevada a cabo según el procedimiento aprobado. Las instalaciones también deben proporcionar el proceso de selección del material, la existencia de test específicos y el examinado de los materiales, acorde a las reglas determinadas por LR.
- Antes del acopio y aprobación de material para test, los fabricantes deben dar a los inspectores detalles sobre el orden, las especificaciones y sobre cualquier condición adicional a las expuestas en las normas.
- Antes del aprobado final, todos los materiales para testeo deben verificarse como típicos en el producto fabricado y deben estar en condiciones aceptables para los inspectores. El resultado debe ser acorde a las especificaciones y a cualquier norma que a ojos de los inspectores deba cumplirse.
- Los test y exámenes específicos deben realizarse antes del envío de los productos terminados.

- Si se da el caso que cualquier material resulta ser insatisfactorio, durante el subsecuente trabajo, maquinado o fabricación, debe ser rechazado a pesar de cualquier certificación previa.

1.5 Procedimientos de inspección alternativos

- En los lugares donde los materiales son fabricados en cantidad a través de procesos continuos o semi-continuos bajo un control exhaustivo, cualquier sistema alternativo de inspección para la realización de test o inspección, debe contar con la aprobación de los inspectores.
- Para ser considerados para la aprobación, los fabricantes deben cumplir los requisitos expuestos en el primer capítulo 1, sección 2 “Requerimientos para la aprobación e inspección” de la normativa de LR.

1.6 Calentamiento post-curado

- Debe realizarse en hornos contruidos adecuadamente que posean un mantenimiento eficiente y tengan medios de control y registro de temperatura adecuado. El horno debe permitir que el objeto en su interior se caliente de manera uniforme a la temperatura necesaria. En piezas de larga longitud que requieran calentamiento post-curado pueden considerarse métodos alternativos.

1.7 Material para las pruebas

- Debe proporcionarse material suficiente para la preparación de muestras para test según los requerimientos específicos de cada prueba. Es, sin embargo, de gran interés para los fabricantes proporcionar material adicional para cualquier test adicional que pueda necesitarse, proporcionar material defectuoso o insuficiente puede ser motivo de rechazo.
- Todo material para pruebas (además de materiales base o muestras de material del producto) seleccionado por un inspector o una persona designada por LR, debe ser identificado con marcas reconocibles que deben mantenerse durante el proceso de creación de las muestras.
- Todas las muestras de materiales designadas para pruebas deben prepararse bajo condiciones que sean lo más parecidas posibles a las condiciones en las

que el material será trabajado. Si no es posible, debe llegar a un consenso con el inspector de LR.

- Durante la producción, deben darse muestras al inspector para su revisión.
- En el caso en el que la toma de muestras resulte imposible, muestras modelo deben prepararse a la vez que se desarrolla la producción. El proceso de preparación de estas muestras debe acordarse con el inspector.
- Las dimensiones, número y orientación de las muestras deben ser acordes a los estándares nacionales o internacionales aceptados por LR.

1.8 Procedimiento de re-testeo

- Cuando los materiales para pruebas no cumplen los requerimientos especificados, dos test adicionales del mismo tipo pueden ser realizados a decisión del inspector.
- Cuando un test individual da un grupo de al menos cinco desviaciones con respecto a la media por más de dos desviaciones estándar ya sea por exceso o por defecto, el resultado es la exclusión y la realización de una nueva prueba. Los fallos deben ser comunicados con la confirmación de que han sido excluidos. Solo es aceptada una exclusión por cada grupo de pruebas.

1.9 Examinación visual y no destructiva

- A pesar de la aceptación final, deben realizarse inspecciones superficiales, verificación de las dimensiones y ensayos no destructivos según la tercera y la cuarta parte del capítulo 14, desarrollados posteriormente.
- Cuando hay una clara evidencia para dudar de la solidez de cualquier material o componente, tales como fallas o marcas superficiales sospechosas, es responsabilidad del fabricante probar la calidad del material a través de cualquier método adecuado.

1.10 Reparación de material defectuoso

- Las pequeñas manchas superficiales pueden ser eliminadas por métodos mecánicos si se puede cumplir que tras ese tratamiento mecánico las

dimensiones son aceptables y se prueba que la zona es libre de defectos estructurales con la aprobación del inspector.

- Los procesos de reparación a mayor escala deben contar con la aprobación del inspector de LR.

1.11 Identificación de los productos y los materiales base

- El fabricante de materiales aprobados debe identificar cada lote con un número único.
- El fabricante de productos plásticos debe adoptar un sistema de identificación que permita seguir cada uno de los productos hasta su lote original. Los inspectores deben recibir todas las facilidades posibles para seguir el rastro de cualquier componente o material cuando lo requieran.
- Cuando cualquier objeto ha sido identificado con una marca personalizada por el inspector o por un representante del mismo, no debe ser utilizado hasta que una nueva marca de identificación hecha por el inspector se añadida al objeto. El incumplimiento de esta condición puede implicar la exclusión del objeto.
- Antes de que cualquier probeta o accesorio sea finalmente aceptado este debe ser marcado por el fabricante en al menos un lugar con los detalles especificados en la cuarta parte del capítulo 14 de la instrucción de LR.
- Cuando un numero de objetos idénticos son unidos en paquetes, el fabricante solo necesita marcar el objeto superior del paquete. De forma alternativa, una etiqueta duradera con las especificaciones necesarias puede añadirse al paquete.

1.12 Certificación

- La certificación de productos terminados debe estar en concordancia con los requerimientos de las secciones relevantes.

2 Pruebas con polímeros, resinas, refuerzos y materiales asociados.

2.1 Introducción

En esta sección del capítulo 14 del documento redactado por LR, se detallan todos los tipos de materiales plásticos y no metálicos que se utilizan en el conformado de embarcaciones y estructuras navales de manera usual.

Sin embargo, en el caso de este informe, nos centraremos en aquellas categorías a las que pertenece el material a estudiar, en nuestro caso el poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El poliéster es un material que puede ser tanto termoplástico como termoestable, sin embargo, el de uso naval es la resina de poliéster que es termoestable.

Esta resina es el resultado de la policondensación (unión de elementos para la formación de monómeros, que a su vez se unirán para formar dímeros y polímeros) de diácidos (unión de dos moléculas de ácido eliminándose una molécula de agua) con grupos del tipo alcohol, se creó sobre 1936 por la ahora conocida como DuPont Corporation.

En cuanto a la fibra de vidrio, se trata de filamentos extremadamente finos formados de forma típica por la unión de moléculas de dióxido de silicio (SiO_2). La empresa Owens-Corning fue pionera en su producción en masa.

Se podría decir que su primer uso en masa fue la construcción de componentes para los aviones y las cubiertas para los equipos de radar (radomos) durante la II Guerra Mundial.

Para poder identificar la categoría a la que pertenece el material a estudiar debemos conocer todas las opciones que plantea el documento redactado por LR, que son las siguientes:

- **Polímeros termoplásticos.**
- **Resinas termoestables.**
- **Refuerzos.**
- **Polímeros termoplásticos reforzados.**
- **Resinas termoestables reforzadas.**

- **Materiales base:**
 - **Balsa de grano fino**
 - **Espumas rígidas**
 - **Materiales sintéticos tipo fieltro**
- **Calzas para maquinaria compuesta (uniones).**
- **Timones y rodamientos.**
- **Rodamientos de popa.**
- **Contrachapados.**
- **Materiales adhesivos y sellantes.**
- **Componentes para reparaciones.**

Observando todas las categorías anteriores e identificadas las propiedades del material seleccionado en este trabajo podemos asumir que el tipo concreto es el de “**Resinas termoestables reforzadas**”.

Una vez identificada la categoría nos remitiremos a la documentación para definir los parámetros y pruebas que deben realizarse sobre los materiales para su certificación según los criterios de LR.

2.2 Resinas termoestables

La información sobre las resinas termoestables reforzadas se encuentra en la sección 2.6 del capítulo 14 del documento de LR. En dicho capítulo se enuncian las siguientes bases:

- Las resinas termoestables que se deseen utilizar con añadidos de refuerzo deben ser ensayadas en concordancia con la información incluida en la sección 2.3 del capítulo 14 “*Resinas termoestables*”.
- No se requieren más pruebas para las resinas de recubrimiento tipo gelcoat.
- Para resinas laminadas, el laminado debe ser preparado utilizando la resina y un refuerzo aprobado del tipo que sigue:
 - Para resinas de poliéster, se utiliza fieltro de vidrio.
 - Para resinas del tipo epoxi, se utiliza mecha tejida balanceada.
 - Para resinas fenólicas, se utiliza material tejido balanceado.

- El laminado debe ser ensayado según los procedimientos descritos el documento creado por LR de nombre “*Materials and Qualifications Procedures for Ships*” (a partir de ahora MQPS) en el capítulo 14, sección 1 del mismo y también siguiendo los criterios de la sección 2.4.4 del capítulo 14 del documento que se utiliza en la redacción de este trabajo.

2.3 Propiedades resinas termoestables

En primer lugar, se deben definir las propiedades que debemos conocer de la resina termoestable del tipo poliéster y que deberemos pedir al fabricante del material, dichas propiedades son las siguientes:

- Gravedad específica de la resina en estado líquido.
- Viscosidad.
- Tiempo en estado gel.
- Apariencia.
- Contenido mineral.
- Contenido en material volátil.
- Índice de acidez.

2.4 Procedimientos de ensayo resinas termoestables sin reforzar

Las muestras del material deben fabricarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de la resina y deben recibir procesos de curado y post-curado que concuerden con el posterior uso del material. El sistema de curado y el agente de curado utilizado deben registrarse. En el caso de que las condiciones de post-curado equivalgan a las condiciones ambiente, deben revisarse las secciones 3.2.2 y 3.2.3 que serán desarrolladas en la sección 3 “*Procedimientos de las pruebas*”.

En cuanto a las pruebas a realizar al material plástico, las nombramos brevemente y se desarrollaran en la siguiente sección.

- Resistencia a la tracción (a máxima carga y a rotura).
- Deformación por tracción en el punto de máxima carga.
- Módulo de resistencia a la tracción al 0,5 y 0,25 por ciento de deformación.
- Temperatura de desviación bajo carga.

- Dureza Barcol.
- Determinación de la absorción de agua.
- Contracción volumétrica post-curado.
- Gravedad específica de la resina moldeada.

Como caso excepcional, para las resinas de recubrimiento tipo gelcoat deben determinarse la tensión de fallo y el módulo de elasticidad a flexión.

Para las resinas modificadas por el añadido de ceras o polímeros, debe confirmarse que el uso de dichas resinas no provoca una adhesión interlaminar débil cuando se dan interrupciones en el proceso de laminación. La prueba para la verificación de este si se produce este suceso tiene las siguientes etapas:

- Debe utilizarse un sistema de curado regulado para el laminado.
- Un laminado con un contenido en vidrio de entre un 25 y un 35 por ciento debe prepararse usando dos capas de fieltro de vidrio de $450 \text{ (g/m}^2\text{)}$. El laminado debe prepararse a temperatura ambiente (entre 18 y 21 °C) y debe estar preparado para soportar como mínimo 4 días y como máximo 6 a temperatura ambiente.
- Otras dos capas de las mismas dimensiones y características deben ser laminadas encima de la superficie expuesta y curadas a temperatura ambiente por 24 horas. El laminado final debe ser entonces post-curado a 40 °C durante 16 horas y debe contener un contenido en vidrio de entre un 25 y un 35 por ciento.
- Después de enfriarse, la fuerza de interconexión laminar aparente debe ser determinada según la norma ISO 14130, el valor mínimo se recoge en la sección 5.11 de este capítulo. Antes de realizar las pruebas las muestras deben ser acondicionadas a 23 °C y con una humedad del 50% durante 88 horas.
- Si los ensayos se realizan en un laboratorio del fabricante, tanto los valores individuales de cada test como las muestras de pruebas rotas acumuladas deben estar a disposición de examen por parte de LR.
- En el caso de necesitarse procesos de pruebas alternativos, dichas pruebas deben aprobarse con anterioridad.

2.5 Propiedades de los refuerzos en resinas termoestables

De las tres opciones de laminado, escogeremos la que está indicado para el poliéster, es decir, la fibra de vidrio, tal y como se analiza en este trabajo.

Una vez analizado el material base, el siguiente paso será el análisis del refuerzo añadido al material según la sección 2.4.4 del manual de LR se debe proporcionarse la siguiente información:

- Tipo de refuerzo.
- Tipo de fibra en cada dirección.
- Índice de fibra.
- Tratamiento final de las fibras.
- Recuento de hilos en cada dirección.
- Anchura del refuerzo.
- Peso por unidad de área del refuerzo.
- Peso por metro de refuerzo.
- Compatibilidad.
- Costuras de conformado (detalles del hilo, gravedad específica, tipo, frecuencia y dirección).
- Tipo de tejido.
- Tipo de aglutinante.
- Densidad de la fibra.

En cuanto a la preparación de las muestras del material con el laminado para las pruebas mecánicas, deben seguirse los siguientes pasos:

- Debe utilizarse un material que haya cumplido los requisitos propios de una resina termoestable para nuestro caso.
- Un mínimo de tres capas de refuerzo debe situarse en capas paralelas con no menos de 4 mm de espesor.
- Los pesos de la resina y el refuerzo deben guardarse en conjunto midiendo el espesor del laminado, incluyendo la medida del peso por unidad de área del refuerzo.

- Para refuerzos de vidrio, la relación vidrio/resina corresponde a una fracción de vidrio en valores nominales del 0,6 según la tabla 14.2.2 del documento de LR.

2.6 Procedimientos de ensayo resinas termoestables reforzadas

Los procedimientos de medida a realizar en las muestras con el refuerzo son los siguientes:

- Resistencia a la tracción (tensión a carga máxima).
- Deformación por tracción en el punto de rotura.
- Módulo de la recta tangente de tensión al 0,05 y 0,25 por ciento de deformación.
- Resistencia a la compresión.
- Módulo a compresión.
- Resistencia a la flexión (tensión a carga máxima).
- Cizalla interlaminar aparente.
- Contenido de fibra.
- Determinación de la absorción de agua.

Además, según la tabla 14.2.4 del documento de LR, en el caso concreto del refuerzo de fibra de vidrio, la orientación del refuerzo puede realizarse en cualquier dirección, a diferencia del resto de refuerzos.

También debe tenerse en cuenta que los test de módulo de la recta tangente de tensión al 0,25 y 0,5 por ciento de deformación y de resistencia a la flexión (tensión a carga máxima), deben repetirse, en una única dirección en agua a 35°C por un periodo de 28 días.

Las propiedades tanto para material como para refuerzo y las pruebas anteriormente citadas son necesarias para el certificado del material escogido como un material de calidad en términos del aprobado de LR.

3. Procedimientos de las pruebas.

En este apartado se pasa a definir con exactitud las pruebas necesarias para la certificación de las muestras de poliéster con fibra de vidrio según LR. Se incluirán las descripciones de las normas internacionales que, según LR, certifican la calidad de los materiales.

Se dividirá este apartado en una primera parte que constará de las pruebas a realizar sobre el material plástico base y en una segunda parte donde se analizarán las pruebas sobre el conjunto material-refuerzo.

Sin embargo, lo primero a exponer serán los requerimientos generales establecidos por LR, para la realización de las pruebas.

3.1 Requerimientos generales

- Los test deben ser realizados por una empresa independiente y competente que, a discreción de LR, puede necesitar o no la presencia de un inspector.
- De forma alternativa, las pruebas pueden ser llevadas a cabo por el fabricante con la aprobación de los inspectores.
- Todas las pruebas deben ser llevadas a cabo por personal cualificado.
- A excepción de que se especifiquen variaciones, todas las pruebas deben llevarse a cabo en concordancia con las normas ISO, en el caso de que exista una norma descrita para el proceso.
- De forma alternativa, las pruebas pueden llevarse a cabo utilizando como patrón normas nacionales que tengan alta similitud con las ISO y con aprobación previa de los inspectores de LR.
- La determinación de las propiedades mecánicas debe realizarse con maquinaria aprobada. Dicha maquinaria y el resto de equipamiento para las pruebas debe mantenerse en condiciones satisfactorias y debe recalibrarse en intervalos anuales aproximadamente. La calibración debe llevarse a cabo por autoridades reconocidas en el ámbito nacional de la empresa u otras organizaciones aprobadas por los supervisores. Un registro de las calibraciones debe estar disponible en la empresa de pruebas y se debe mantener la precisión de las maquinas en un rango de ± 1 desviación porcentual.

3.2 Preparación de las muestras para las pruebas

- Las muestras de resinas termoestables deben prepararse con el sistema de curado recomendado por el fabricante y el mismo proceso que para los productos terminados.
- Las condiciones de post-curado para las muestras de resinas termoestables deben ser las recomendadas por el fabricante e idénticas a las de los productos terminados. Si las muestras se analizan para un aprobado general a un tipo concreto de resina, las condiciones del post-curado deben ser aquellas para las que está proyectado el material.
- Cuando las condiciones del curado del producto se analizan a temperatura ambiente, el curado debe estar permitido realizarse a una temperatura de entre 18 y 21 °C durante 24 horas seguida de un post-curado a 40°C durante 16 horas.
- La ratio vidrio/resina que debe contener una resina reforzada esta expresado en el apartado 2, de este documento.
- Cuando el laminado se hace con el único fin de aprobar las pruebas, el refuerzo debe colocarse en capas paralelas.

3.3 Preparación de las probetas para ensayo

- Las probetas deben prepararse de acuerdo a la norma ISO apropiada y a los requerimientos de esta sección.
- Deben tomarse precauciones durante el trabajo en maquinaria para asegurar que el aumento de temperatura en la probeta se mantenga al mínimo.

3.4 Pruebas

- La medida de la deformación debe realizarse con extensómetros o galgas extensométricas.
- La velocidad de deformación debe ser la definida por la norma ISO pertinente.
- Las probetas seleccionadas para cada ensayo deben definirse según los estándares de la ISO, en el caso de ensayos mecánicos deben ser 5.

3.5 Descarte de probetas

- Si una probeta sufre un fallo por falta de preparación o incorrecta operación, debe ser descartada y remplazada por una nueva probeta.
- De manera adicional, si la desviación de un grupo de 5 resultados excede la media por más de 2 desviaciones estándar, debe desecharse la probeta y ensayar una nueva, según el procedimiento de repetición de pruebas de la sección 1.

3.6 Informe de resultados

- Todas las gráficas esfuerzo/deformación y resultados tabulados deben ser proporcionados, incluyendo los valores medios y desviaciones estándar calculadas.
- De manera adicional, deben proporcionarse los detalles adicionales siendo estos los siguientes:
 - Catalizador/acelerante o factor de curado y la relación de mezclado.
 - Pesos de las resinas y/o del refuerzo usado.
 - Dimensiones del laminado.
 - Número de capas de refuerzo utilizadas.
 - Condiciones de curado/post-curado.

Una vez planteados estos parámetros y procedimientos generales en las pruebas, el siguiente paso será definir los ensayos mecánicos necesarios para validar tanto el material base como la unión del material plástico con el refuerzo, en esta sección se nombrarán las normas ISO reguladoras de dichas pruebas además de aquellas no reguladas por estas normas por ser específicas y comunes globalmente. Se adjuntará de manera posterior el desarrollo de dichas normas para la realización de pruebas sobre el poliéster reforzado con fibra de vidrio.

En primer lugar, se nombrarán las normas ISO utilizadas para la obtención de los parámetros del material base (resina termoestable sin refuerzo) además de las especificaciones sobre las pruebas expuestas en el documento de LR.

3.7 Pruebas sobre probetas moldeadas a partir de resina termoestable sin reforzar

- **Propiedades a obtener del ensayo de tracción**

Se obtienen a través de la aplicación de la norma **ISO 527-2** utilizando una velocidad de prueba de 5 mm/min y probetas del tipo 1A o 1B. Además, según LR, en esta prueba deben utilizarse exclusivamente extensómetros.

- **Propiedades a obtener en el ensayo de flexión**

A obtener a partir de la norma **ISO 178** con una velocidad en la prueba de $\left(\frac{\text{espesor}}{2}\right)$ mm/min.

- **Absorción de agua**

La obtención de este valor para la muestra viene regulada por la norma **ISO 62** utilizando el primer método de la misma. LR también establece que si se desea utilizar la resina en condiciones ambiente para evitar el post-curado el requerimiento de secado previo de la probeta a 50°C puede omitirse.

- **Temperatura de desviación bajo carga**

Se realizarán las pruebas contenidas en la **ISO 75-2** utilizando el Método A.

- **Propiedades a obtener en el ensayo de compresión**

Se determinarán dichas propiedades a través de lo estipulado en la **ISO 604**, con una velocidad de ensayo de 1 mm/min.

- **Dureza Barcol**

Para la realización de este ensayo se recurrirá a la norma **UNE 53270** del ámbito nacional español.

En segundo lugar, realizaremos las pruebas necesarias para, una vez certificada la validez del material base, poder observar el comportamiento del plástico reforzado con fibra de vidrio y certificar la validez del mismo a ojos de LR.

3.8 Pruebas sobre probetas moldeadas a partir de resina termoestable con refuerzo

- **Propiedades a obtener del ensayo de tracción**

Para la realización de este ensayo se hace uso de la norma **ISO 527-4** con una velocidad de 2 mm/min y usando probetas del tipo II o III.

- **Propiedades a obtener del ensayo de flexión**

Se recurrirá al uso de la **ISO 14125** utilizando una velocidad de ensayo de $\left(\frac{\text{espesor}}{2}\right)$ mm/min y el Método A.

- **Propiedades a obtener del ensayo de compresión**

En este caso se utilizará la **ISO 604** con una velocidad de 1 mm/min.

- **Resistencia a la cizalla interlaminar aparente**

Se utiliza la norma **ISO 14130**, sin especificaciones por parte de LR.

- **Absorción de agua**

Mismas condiciones que en el caso del material sin refuerzo.

- **Contenido en vidrio**

Se hará uso de la norma **ISO 1172**.

4. Probetas y accesorios plásticos.

En esta sección se pasa a desarrollar todos aquellos parámetros y pautas que deben cumplir las probetas que se utilizaran en los ensayos mencionados anteriormente, tanto en su fabricación como en las propiedades del material que se adquiere por parte del fabricante.

4.1 Requerimientos de diseño

- Las restricciones para el aprobado de los diseños están detalladas en las normas mencionadas con anterioridad (normas ISO y UNE).
- El informe de diseño debe incluir una lista de materiales con la confirmación de que dichos materiales listados tienen propiedades y características conforme a los valores utilizados en la presentación del diseño. Como mínimo, los detalles dados deben incluir la siguiente información:
 - Resina utilizada.
 - Acelerante (tipo y concentración).
 - Catalizador o agente de curado (tipo y concentración).
 - Refuerzo utilizado.
 - Condiciones de curado/post-curado.
 - Proporción resina/refuerzo.
 - Secuencia de colocación de capas y orientación.
 - Dimensiones y tolerancias.

- Cualquier alteración de los materiales o de las operaciones de fabricación con respecto a las condiciones de diseño, necesitará de un nuevo informe.
- Si el fabricante de las probetas prevé el posible uso de materiales alternativos, estos deben ser añadidos al informe de diseño. Debe ser probado que el producto con los materiales modificados cumple los requerimientos especificados.

4.2 Fabricación

- Las probetas de plástico y los accesorios cuyo propósito es ser usado en los sistemas de Clase I, Clase II y Clase III deben ser fabricados en instalaciones aprobadas por LR, utilizando materiales a su vez aprobados por LR
- Debe realizarse un informe de fabricación, este debe contener la siguiente información:
 - Todos los materiales constituyentes.

- Los procedimientos de fabricación tales como la secuencia de capas, las proporciones de agente de curado y resina con el refuerzo, el espesor del laminado, el tiempo de permanencia del mandril durante el curado inicial y las condiciones de curado y post-curado.
- Procedimientos para el control de la calidad incluyendo detalles u frecuencia de las pruebas realizadas sobre los materiales entrantes, las pruebas durante la producción y las realizadas sobre las probetas terminadas.
- Estándares y tolerancias aceptadas, incluyendo todas las dimensiones.
- Procedimientos para el acabado estético.
- Sistema para la trazabilidad de las probetas terminadas hasta los lotes de materias primas.
- Método de unión de probetas y accesorios.
- Deben incluirse detalles de las materias primas para obtener la aprobación de LR de acuerdo a las especificaciones de fabricación y al informe de diseño.
- Todos los lotes de materias primas deben ser provistos con identificadores únicos por parte de sus fabricantes.
- Ningún lote de materias primas debe ser utilizado una vez pasada su fecha de caducidad.
- El fabricante de probetas debe mantener registros de las cantidades de resina y refuerzo utilizadas, con el objetivo de asegurar que las proporciones se mantienen dentro de los límites establecidos en las especificaciones de fabricación.
- Deben mantenerse registros del viento aparente y/o de la orientación del refuerzo.
- El fabricante de las probetas debe asegurar que cada probeta es rastreable hasta el lote o lotes de material utilizado en su fabricación. Los identificadores únicos comentados en el apartado **Fabricación** de esta sección deben estar en todos los documentos.
- El horno de curado debe ser adecuado para su propósito y todo el equipo pirométrico debe ser calibrado al menos una vez al año manteniendo registros de estas acciones.

- La temperatura de la probeta o el accesorio debe ser controlada y registrada a través de termopares adecuadamente fijados.

4.3 Certificación de calidad

- El fabricante de las probetas debe tener un sistema de certificación de la calidad aprobado según la ISO 9001 o una norma equivalente. Este sistema debe asegurar que las probetas y los accesorios se producen con propiedades mecánicas y físicas uniformes y consistentes de acuerdo a unos estándares apropiados.

4.4 Tolerancias dimensionales

- Las dimensiones y tolerancias deben ser conforme a lo establecido en las especificaciones de fabricación.
- Los espesores de pared de las probetas deben medirse a intervalos alrededor de la circunferencia y a lo largo de la longitud de acuerdo a los estándares nacionales apropiados. El grosor debe ser aquel que esté definido en las especificaciones de fabricación.
- La responsabilidad sobre el mantenimiento de las tolerancias y del cálculo de las medidas necesarias será el fabricante. Las inspecciones ocasionales de los inspectores no eliminan la responsabilidad del fabricante sobre estas tareas.

4.5 Composición

- La composición de las probetas y los accesorios debe ser aquella definida en las especificaciones de fabricación.
- Cuando se utilicen materiales alternativos, el fabricante debe demostrar, para obtener la aprobación de los inspectores y antes de su uso, la idoneidad de los materiales para el rendimiento de la probeta. De otro modo, se requerirán las pruebas requeridas en el apartado **Pruebas** de esta sección.

4.6 Pruebas

- Para probetas termoestables reforzadas, el fabricante de la resina debe obtener, en muestras tomadas de cada lote, al menos los siguientes parámetros.
 - Viscosidad.
 - Tiempo en estado gel.
 - Contenido de relleno, cuando pueda aplicarse.
- En cuanto a las propiedades a obtener por el uso específico de poliéster, son las siguientes:
 - Tipo (ortoftálico, isoftálico...).
 - Contenido de compuestos volátiles.
 - Índice de acidez.
- Los valores obtenidos deben coincidir con los requerimientos de las especificaciones de fabricación.
- Cuando el fabricante de la resina mezcle lotes, tanto el lote original como el mezclado deben ser sometidos a pruebas de acuerdo a lo expuesto en esta sección. Al lote mezclado debe asignársele un identificador de lote único.
- El fabricante de la resina debe demostrar que cada lote de la resina cumple los requerimientos de temperatura de flexión bajo carga y que esta no es menor de 80 °C.
- Las medidas deben ser repetidas en cada lote por el fabricante de las probetas. Una vez realizadas las medidas, LR puede requerir que las pruebas se realicen en una instalación aleatoria por un laboratorio independiente.
- El fabricante de las probetas debe confirmar, a través de pruebas en al menos un lote de cada veinte, que la temperatura de flexión bajo carga supera el mínimo específico bajo condiciones de fabricación.
- En el caso de que se utilice refuerzo, deben registrarse los valores de las siguientes propiedades:
 - Tejido hilado o aleatorio.
 - Terminaciones cada 100 mm en todas las orientaciones de refuerzo.
 - Peso por metro cuadrado.
 - Contenido de aglutinante por cantidad de refuerzo.
 - Tipo de puntadas y conteo de las mismas.
 - Tipo de fibra utilizada.

- Tratamiento superficial y/o acabado.
- Todas las propiedades anteriormente citadas deben cumplir las especificaciones de fabricación.
- El fabricante de las probetas debe realizar registros precisos de la utilización de resina y vidrio utilizado y debe calcular la proporción resina/vidrio en localizaciones alternativas.
- Durante la fabricación de las probetas, además de los requerimientos de **Pruebas**, deben registrarse los datos y condiciones de las siguientes pruebas adicionales:

Componentes/Operaciones	Características	Tasa de pruebas
Resina/Agente de curado/ Catalizador	Tiempo en estado gel/ Tasa de consumo	Dos por cambio De manera continua
Refuerzo	Calidad Viento aparente Tasa de consumo	De manera continua
Resina/Refuerzo	Proporción	De manera continua
Probeta	Post-curado/ Temperatura de la probeta en el horno/ Nivel de curado/ Dimensiones/ Prueba de presión	De manera continua Como mínimo 8 por longitud Por longitud Por longitud Por longitud

Probeta	hidráulica/	A decisión del inspector
	Resistencia eléctrica/	
	Ensayo de ruptura bajo presión hidráulica /	A decisión del inspector
	Fuerza axial	

Tabla 1: Propiedades a hallar y modalidad de pruebas

- A elección del inspector, las secciones de las probetas pueden ser sometidas a ensayo de ruptura bajo presión hidráulica y/o medidas de la fuerza axial.
- Si el lote de resina, o el agente de curado, o su proporción cambia durante la fabricación de los lotes de probetas, al menos dos medidas adicionales del tiempo en estado gel deben realizarse durante cada cambio.

4.7 Examen visual

- Todas las probetas y accesorios deben ser examinados visualmente y deben estar libres de defectos superficiales y manchas.
- Las probetas deben estar rectas y el corte al final debe ser perpendicular al eje axial de la probeta.

4.8 Prueba hidráulica

- Por cada probeta debe realizarse una prueba de presión hidrostática no menor de 1,5 veces la presión clasificada de la probeta.
- La prueba de presión debe realizarse durante el tiempo suficiente como para permitir la prueba e inspección. A no ser que se acuerde de otra manera el fabricante da por bueno el test hidráulico, con el aval del inspector.

4.9 Procedimiento de reparación

- Las reparaciones no están permitidas, a excepción de pequeñas manchas especificadas en la sección del capítulo 1 **Reparación de material defectuoso**.
- El proceso de reparación de las pequeñas manchas antes especificadas debe incluirse en las especificaciones de fabricación.

4.10 Identificación

- Todas las probetas deben identificarse de tal manera que se puedan conocer y seguir todos los componentes utilizados en su fabricación. Debe darse a los inspectores todas las facilidades posibles para conocer esta información cuando lo requieran.
- Las probetas y los accesorios deben ser marcados permanentemente por el fabricante a través de moldeado, estampado en caliente o cualquier otro método adecuado, como por el ejemplo a través de marcas pintadas, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo uno en la sección 1.

4.11 Identificación de los productos y los materiales base

Estas marcas deben incluir:

- Número de identificación.
- Las siglas LR o el nombre de Lloyd's Register, y el nombre abreviado de la oficina local de LR.
- Nombre del fabricante o su marca.
- Clasificación de la presión.
- Estándares de diseño.
- Sistema de materiales con los cuales se realizan las probetas.
- Temperatura máxima de servicio.

4.12 Certificación

- El fabricante debe dar a los inspectores copias de las pruebas de certificación o las declaraciones de envío para todos los materiales que hayan sido aceptados.
- Cada certificado debe contener los siguientes datos:

- Nombre del comprador y número de la orden.
- Si es conocido, el número del contrato para el que se utilizará la probeta.
- Dirección de envío de la probeta.
- Tipo y especificaciones del material.
- Descripción y dimensiones.
- Número de identificación.
- Resultados de las pruebas.

5. Control de la calidad del material para construcciones compuestas.

Una vez presentados los procedimientos para la fabricación de las probetas para el ensayo, especificándose las propiedades que deben cumplir los materiales, el siguiente paso será definir cuáles son los valores que deben alcanzar las propiedades de los mismos para ser así aceptados por LR como materiales de calidad. Para ello, como en el resto de capítulos de este informe dividiremos la información en secciones, las cuales son las siguientes:

5.1 Presentación del diseño

- Las especificaciones para la presentación del diseño se detallan en la sección de las reglas apropiada donde se incluye toda la información de los materiales compuestos.

5.2 Construcción

- Todas las construcciones deben realizarse utilizándose materiales aprobados por LR.
- Todos los materiales deben ser aquellos conforme lo especificado y aprobado en la documentación de construcción.
- Todos los lotes de materiales deben contener un identificador único de sus fabricantes. Los componentes deben estar identificados de manera similar.
- Ningún lote de materiales debe ser usado después de su fecha de caducidad.

- Los constructores deben asegurarse que todos los lotes de materiales son utilizados sistemáticamente y de manera secuencial.
- Los constructores deben mantener registros de la cantidad de resina y refuerzo utilizada con el objetivo de asegurar que las proporciones se mantienen dentro de los límites establecidos en los documentos de construcción.
- Los registros deben recoger información acerca de la secuencia y orientación del refuerzo.
- Cualquier sistema de curado debe demostrar que es el adecuado y todo el equipo pirométrico debe ser calibrado al menos una vez al año manteniéndose registros de dicha actividad.
- La temperatura de post-curado debe ser controlada y registrada a través de la instalación de termopares en los lugares adecuados.

5.3 Aseguramiento de la calidad

- Si el constructor tiene algún tipo de sistema de aseguramiento de la calidad, este debe cumplir los requerimientos de este capítulo.

5.4 Tolerancias dimensionales

- Las dimensiones y las tolerancias deben cumplir lo especificado en la documentación de construcción aprobada.
- Los espesores del laminado son, en general, medidos en no menos de diez puntos, distribuidos a lo largo de la sección. En el caso de superficies largas, al menos diez medidas deben realizarse en bandas alrededor de la anchura con un máximo de dos metros de espaciado a lo largo de la longitud.
- La responsabilidad de mantener las tolerancias requeridas y realizar las medidas pertinentes es del constructor. La revisión continua y las inspecciones puntuales realizadas por los inspectores no eliminan la responsabilidad del constructor.
- Cuando se utilicen medidores de espesor por ultrasonidos, estos deben ser calibrados en un laminado idéntico para cada medida de espesor que se vaya a realizar. Si las piezas no son adecuadas, deben prepararse muestras del tamaño adecuado.

5.5 Composición del material

- Los materiales, secciones prefabricadas o componentes usados deben estar en concordancia con la información recogida en la documentación de construcción.
- Cuando se utilicen materiales alternativos, estos deben ser aprobados y el fabricante debe demostrarlo para obtener el buen visto de los inspectores, antes de su uso, debe probarse su idoneidad con respecto a su actuación, por lo demás deben realizarse todas las pruebas pertinentes.

5.6 Pruebas sobre los materiales

- Cuando sea necesario, el fabricante de los materiales debe dar al comprador los certificados de validez del producto para cada lote de material que se suministre. Las características deben coincidir con las especificadas en la documentación de construcción.
- Cuando no se realicen pruebas de verificación de las propiedades definidas por el proveedor, los constructores deben asegurarse de que todas las copias de los certificados de conformidad, con los valores de los test realizados, corresponden a todo el material recibido en lotes y que se han mantenido registros precisos. En determinados casos, los inspectores de LR pueden seleccionar en cualquier momento una muestra de material para la realización de pruebas sobre el mismo por parte de una entidad independiente a la empresa. En el caso de que no se superen las pruebas realizadas sobre dicha muestra, todo el lote será desechado.
- Para todos los materiales se deben seguir los siguientes procedimientos:
 - El envío debe ser dividido en lotes y estos deben ser etiquetados.
 - Cada lote debe ser inspeccionado de forma visual para comprobar si se cumplen las especificaciones de número de lote, calidad visual y fecha de caducidad.
 - Cada lote debe ser etiquetado y guardado de manera separada.
 - Cada unidad del lote debe poseer un etiquetado con el número de lote.

- Deben mantenerse registros que expresen la información de los certificados de conformidad y los resultados de los test que se realicen por los constructores.
- Deben realizarse exámenes visuales de todos los elementos que formen parte del proceso constructivo en busca de defectos superficiales.

5.7 Procesos de reparación

- Está permitida reparación de pequeñas manchas sin efecto sobre el funcionamiento del material, siempre que esté aprobada por el inspector de LR.
- Los procesos de reparación de las pequeñas manchas antes mencionadas deben estar recogidos y de acuerdo a los procesos de control de la calidad.
- Las reparaciones estructurales deben estudiarse de manera individual y deben ser descritas de manera detallada, además deben recogerse en un plan aprobado antes del inicio de las pruebas.

5.8 Identificación del material

- Deben mantenerse registros de construcción que permitan realizar un seguimiento de todo el procedimiento y materiales utilizados durante el proceso. Deben darse al inspector todas las facilidades posibles para comprobar el origen de los materiales utilizados.
- Deben conservarse pequeñas muestras de material de cada lote para poder ser etiquetadas y se pueda asegurar la trazabilidad del material.
- Cuando los inspectores lo requieran, los constructores deben dar copias de toda la información que se posea sobre los datos de las pruebas realizadas o los certificados de conformidad con los fabricantes para cualquier material utilizado.

5.9 Valores mínimos admisibles para los materiales

- Para el caso de las resinas laminadas sin refuerzo (ensayo sobre el material base), se deben cumplir los siguientes valores mínimos:
 - Resistencia a la tracción (esfuerzo con carga máxima): **40 N/mm²**

- Esfuerzo de tracción en el punto de rotura: 40 N/mm^2
 - Deformación en tracción a máxima carga: Máximo 2,0%
 - Módulo de elasticidad en tensión: El que se obtenga
 - Dureza Barcol: el valor obtenido con un curado completo
 - Temperatura de flexión bajo carga: 55°C
- Una vez comprobado que se cumplen los valores mínimos para el material base, se deberán cumplir las siguientes especificaciones para el material laminado con una fracción de vidrio en peso de 30%.
 - Resistencia a la tracción (esfuerzo con carga máxima): 90 N/mm^2
 - Módulo de la secante al 0,25 % y 0,05% de tensión: $6,9 \text{ kN/mm}^2$
 - Esfuerzo de compresión (esfuerzo con carga máxima): 125 N/mm^2
 - Módulo de compresión: $6,4 \text{ kN/mm}^2$
 - Esfuerzo de flexión (esfuerzo con carga máxima): 160 N/mm^2
 - Módulo de elasticidad en la flexión: $5,7 \text{ kN/mm}^2$
 - Esfuerzo de desgarro interlaminar aparente: 18 N/mm^2
 - Contenido de fibras: 30%
 - Absorción de agua: 70 mg (máximo).

Comparativa requerimientos entre la Naval Lloyd's Register y la American Bureau of Shipping

Es importante conocer los requisitos impuestos por American Bureau of Shipping, ABS de ahora en adelante, para conocer otros criterios de calidad por los que se puede registrar el uso del material analizado.

Esta organización es una sociedad de clasificación, al igual que LR, afincada en Houston (Texas), fundada en el siglo XIX es una de las mayores sociedades de clasificación del mundo.

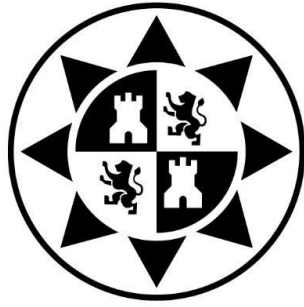
Si observamos en la normativa de la ABS de nombre "Rules for Materials and Welding", en su segunda parte encontramos que, según su definición, el material que

estamos tratando es un Laminado Básico cuyas propiedades mínimas deben ser las que encontramos a continuación:

Propiedad	Valor
Resistencia a la Tracción (N/mm²)	124
Módulo de Elasticidad en tracción (kN/mm²)	6,89
Resistencia a flexión (N/mm²)	172
Módulo de elasticidad en flexión (kN/mm²)	7,58
Resistencia a compresión (N/mm²)	117
Módulo de Elasticidad a compresión (kN/mm²)	6,89
Contenido en fibra (w/w %)	35

Tabla 2: Requisitos mínimos según la ABS

Podemos observar que, a excepción de la resistencia a la compresión el resto son mayores en los requisitos de ABS que en LR, sin embargo, también se debe tener en cuenta que no se presentan requisitos mínimos en cuanto a la resistencia en el ensayo de cizalla interlaminar por lo que se podría considerar más restrictiva las especificaciones de LR.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Parte II

Descripción de las normas aplicadas
durante los ensayos realizados.

Alumno: Víctor Fernando Pérez Peñarrubia

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Codirector: Joaquín Arias Pardilla

Titulación: Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Departamento: Ingeniería de Materiales y Fabricación

Fecha: abril de 2020

Contenido

1	Introducción.....	7
2.	Ensayo de contenido en fibra según la ISO 1172.....	8
2.1	Principio del método.....	8
2.2	Muestras.....	8
2.3	Componentes y cálculos.....	9
2.4	Precisión.....	11
2.5	Informe del ensayo.....	11
3.	Ensayo de tracción según la ISO 527-4.....	13
3.1	Parámetros de los ensayos:.....	13
3.2	Principio y metodología según la norma:.....	15
3.2.1	Máquinas de ensayo.....	15
3.2.2	Velocidad de ensayo:.....	15
3.2.3	<i>Mordazas:</i>	16
3.2.4	<i>Indicador de fuerza:</i>	16
3.2.6	<i>Indicadores de deformación</i>	16
3.3	Registro de datos.....	17
3.3.1	Registro de datos de deformación.....	17
3.3.2	Registro de datos de fuerza.....	17
3.3.3	Medida de la anchura y espesor de las probetas.....	18
3.4.	Probetas.....	18
3.4.1	Formas y dimensiones.....	18
3.4.2	Preparación de las probetas.....	21
3.4.3	Marcas de referencia.....	22
3.4.4	Control de las probetas.....	22
3.4.5	Anisotropía.....	22
3.4.6	Número de probetas.....	22

3.5 Acondicionamiento	23
3.6 Procedimiento operatorio.....	23
3.6.1 Atmosfera de ensayo	23
3.6.2 Dimensiones de las probetas	23
3.6.3 Fijación.....	24
3.6.4 Esfuerzos de precarga.....	24
3.6.5 Ajuste de los extensómetros	24
3.6.6 Velocidad de ensayo.....	25
3.6.7 Registro de datos	25
3.7. Cálculo y expresión de los resultados	25
3.7.1 Esfuerzo.....	25
3.7.2 Deformación a través de extensómetro	26
3.7.3 Módulo de elasticidad en tracción.....	26
3.7.4 Coeficiente de Poisson	27
3.7.5 Parámetros estadísticos	28
3.7.6 Cifras significativas.....	28
3.7.7 Precisión.....	28
3.8. Informe de ensayo.....	31
3.8.2 Material plástico sin refuerzo	32
3.8.3 Material plástico con refuerzo.....	33
4. Ensayo de flexión según la ISO 178	34
4.1 Términos y definiciones.....	34
4.2 Máquinas de ensayo.....	35
4.2.1 Generalidades	35
4.2.2 Velocidad de ensayo.....	35
4.2.3 Piezas de carga y soportes	36
4.2.4 Indicadores de carga y flecha	37

4.2.5	Micrómetros y calibres.....	37
4.3	Probetas.....	38
4.3.1	Generalidades.....	38
4.3.2	Dirección del ensayo.....	38
4.3.3	Tipos de probetas.....	38
4.3.4	Preparación de las probetas.....	40
4.4	Número de probetas.....	41
4.5	Acondicionamiento.....	42
4.6	Procedimiento operatorio.....	42
4.6	Cálculos y expresión de los resultados.....	43
4.6.1	Método A.....	43
4.7	Precisión.....	45
4.8	Informe del ensayo.....	45
5.	Ensayo de cizalla interlaminar según la ISO 14130.....	47
5.1	Principio del método y definiciones.....	47
5.2	Máquinas de ensayo.....	48
5.2.1	Generalidades.....	48
5.2.2	Velocidad de ensayo.....	48
5.2.3	Indicador de carga.....	48
5.2.4	Instrumental de carga y apoyos.....	48
5.2.5	Micrómetro.....	49
5.3	Probetas.....	49
5.3.1	Formas y dimensiones.....	49
5.3.2	Preparación de las probetas.....	50
5.3.3	Control de las probetas.....	50
5.4	Número de probetas.....	50
5.5	Acondicionamiento.....	51

5.6 Procedimiento operatorio.....	51
5.6.1 Atmosfera de ensayo	51
5.6.2 Medición de las dimensiones de las probetas	51
5.6.3 Separación entre los apoyos	51
5.6.4 Velocidad de ensayo.....	51
5.6.5 Realización del ensayo	52
5.6.6 Tipos de rotura	52
5.7 Cálculos y expresión de los resultados	52
5.8 Precisión.....	53
5.9 Informe del ensayo.....	53

Índice de tablas

Tabla 1: Medidas según el tipo de probeta plástico sin refuerzo.....	19
Tabla 2: Medidas según el tipo de probeta con refuerzo.....	20
Tabla 3: Características elementos de apoyo y carga	37
Tabla 4: Tipos de probetas ensayo flexión, ensayo tipo A.....	39
Tabla 5: Tipos de probetas ensayo flexión, ensayo metodo B	39
Tabla 6: Relaciones longitud probeta y distancia entre apoyos.....	40
Tabla 7: Anchura en función del espesor probetas ensayo flexión	40
Tabla 8: Valores estándar elementos de carga y apoyo.....	49
Tabla 9: Tipos de rotura ensayo cizalla	52

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Direcciones de referencia (principales) ensayo tracción.....	15
Ilustración 2: Diseño probeta ensayo tracción sin refuerzo.....	18

Ilustración 3: Probeta tipo 2	19
Ilustración 4: Probeta tipo 3	20
Ilustración 5: Datos de los diferentes laboratorios	31
Ilustración 6: Direcciones de referencia (principales) ensayo flexión	35
Ilustración 7: Velocidades del ensayo de flexión	36
Ilustración 8: Disposición carga y soportes ensayo flexión	37
Ilustración 9: Direcciones de referencia (principales) ensayo cizalla	47
Ilustración 10: Disposición elemento de carga y apoyos ensayo cizalla.....	48

1 Introducción

En el siguiente apartado se describen todas las normas a aplicar para el ensayo de los materiales objetivo ya con el refuerzo incorporado, la información referente al material base utilizado (en nuestro caso poliéster), debe ser proporcionada por el fabricante del material en los pedidos realizados por la empresa interesada en el uso del material reforzado.

Deben contrastarse los datos proporcionados por el fabricante con los especificados en las normas anteriores y los resultados mínimos especificados por LR para asegurar la calidad del material utilizado.

Las normas que se expresan a continuación son aquellas que definen los métodos de ensayos y los cálculos a realizar para certificar que se cumplen los criterios expresados por LR para la obtención de su aprobación sobre la calidad del producto y del procedimiento utilizado en su creación.

Las principales pruebas a realizar sobre las probetas de material reforzado son las siguientes:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de compresión
- Ensayo de flexión
- Ensayo de cizalla interlaminar
- Estudio de contenido en fibras
- Estudio de absorción de agua

En las siguientes páginas se definen las directrices impuestas por la ISO para los ensayos de contenido en fibra, tracción, flexión y cizalla interlaminar según las normas ISO 1172 para contenido en fibra, la norma ISO 527-4 para ensayo de tracción en plásticos termoestables reforzados, la norma ISO 14125 para ensayos de flexión en ese mismo tipo de materiales y la norma ISO 14130 para el caso de la cizalla interlaminar.

Para la obtención de las medidas a compresión se utilizarán las equivalencias del ensayo de tracción con el ensayo de compresión.

En cuanto al ensayo de absorción de agua se rige por la norma ISO 62 y los procedimientos desarrollados para su validación quedan descritos en dicha norma y no serán aplicados en este documento al no tener datos experimentales para desarrollarlos.

En las normas expuestas a continuación se incluye toda la información relevante para los ensayos del poliéster reforzado con fibra de vidrio, se incluye, además, información sobre otro tipo de materiales para poder observar las diferencias entre los ensayos de materiales reforzados y materiales sin refuerzo en el caso de los ensayos mecánicos.

2. Ensayo de contenido en fibra según la ISO 1172

2.1 Principio del método

Para la realización del ensayo se realiza un primer pesado de la probeta, acto seguido se procede a la calcinación de la misma y se vuelve a realizar un pesado para conocer qué cantidad del material es no combustible. Existen dos tipos de métodos para la medición del contenido en fibra en función de los componentes del material:

- Método A: Caso en el que el material no contiene carga mineral, se procede únicamente a la calcinación de la probeta.
- Método B: Cuando se conoce la existencia de carga mineral en la probeta, a parte del proceso de calcinación, se realiza una disolución de los productos de la misma en ácido clorhídrico para la eliminación de la carga mineral.

Para conocer el contenido en fibra, el primer caso se calcula la diferencia en la masa antes y después de la calcinación mientras que en el segundo caso se calcula la diferencia entre la masa después de la calcinación y la masa procesada con el ácido clorhídrico una vez seca.

2.2 Muestras

Para la realización de los ensayos se tomarán dos probetas (como mínimo) que deben presentar una diferencia en sus dimensiones (longitud, anchura y espesor) no mayor al 5%, las cuales serán ensayadas de forma paralela.

Para la validación del experimento se deben realizar calcinaciones en diferentes partes de la muestra, las zonas a ensayar pueden venir definidas por una normativa o pueden ser elegidas según la experiencia del personal que realiza los ensayos.

Además, deben escogerse probetas con características de estructura y composición lo más parecidas posibles a las del material que se va a utilizar en los ensayos mecánicos.

Su recomienda que el corte de las mismas permita la introducción de las probetas dentro de una barquilla de sílice o de un crisol de porcelana.

Los pesos de las muestras de ensayo deben encontrarse, de manera recomendada, en los siguientes intervalos:

- De 2 a 20 gramos en los preimpregnados y compuestos de moldeo.
- De 2 a 10 gramos para los laminados.

En el caso de estar tratando con materiales que contengan disolventes o monómeros libres debe introducirse las muestras en bolsas de plástico impermeables al vapor por la pérdida de material volátil. En el caso de utilizarse SMC (compuesto de moldeo suministrado en lámina) durante la prueba, no debe retirarse la película de protección en el procedimiento.

2.3 Componentes y cálculos

Una vez descritos al inicio de este documento los dos métodos que engloba esta norma, a continuación, pasamos a describir el método A al ser el que se utiliza para la medición del contenido en fibra del poliéster reforzado con fibra de vidrio. Lo primero será describir de manera concreta los componentes necesarios para realizar este método, los cuales son:

- Reactivos: no es necesario el uso de ningún reactivo.
- Aparatos: los típicos del laboratorio además de los siguientes:
 - - Balanza: con precisión de hasta 0,1 mg.
 - Barquilla de sílice o crisol de porcelana.
 - Horno de mufla: con una campana ventilada que permita mantener la temperatura de ensayo.

- Desecador: debe contener un agente desecante idóneo (por ejemplo, el gel de sílice).
- Estufa de secado ventilada: calibrada a 105 °C

En cuanto a los procedimientos que deben llevarse a cabo son los siguientes:

- Preparación de la barquilla o crisol: se limpia y seca el instrumento seleccionado, luego se pesa en la balanza y se introduce en el horno de mufla para calentarlo hasta la temperatura de ensayo durante 10 minutos. Una vez enfriado se vuelve a pesar en la balanza con el objetivo de comprobar que no ha variado el peso del mismo.
- Calcinación: Se registra el peso de la barquilla o crisol como m_1 (en gramos), a continuación, se coloca la probeta en el mismo y se seca a través de la estufa de secado ventilada hasta obtener masa constante.

Se enfría hasta temperatura ambiente en el desecado y se procede a realizar otra medición del peso, esta vez del conjunto barquilla más probeta, se le asigna a este peso el nombre m_2 (en gramos).

Como se ha citado anteriormente, aquellas probetas que presenten material volátil se omite el proceso de secado, se retiran de la bolsa impermeable, se le retiran las películas de protección y se pesan, registrando dicho peso como m_4 (en gramos).

Se coloca el conjunto barquilla y probeta en el horno de mufla, que debe estar a una temperatura de 625 °C.

En el caso de que el material reforzado no resista dicha temperatura, se podrán utilizar temperaturas de ensayo de entre 500 °C y 600°C.

Para cualquier temperatura de ensayo, es vital mantenerla en un rango de temperatura entorno a ± 20 °C.

Una vez realizada la calcinación, se introduce el conjunto de la barquilla o crisol con el residuo en el desecador y posteriormente se realiza otra medida en la balanza registrando el valor como m_3 (en gramos).

Por último, se detalla el cálculo a realizar con los datos obtenidos en el procedimiento de calcinación, el resultado a obtener se expresa de la siguiente manera:

$$M_{f,\text{vidrio}} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100$$

Siendo, como se ha especificado anteriormente:

- m_1 : masa de la barquilla o crisol, sin la probeta.
- m_2 : masa de la barquilla o crisol con la probeta sin calcinar.
- m_3 : masa de la barquilla o crisol con el residuo post calcinación.

Todas las variables están expresadas en gramos.

En el caso de que se utilice material con contenido volátil se sustituye la variable m_2 por la variable m_4 descrita con anterioridad.

En el caso de que los resultados difieran más de un 5% en el valor relativo debe realizarse la medición de una tercera probeta.

2.4 Precisión

La precisión del método descrito no es conocida por la falta de resultados interlaboratorio.

2.5 Informe del ensayo

Se debe incluir la siguiente información:

- a) El número de esta norma internacional (ISO 1172)
- b) En nuestro caso debe especificarse que se usó el método A.
- c) Los detalles que identifican el material ensayado.
- d) La metodología de toma de muestras.
- e) Número de probetas utilizado.
- f) Dimensiones de las probetas utilizadas.
- g) Masa de las probetas utilizadas.
- h) La temperatura en el caso de que sea distinta de 625 ± 20 °C.
- i) Resultado del ensayo con respecto al contenido en vidrio textil.
- j) Fecha del ensayo
- k) Detalles sobre cualquier anomalía ocurrida durante el ensayo

- a. Presencia de cualquier carga no disuelta
- b. Dificultades acaecidas durante la separación del material y la fibra.

3. Ensayo de tracción según la ISO 527-4

3.1 Parámetros de los ensayos:

En primera instancia para el uso de esta normativa, deben definirse aquellos parámetros que se van a ser relevantes en el desarrollo de la prueba, los cuales son los siguientes:

- Longitud de referencia L_0 (mm): Distancia inicial que separa las marcas inscritas al inicio de la prueba.
- Espesor h (mm): Dimensión transversal más pequeña al inicio del ensayo en la zona del medio de la probeta.
- Anchura b (mm): Dimensión transversal de mayor longitud en la zona de rotura de la probeta al inicio de la prueba.
- Sección transversal A (mm^2): Resultado de la operación $A = b * h$
- Velocidad del ensayo v ($\frac{mm}{min}$): velocidad de separación de los apoyos durante el ensayo.
- Esfuerzo σ (MPa): Fuerza perpendicular por unidad de superficie de la sección perpendicular al eje axial de la probeta en la zona delimitada por la longitud de referencia.
- Esfuerzo de fluencia σ_y (MPa): Esfuerzo en el punto de fluencia.
- Resistencia σ_m (MPa): Esfuerzo en el primer máximo alcanzado durante el ensayo.
- Esfuerzo a determinado % de deformación σ_x (MPa): Esfuerzo necesario para alcanzar un determinado valor de deformación x .
- Esfuerzo en el punto de rotura σ_b (MPa): Esfuerzo de la probeta en el punto de rotura.
- Deformación ε (adimensional o %): Incremento de la longitud en función de la longitud inicial.
- Deformación en el punto de fluencia ε_y (adimensional o %): Primer momento en el que se produce una deformación sin ningún aumento del esfuerzo aplicado.
- Deformación en el punto de rotura ε_b (adimensional o %): Deformación en el punto de la caída del esfuerzo aplicado a valores inferiores o iguales al 10% de la resistencia si se produce la rotura antes de la fluencia.

- Deformación en la resistencia ε_m (adimensional o %): Deformación a la que se obtiene la resistencia.
- Deformación nominal ε_t (adimensional o %): Desplazamiento del cabezal entre la distancia entre apoyos.
- Deformación nominal en el punto de rotura ε_{tb} (adimensional o %): Deformación total antes de encontrar un punto en el que la reducción del esfuerzo nominal sea igual o inferior a un 10% si se produce la rotura después de la situación de fluencia.
- Módulo de elasticidad E (MPa): Pendiente de la curva esfuerzo-deformación en unos intervalos de deformación desde 0,05% a 0,25%.
- Coeficiente de Poisson μ (adimensional): Relación negativa del incremento de deformación $\Delta\varepsilon_n$ en uno de los dos ejes perpendiculares a la dirección de elongación y del incremento de la elongación correspondiente a la dirección axial del ensayo.
- Distancia entre mordazas L (mm): Longitud inicial de la pieza entre las mordazas.
- Distinción plástico rígido y semi-rígido: La principal distinción entre ambos será el rango de módulo de elasticidad en flexión donde los rígidos tienen un valor superior a 700 MPa y los semi-rígidos se encuentran entre 70 y 700 MPa.
- En el caso de los plásticos **reforzados** se hacen modificaciones en la nomenclatura de algunas de las siguientes propiedades, dichas modificaciones son las siguientes:
 - Para el esfuerzo de tracción σ se añade el subíndice 1 o 2 en función de la dirección tomada.
 - Para la resistencia a la tracción σ_M , el trato es el mismo, añadir un 1 o 2 dependiendo de la dirección.

Este procedimiento debe realizarse también para las propiedades de deformación en la resistencia (ε_m) y para el módulo de elasticidad (E).

En el caso del coeficiente de Poisson, como veremos posteriormente, se definen estos coeficientes para anchura y espesor como μ_b y μ_h respectivamente. En el ensayo con el plástico reforzado estos coeficientes pasarán a tener la nomenclatura de μ_{12} y μ_{13} .

Las direcciones que se definen para el material plástico con refuerzo vienen representadas en la siguiente imagen:

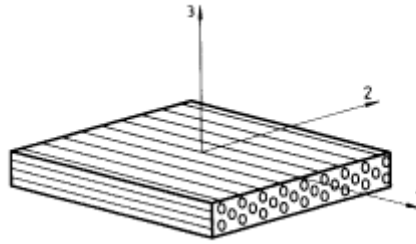


Ilustración 1: Direcciones de referencia (principales) ensayo tracción

3.2 Principio y metodología según la norma:

El ensayo consiste en someter a una probeta a un esfuerzo de tracción a lo largo de su eje longitudinal, hasta que se alcance la rotura o hasta que el esfuerzo o deformación alcanzados sean los fijados para el ensayo. Los valores numéricos obtenidos expresan la deformación en función del esfuerzo aplicado.

Para la aplicación del método se pueden utilizar probetas específicamente diseñadas para el proceso o partes de piezas fabricadas ya sea por moldeo, laminados, coladas u hojas extruidas.

3.2.1 Máquinas de ensayo

Para el desarrollo del procedimiento del ensayo de tracción, las máquinas a utilizar deben cumplir los requisitos expuestos en las normas ISO 7500-1 e ISO 9513, cumplimentando de manera particular las siguientes condiciones:

3.2.2 *Velocidad de ensayo*

La velocidad de ensayo a utilizar será la de 5mm/min para las pruebas sobre el material base (poliéster) con una tolerancia según la norma de un $\pm 20\%$ y con una velocidad de 2mm/min para el caso del material base con el refuerzo añadido, siendo la tolerancia la misma para este procedimiento.

3.2.3 Mordazas

La posición de las mordazas debe ser tal que el eje principal de la probeta coincida con la dirección de alargamiento. No debe existir ningún desplazamiento de la probeta, además, el sistema no debe deformar ni romper la probeta por aplastamiento.

3.2.4 Indicador de fuerza

El sistema de medición debe ser clase 1 de la norma ISO 7500-1.

3.2.6 Indicadores de deformación

En la norma ISO 9513 se nos plantean dos posibles herramientas para esta medida, los extensómetros y las galgas extensométricas, sin embargo, según LR en los ensayos solo debemos usar extensómetros, estos extensómetros deben ajustarse a la clase 1 de la norma antes mencionada y es posible también usar extensómetros que no requieran contacto siempre que se cumplan unos requisitos de exactitud similares, su funcionamiento debe ser constante y es aconsejable que recoja de manera automática los datos. Deben utilizarse extensómetros que tengan una precisión de un 1% o superior.

3.2.6.1 Material plástico sin refuerzo

En el caso del material plástico sin refuerzo regulado según la ISO 527-2 se recomienda una longitud de 75 mm para probetas de usos múltiples y 50 mm en el caso de ensayos que tengan como finalidad el control de calidad o en el caso de que se especifique que se debe utilizar esta longitud.

En el caso en que se registre deformaciones en un solo lado de la probeta, debe asegurarse que ningún fenómeno de flexión altera las medidas tomadas.

3.2.6.2 Material plástico con refuerzo

En el caso de estos ensayos, el micrómetro utilizado en el caso de ser requerido, debe medir en intervalos de al menos 0,01 mm, debe poseer un extremo en forma esférica y de tamaño adecuado para superficies irregulares.

3.3 Registro de datos

Se debe tomar una gran cantidad de datos para cumplir los requisitos de exactitud.

3.3.1 Registro de datos de deformación

Un dato a tener en cuenta para obtener el número de medidas necesarias sería la frecuencia mínima de adquisición de datos que se obtiene de la siguiente forma:

$$f_{min} = \frac{v}{60} * \frac{L_0}{L * r}$$

Siendo v la velocidad de ensayo en mm/min, L_0/L es la relación entre la longitud de referencia y la separación entre mordazas y r la resolución mínima entre datos necesaria para obtener datos fiables, suele ser la mitad del valor de la exactitud o superior.

La obtención de datos debe ser igual o superior a esta frecuencia mínima.

3.3.2 Registro de datos de fuerza

La velocidad del incremento de la fuerza para los ensayos viene dada por la siguiente fórmula:

$$\dot{F} = \frac{E * A * v}{60L}$$

Donde E es el módulo elástico en MPa, A la sección transversal de la probeta en milímetros cuadrados, v la velocidad antes mencionada y L la separación entre las mordazas en milímetros.

Sabiendo que la diferencia de fuerza en un intervalo se expresa según esta fórmula:

$$\Delta F = E * A * (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$$

Para una exactitud de la mitad del 1% ($r = 5 * 10^{-3}$) obtendremos la frecuencia de registro de la fuerza de la forma:

$$f_{fuerza} = \frac{\dot{F}}{r} = \frac{E * A * v}{E * A * \Delta\varepsilon * 60 * L * 5 * 10^{-3}}$$

3.3.3 Medida de la anchura y espesor de las probetas

La medida de ambas dimensiones se realizará según las normas ISO 16012 e ISO 23529 en el caso de ser necesarias, el uso de micrómetros es recomendado.

3.4. Probetas

3.4.1 Formas y dimensiones

3.4.1.1 Material plástico sin refuerzo

Las probetas idóneas son aquellas del tipo 1A y 1B en forma de haltera, las de tipo 1A deben utilizarse moldeadas por inyección para usos múltiples mientras que las del tipo 1B deben ser probetas mecanizadas. En el caso de las 1A pueden ser también moldeadas por compresión.

(probetas tipo 1A y 1B)

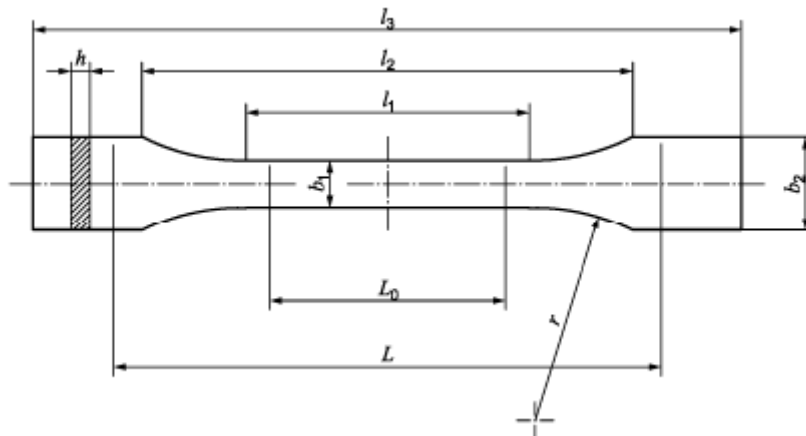


Ilustración 2: Diseño probeta ensayo tracción sin refuerzo

	Tipo de probetas	1A	1B
l_3	Longitud total ^a	170	≥ 150
l_1	Longitud de la parte estrecha de caras paralelas	80 ± 2	$60,0 \pm 0,5$
r	radio	24 ± 1	$60 \pm 0,5$
l_2	Distancia entre las partes anchas de caras paralelas ^b	$109,3 \pm 3,2$	$108 \pm 1,6$
b_2	Anchura en los extremos	$20,0 \pm 0,2$	
b_1	Anchura de la parte estrecha	$10,0 \pm 0,2$	
h	Espesor recomendado	$4,0 \pm 0,2$	
L_0	Longitud de referencia (recomendada)	$75,0 \pm 0,5$	$50,0 \pm 0,5$
	Longitud de referencia (aceptable si se requiere para el control de calidad o cuando se especifique)	$50,0 \pm 0,5$	
L	Distancia inicial entre las mordazas	115 ± 1	115 ± 1

^a La longitud total recomendada de 170 mm para el tipo 1A concuerda con las Normas ISO 294-1 e ISO 10724-1. Para algunos materiales, puede ser necesario alargar la longitud de los extremos (por ejemplo $l_1 = 200$ mm) para evitar la rotura o el deslizamiento en las mordazas de la máquina de ensayo.

^b $l_2 = l_1 + [4r(b_2 - b_1) - (b_2 - b_1)^2]^{1/2}$, que resulta de l_1 , r , b_1 y b_2 , pero dentro de las tolerancias indicadas.

Tabla 1: Medidas según el tipo de probeta plástica sin refuerzo

3.4.1.2 Material plástico con refuerzo

Según la norma ISO 527-4 se pueden usar tres tipos de probetas para los ensayos con el poliéster reforzado con fibra de vidrio, sin embargo, en las especificaciones dadas por LR, solo se pueden utilizar dos de esos tres tipos que son las de tipo 2 y las de tipo 3.

Estas probetas se caracterizan según el siguiente diagrama y dimensiones:

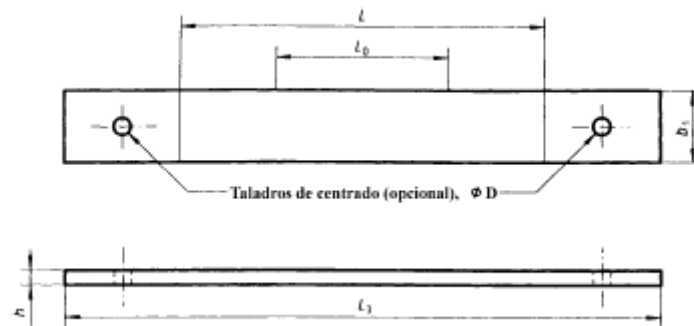


Ilustración 3: Probeta tipo 2

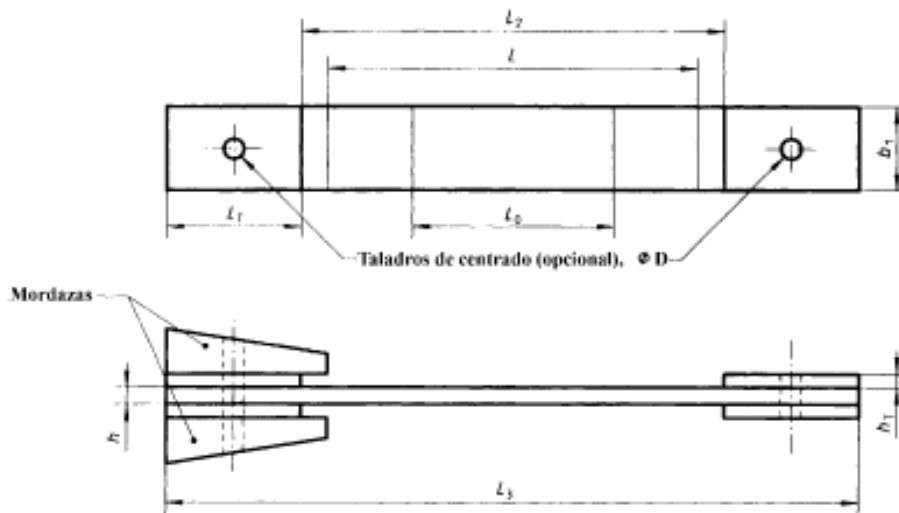


Ilustración 4: Probeta tipo 3

Donde se utilizan las siguientes dimensiones:

		Tipo 2	Tipo 3
L_3	Longitud total	≥ 250	≥ 250
L_2	Distancia entre talones	-	150 ± 1
b_1	Anchura	$25 \text{ ó } 50 (\pm 0,5)$	$25 \text{ ó } 50 \pm 0,5$
h	Espesor	2 a 10	2 a 10
L_0	Long. de referencia (para extensómetros)	50 ± 1	50 ± 1
L	Distancia inicial entre mordazas	150 ± 1	136 (nominal)
L_T	Longitud entre talones	-	≥ 50
h_T	Espesor entre talones	-	1 a 3
D	Diámetro de los taladros de centrado	$3 \pm 0,25$	$3 \pm 0,25$

Tabla 2: Medidas según el tipo de probeta con refuerzo

*(todas las medidas están en milímetros)

3.4.2 Preparación de las probetas

Las probetas deben moldearse según las normas ISO 293, ISO 294-1, ISO 295 o ISO 10724-1, o mecanizarse según la ISO 2818 usando placas moldeadas por compresión, inyección u obtenidas a partir de placas coladas u hojas.

Debe llevarse un control exhaustivo de la preparación de todas las probetas, su superficie debe estar libre de desperfectos y deben eliminarse las rebabas que pueden aparecer por su proceso de manufactura.

En el caso en que se utilicen partes de productos elaborados como probetas en los ensayos deben buscarse piezas con la menor curvatura posible, a ser posibles planas y no deben ser mecanizadas para reducir su espesor.

3.4.2.1 Material plástico con refuerzo

En el caso particular para las probetas tipo 2 y tipo 3, se debe preparar un panel según la norma ISO 1268 de donde, en el caso de utilizar probetas tipo 3, se obtendrán los grupos de placas rectangulares.

En cuanto a los talones utilizados en las probetas de tipo 3, deben ser fabricados a partir de material de refuerzo con fibras de ángulos de en torno a 45° respecto al eje de la probeta y deben ser de un espesor de entre 1 mm y 3 mm. Para utilizar otro tipo de talonado debe demostrarse que muestra las mismas características de resistencia y coeficientes de variación que los talones estándar, para su montaje se utilizara adhesivo.

El procedimiento recomendado para la fabricación de las probetas talonadas es el siguiente:

- Se identifica la dirección “1” en el material.
- Se obtiene la probeta rectangular.
- Se frota con papel abrasivo o se granalla la superficie donde se aplicará el adhesivo.
- Se elimina todo el polvo de las superficies y se limpia con disolvente.
- Se pegan las bandas en su posición a lo largo de los extremos de la hoja, paralelas entre ellas y perpendiculares a la dirección longitudinal de las probetas. Se utilizará un adhesivo de alta elasticidad siguiendo las directrices del fabricante del mismo.

-Se mantienen los componentes pegados a la presión y temperatura recomendadas por el fabricante del adhesivo, durante el tiempo recomendado por el fabricante.

-Finalmente se deshecha el material no necesario.

3.4.3 Marcas de referencia

En el caso de utilizar extensómetros ópticos, estos deben guiarse por unas marcas de referencia realizadas en la superficie de la probeta, estas marcas deben estar equidistantes del centro y deben realizarse con un error no mayor del 1%.

Su colocación en las probetas, ya sea por señalado, estampado o impresión no debe dañar de ninguna manera el material para evitar zonas débiles por las que se pueda facilitar la rotura, lo que sería caso de fallo en la medida de la probeta.

3.4.4 Control de las probetas

Las superficies deben ser perpendiculares entre si y no presentar ningún atisbo de torsión, no deben existir defectos de su fabricación tales como rebabas u oquedades, la existencia de estas irregularidades debe comprobarse con exámenes visuales y con el uso de calibres micrométricos, cualquier defecto en una probeta la invalida para su uso.

3.4.5 Anisotropía

En las probetas fabricadas por moldeo por inyección o extruidas, además, de las obtenidas a partir de productos elaborados presentan siempre cierto grado de anisotropía, para comprobarse la influencia de este proceso es posible observar la diferencia en los resultados de dos probetas, una mecanizada en la dirección paralela a la de flujo durante el moldeo y otra de manera perpendicular a la misma.

3.4.6 Número de probetas

Debe someterse a ensayo a al menos 5 probetas, tanto para cada dirección como para cada propiedad a considerar (módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, etc.). Para la obtención de mayores precisiones se utilizarán más probetas.

En el caso de que una probeta en haltera no se rompa por sus caras paralelas, deben eliminarse dicha probeta y debe usarse una suplementaria.

Si se da el caso en el que se produzca un desplazamiento de las mordazas o una rotura de 10 mm en su interior, los resultados de los ensayos en los que se produzca alguno de estos casos o ambos deben ser rechazados, también deben eliminarse aquellos ensayos en los que se produzcan defectos apreciables o rotura prematura.

3.5 Acondicionamiento

El acondicionamiento debe realizarse según se especifique en la norma que concierne al material, cuando no se indiquen procedimientos específicos, el acondicionamiento debe realizarse según lo descrito en la norma ISO 291.

Para el caso concreto del poliéster con fibra de vidrio, la información sobre su acondicionamiento se encuentra en la ISO 295 concerniente a las probetas fabricadas por moldeo de compresión de materiales termoestables.

3.6 Procedimiento operatorio

3.6.1 Atmosfera de ensayo

Se realiza en la misma atmosfera que el acondicionamiento salvo indicaciones contrarias.

3.6.2 Dimensiones de las probetas

Se mide la anchura b con una precisión en torno a 0,1 mm y espesor h de aproximadamente 0,02 mm de error, en el centro de las probetas situándose 5 milímetros por debajo de cada extremo en la longitud de referencia. Para el cálculo de la sección transversal se utilizan las medias de las anchuras y los espesores.

En el caso de las probetas moldeadas por inyección se utilizan la anchura y el espesor a menos de 5 milímetros del centro de la probeta, siendo necesario medir, para este tipo

solamente una probeta de cada lote, en el caso de los moldes de cavidad múltiple, las dimensiones de las probetas no deben diferir más del $\pm 0,25\%$ entre cavidades.

3.6.3 Fijación

Debe realizarse el correcto alineamiento entre la dirección de aplicación de la fuerza de tracción aplicada desde las mordazas y el eje longitudinal de las probetas, apretando las mordazas de manera uniforme y evitando desperfectos en la probeta.

3.6.4 Esfuerzos de precarga

La probeta no debe someterse a grandes esfuerzos antes del ensayo. Sin embargo, son necesarios para evitar regiones irregulares en la gráfica esfuerzo/deformación.

El esfuerzo de precarga σ_0 debe situarse dentro del siguiente intervalo:

$$0 < \sigma_0 \leq E_t/2000$$

Que equivale a la predeformación $\varepsilon_0 \leq 0,05\%$

Dando un esfuerzo correspondiente $\sigma^* = \sigma_y$ o σ_m

Haciendo que σ_0 deba estar comprendido dentro del intervalo:

$$0 < \sigma_0 \leq \sigma^*/100$$

Para cualquier esfuerzo superior a los descritos, debe aliviarse la tensión a través de movimientos lentos del cabezal de en torno a 1 mm/min hasta situar el esfuerzo dentro de los rangos permitidos.

Para conocer el calibrado necesario, deben realizarse pruebas con anterioridad.

3.6.5 Ajuste de los extensómetros

Tras el montaje de la probeta en la máquina de ensayos, se coloca un extensómetro calibrado a la longitud de referencia de la probeta, en el caso de ser necesario, se mide la distancia inicial (longitud de referencia). Para la medición del coeficiente de Poisson se debe medir la deformación en los ejes longitudinal y transversal de manera simultánea.

Los extensómetros deben situarse simétricamente con respecto al medio de la parte paralela y sobre la línea central.

3.6.6 Velocidad de ensayo

Para la medición del módulo de elasticidad en tracción, esta velocidad debe dar un índice de deformación lo más cercano al 1% de la longitud de referencia por minuto. La velocidad a utilizar esta especificada en la normativa expuesta por LR.

Es posible utilizar la probeta con la que se ha obtenido el módulo de tracción para otros ensayos.

Siempre es preferible eliminar los esfuerzos de tensión antes de probar a variar la velocidad, sin embargo, es posible hacer esto asegurando que las deformaciones se mantienen por debajo o como mucho llegan al 0,3%.

3.6.7 Registro de datos

Es preferible guardar la fuerza y los valores de aumento de longitud y distancia durante el ensayo. Lo ideal es tener tres vías de obtención de datos, si se presentan dos se obtendrán los valores de fuerza aplicados y la señal recibida por el extensómetro.

3.7. Cálculo y expresión de los resultados

3.7.1 Esfuerzo

La obtención del esfuerzo viene dada por la siguiente operación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Con:

- σ esfuerzo, en megapascuales (MPa);
- F fuerza implicada, en newtons (N);
- A área de la sección transversal, en milímetros cuadrados (mm^2).

3.7.2 Deformación a través de extensómetro

En el caso de que las deformaciones se den de forma homogénea a través de la sección paralela de la probeta, los valores de deformación se obtienen en función de la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

Donde:

- ε es el valor de deformación, como forma adimensional o en tanto por ciento;
- ΔL_0 es el incremento de la longitud de referencia, en milímetros (mm);
- L_0 es la longitud de referencia de la probeta, en milímetros (mm).

En el caso en el que se produzca un fuerte estrechamiento durante el ensayo, se utilizará la deformación nominal, sin embargo y según LR, todas las medidas de tensión deben realizarse utilizando únicamente extensómetros.

3.7.3 Módulo de elasticidad en tracción

Su cálculo puede realizarse de diversas maneras:

Pendiente secante:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Donde:

- E_t es el módulo de elasticidad en el ensayo de tracción, expresado en megapascuales (MPa);
- $\sigma_1 \varepsilon_1(\%) = 0,05\%$ es el esfuerzo en megapascuales (MPa), para una deformación
- $\sigma_2 \varepsilon_2(\%) = 0,25\%$ es el esfuerzo en megapascuales (MPa), para una deformación

Pendiente de una recta de regresión:

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

Siendo este cociente la pendiente de una recta ajustada por mínimos cuadrados a la zona elástica de la curva esfuerzo/deformación (zona inicial recta) en el intervalo de deformación entre el 0,05% y el 0,25%, expresada en MPa.

3.7.4 Coeficiente de Poisson

Anchura o espesor son representados en función de la amplitud de la sección tomada como referencia para toda de la curva esfuerzo deformación cercana al punto de fluencia eliminando las zonas donde la variación de velocidad del ensayo pueda haber provocado fluctuaciones en los resultados.

El primer paso es obtener la pendiente de la curva de variación de la anchura en función de la variación de la longitud de referencia. El cálculo de esta pendiente se realiza también a través del método de mínimos cuadrados entre dos límites, uno situado al finalizar la zona donde se calcula el módulo elástico y otro posterior a la variación de velocidad si la hay. La ecuación que define la obtención de este parámetro es la siguiente:

$$\mu = -\frac{\Delta\varepsilon_n}{\Delta\varepsilon_1} = -\frac{L_0 \Delta n}{n_0 \Delta L_0}$$

Con:

- μ coeficiente de Poisson, expresado de forma adimensional.
- $\Delta\varepsilon_n$ disminución de la deformación en la zona transversal seleccionada, adimensional o en %.
- $\Delta\varepsilon_1$ aumento de la deformación en la dirección longitudinal, adimensional o en %.
- L_0, n_0 son las longitudes iniciales en las direcciones longitudinal y transversal, en milímetros (mm).
- Δn disminución de la longitud en la dirección transversal tomada ya sea el ancho o el espesor, en milímetros (mm).

- ΔL_0 aumento de la longitud de referencia en la dirección longitudinal, en milímetros (mm).

Según se exprese en función de la anchura o del espesor, el coeficiente de Poisson se expresa como μ_b o μ_h , respectivamente.

Se recomienda calcular el coeficiente de Poisson para deformaciones elevadas ($0,3\% \leq \varepsilon < \varepsilon_y$), siendo ε_y la deformación en el punto de fluencia.

En el caso de los plásticos, al ser materiales viscoelásticos, el coeficiente de Poisson depende del intervalo donde se determina, haciendo que función de longitud que represente la dirección transversal seleccionada (anchura o espesor), no deba ser una línea recta.

3.7.5 Parámetros estadísticos

Se obtendrán las medias aritméticas de todos los resultados de los ensayos, y en el caso de que sean necesarios, las desviaciones típicas y los intervalos de confianza al 95% de los valores medios según lo expuesto en la norma ISO 2602.

3.7.6 Cifras significativas

Para los esfuerzos y los módulos elásticos se utilizarán tres cifras significativas. Las deformaciones y los coeficientes de Poisson se realizarán con dos cifras significativas.

En el caso del plástico reforzado las deformaciones también con tres cifras significativas.

3.7.7 Precisión

Para este apartado deben tenerse en cuenta las dos secciones referidas a los materiales plásticos a estudiar, el primer caso es el del plástico termoestable sin refuerzo cuya información viene recogida en la ISO 527-2 y posteriormente se darán los detalles que conciernen al plástico reforzado según la ISO 527-4.

3.7.7.1 Material plástico sin refuerzo

Las indicaciones relativas a la precisión que debe tenerse en los ensayos se basan en los resultados obtenidos en un grupo de siete laboratorios alemanes, suizos y austriacos con un total de 25 materiales seleccionados. Cada laboratorio seleccionó 5 resultados individuales para cada material. Los resultados obtenidos, debido a lo reducido de laboratorios y muestras, sirven para considerar de manera aproximada la validez del procedimiento descrito con anterioridad, por lo que los datos que se van a presentar deben utilizarse de manera orientativa.

Los valores presentados cumplen las siguientes cualidades, las cuales tendrán un 95% de posibilidades de ser correctas:

3.7.7.1.1 Repetibilidad

Dos resultados obtenidos en laboratorio deben considerarse no equivalentes si difieren más del valor de “**r**” para el material utilizado. Este valor “**r**” es el intervalo que representa la diferencia crítica entre dos resultados para un mismo tipo de material en las mismas condiciones de ensayo.

3.7.7.1.2 Reproducibilidad

Dos resultados de ensayo obtenidos en dos laboratorios diferentes deben considerarse no equivalentes si difieren más del valor “**R**” para el material considerado. El valor “**R**” representa la diferencia crítica entre dos resultados de ensayo para el mismo material, obtenidos por diferentes laboratorios, con diferentes equipos y operarios, esta propiedad es de especial importancia en los casos en que LR determine que son necesarios ensayos en entidades independientes a la empresa que desea utilizar el material.

Las propiedades estadísticas que se van a presentar son las siguientes:

- s_r = desviación típica intralaboratorio;
- s_R = desviación típica interlaboratorio;
- r = límite de Repetibilidad del 95% = $2,8s_r$
- R = límite de repetibilidad del 95% = $2,8s_R$
- n_{lab} = número de laboratorios que aportan resultados.

Los datos aportados son los siguientes: (1: Elasticidad,2: Esfuerzo,3: Deformación)

$L_0 = 50 \text{ mm}$						
Material	n_{Lab}	Media	s_r	s_R	r	R
RAHECO	7	435	17	30	47	83
ABS	6	1 799	15	92	42	258
PC	6	2 448	34	98	94	274
PMMA	7	3 375	33	136	92	381
POM GF30	7	8 641	229	425	641	1 190
PBT GF30	6	9 882	168	680	471	1 904
LCP	7	30 414	966	2 547	2 705	7 131
$L_0 = 75 \text{ mm}$						
Material	n_{Lab}	Media	s_r	s_R	r	R
RAHECO	7	491	8	29	21	80
ABS	6	1 799	14	63	40	175
PC	6	2 456	23	78	64	217
PMMA	7	3 411	36	79	102	220
POM GF30	7	8 711	86	291	242	816
PBT GF30	6	9 954	119	370	332	1 037
LCP	7	30 580	1 014	1 699	2 840	4 757

$L_0 = 50 \text{ mm}$						
Material	n_{Lab}	Media	s_r	s_R	r	R
RAHECO	7	13,7	0,14	0,61	0,4	1,7
PEBA	7	22,2	0,36	1,21	1	3,4
ABS	6	36,4	0,18	1,93	0,5	5,4
PC	6	63,6	0,18	0,89	0,5	2,5
PA 63T	7	84	0,32	5,11	0,9	14,3

ABS	6	2,6	0,07	0,21	0,2	0,6
PC+ABS	6	4,5	0,07	0,18	0,2	0,5
POM	7	7,3	0,18	0,54	0,5	1,5
PA 63T	7	7,5	0,11	0,79	0,3	2,2
RAHECO	7	13,1	0,46	2,00	1,3	5,6
$L_0=75 \text{ mm}$						
Material	n_{Lab}	Media	s_r	s_R	r	R
ABS	6	2,7	0,04	0,04	0,1	0,1
PC+ABS	6	4,4	0,07	0,21	0,2	0,6
POM	7	7,2	0,21	0,71	0,6	2,0
PA 63T	7	7,4	0,32	0,93	0,9	2,6
RAHECO	7	12,8	0,75	2,25	2,1	6,3

$L_0 = 50 \text{ mm}$						
Material	n_{Lab}	Media	s_r	s_R	r	R
LCP	7	0,6	0,1	0,1	0,2	0,2
ABS	4	2,8	0,4	0,4	1	1,1
PA66GF30	7	3,1	0,1	0,7	0,4	2,0
PA12	3	17,7	1,2	2,3	3,4	6,5
$L_0 = 75 \text{ mm}$						
Material	n_{Lab}	Media	s_r	s_R	r	R
LCP	7	0,6	0,1	0,1	0,2	0,2
ABS	4	6,2	1,1	1,3	3,2	3,6
PA66GF30	7	3,4	0,1	0,2	0,4	0,6
PA12	3	16,3	1,2	2,8	3,4	7,9

Ilustración 5: Datos de los diferentes laboratorios

3.7.7.2 Material plástico con refuerzo

Según la ISO 527-4, todavía no existen ensayos concluyentes sobre la precisión de este proceso por no existir datos entre laboratorios de suficiente magnitud, por ello añadirán una declaración sobre este tema en la próxima actualización de la norma.

3.8. Informe de ensayo

Para la redacción de los informes de ensayo pertinentes debe incluirse la siguiente información:

- Referencia a la parte que se esté utilizando de la norma ISO 527 (ej: ISO 527-2, ISO 527-3, etc.).
- Todos los datos necesarios para la identificación del material sometido a ensayo, incluido tipo, origen, referencia comercial y antecedentes si se conocen.
- Descripción de la naturaleza y la forma del material, si se trata de un producto, de un producto semielaborado, de un panel de ensayo o de una probeta; se deberían incluir las dimensiones principales, la forma, el método de fabricación, la distribución de capas y cualquier tratamiento preliminar.
- Tipo de probeta; la anchura y el espesor de la sección paralela, incluida la media y los valores máximos y mínimos.

- e) Método de preparación de las probetas, y cualquier detalle del método de fabricación utilizado.
 - f) Si el material está en forma de producto o producto semielaborado, la orientación de la probeta respecto al producto o producto semielaborado del que se ha tomado.
 - g) Número de probetas sometidas a ensayo.
 - h) Atmósfera normalizada para el acondicionamiento y ensayo, además de cualquier tratamiento especial de acondicionamiento, si se requiere por la norma pertinente para el material o el producto correspondiente.
 - i) Grado de exactitud de la máquina de ensayo y del extensómetro (según la ISO 7500-1e ISO 9513).
 - j) Tipo de indicador del alargamiento o deformación, y la longitud de referencia L_0 .
 - k) Tipo de dispositivo de fijación y la distancia entre las mordazas L .
 - l) Velocidades de ensayo.
 - m) Resultados individuales del ensayo de las propiedades definidas en el apartado 3.
- Términos y definiciones.**
- n) Valores medios de las propiedades determinadas, citados como valores indicativos para el material sometido a ensayo.
 - o) Desviación típica, y/o coeficiente de variación, y/o límites de confianza de la media, si es requerido.
 - p) Declaración de si se ha rechazado y remplazado alguna probeta, y, de ser así, las razones del rechazo, así como las razones que justifican someter a ensayo probetas no conformes.
 - q) Fecha de la medición.

Concretando para ambos tipos de materiales utilizados, las particularidades de cada uno son las siguientes:

3.8.2 Material plástico sin refuerzo

En este caso se modifica el apartado a) de los anteriores, incluyendo la siguiente información:

ISO 527-2/1A/50

Donde:

-La primera parte hace referencia a cuál de los apartados de la norma pertenece el material, en nuestro caso el número de referencia es el 2.

-La segunda referencia al tipo de probeta utilizada (según LR solo se pueden utilizar del tipo 1A o 1B).

-La tercera parte hace referencia a la velocidad de ensayo, en milímetros por minuto.

3.8.3 Material plástico con refuerzo

Para el material plástico sin refuerzo la única modificación es que en la primera parte el número de referencia tiene un 4 en vez de un 2 y que la tipología de las probetas puede va definida por números que pueden ser el 2 o el 3.

4. Ensayo de flexión según la ISO 178

4.1 Términos y definiciones

En este apartado se recogen las principales variables de las que depende la correcta realización del método de pruebas sobre la flexión de materiales reforzados con fibras.

- Velocidad de ensayo v (mm/min): Relacionada con el movimiento relativo de los soportes y el final de los elementos de carga.
- Esfuerzo de flexión σ_f (MPa): Esfuerzo nominal dado en la superficie externa de la probeta en el punto de aplicación.
- Esfuerzo de flexión en la rotura σ_{fB} (MPa): Esfuerzo de flexión en la rotura de la probeta.
- Resistencia a la flexión σ_{fM} (MPa): Esfuerzo máximo soportado por la probeta durante un ensayo de doblado.
- Flecha s (mm): Distancia que la superficie inferior o superior de la probeta en la zona de aplicación que se desvía del estado inicial en el proceso.
- Flecha en la rotura s_R (mm): Flecha en el momento de la rotura.
- Flecha en la resistencia a la flexión s_M (mm): La flecha para la carga en que se produce la resistencia a la flexión.
- Deformación en flexión ε_f (adimensional o porcentaje): Variación en fracción nominal de la longitud de un elemento de la superficie exterior de la probeta en el punto de aplicación.
- Deformación en flexión durante la rotura ε_{fB} (adimensional o porcentaje): Valor de la deformación en el instante de rotura.
- Deformación en flexión en el punto de esfuerzo máximo ε_{fM} (adimensional o porcentaje).

- Módulo de elasticidad en flexión E_f (MPa): relación entre la diferencia de esfuerzos $\sigma_f'' - \sigma_f'$ y sus respectivas deformaciones $\varepsilon_f'' - \varepsilon_f'$ al 0,25% y 0,05% respectivamente.
- Módulo de cizallamiento interlaminar G_{13} (MPa): Módulo de cizallamiento en la dirección del espesor para materiales laminados.
- Ejes de coordenadas de la probeta (materiales con orientación): Vienen definidos en la siguiente figura:

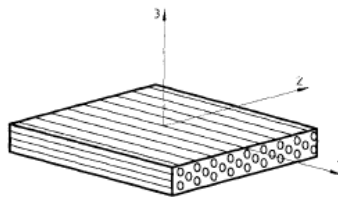


Ilustración 6: Direcciones de referencia (principales) ensayo flexión

4.2 Máquinas de ensayo

4.2.1 Generalidades

Las máquinas de ensayo utilizadas deben cumplir las especificaciones de la norma ISO 5893 además de cumplir las especificaciones de los siguientes apartados.

4.2.2 Velocidad de ensayo

Las máquinas utilizadas deben poder alcanzar y mantener las siguientes velocidades de ensayo:

Velocidad de ensayo, v (mm/min)	Tolerancia (%)
1	± 20
2	± 20
5	± 20
10	± 20
20	± 10
50	± 10
100	± 10
200	± 10
500	± 10

Ilustración 7: Velocidades del ensayo de flexión

En la ISO 5893 no viene especificada la velocidad de 0,5 mm/min, además para 1 mm/min y 2 mm/min las tolerancias son inferiores a lo especificado en la norma antes mencionada.

4.2.3 Piezas de carga y soportes

La disposición del elemento de carga y los soportes viene especificada en la siguiente figura.

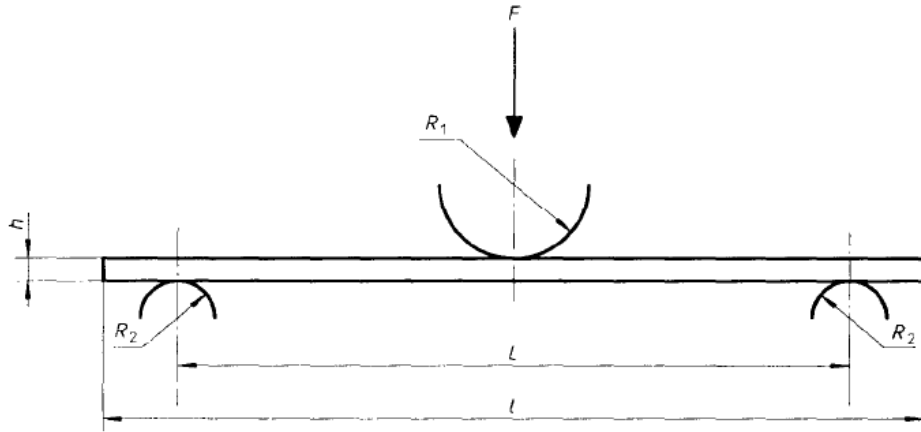


Ilustración 8: Disposición carga y soportes ensayo flexión

La distancia entre apoyos debe ser ajustable en el ensayo, en cuanto a los radios de los apoyos y los elementos de carga deben oscilar entre los siguientes valores:

Variable	Valor
R_1	$5 \pm 0,2$ mm
R_2 para $h \leq 3$ mm	$2 \pm 0,2$ mm
R_2 para $h > 3$ mm	$5 \pm 0,2$ mm

Tabla 3: Características elementos de apoyo y carga

4.2.4 Indicadores de carga y flecha

Los errores de la fuerza aplicada y en la flecha no deben superar una tolerancia mayor del 1% tanto por exceso como por defecto.

Deben seguirse las indicaciones de clase 1 de la norma ISO 9513.

4.2.5 Micrómetros y calibres

Deben usarse micrómetros o herramientas equivalentes con una exactitud de como mínimo 0,01 mm adecuados para medir los parámetros geométricos transversales de la probeta (anchura b y espesor h).

Dicho aparato debe tener las caras de contacto necesarias para cada superficie a medir.

El calibre Vernier o cualquier aparato equivalente utilizado, debe tener una exactitud de hasta 0,1 % de la longitud entre los apoyos L , con el objetivo de obtener dicha distancia.

4.3 Probetas

4.3.1 Generalidades

A no ser que se declare lo contrario, se deben cumplir las dimensiones estipuladas en la norma del material y lo que se expone en los siguientes apartados.

4.3.2 Dirección del ensayo

El eje de la probeta utilizada debe estar en una de las direcciones principales, además, en el caso de que en la aplicación de que el material tenga alguna orientación específica con respecto a las direcciones principales, dicho material debe seguir la orientación predefinida. Debe realizarse un registro de la relación entre la orientación y las direcciones principales de en el ensayo de las probetas.

4.3.3 Tipos de probetas

En el siguiente apartado se exponen las clases recomendadas por la Lloyd's Register y sus dimensiones relevantes, en la primera tabla se expresan las medidas para dichos métodos en el ensayo tipo A (flexión en tres puntos), mientras que en la segunda se expresan los valores para el ensayo tipo B (flexión en cuatro puntos).

Material	Longitud de la probeta (L)	Distancia exterior entre los apoyos (L)	Anchura (b)	Espesor (h)
Clase II Plásticos reforzados con fieltros, fieltro de hilo continuo y tejidos, así como formatos mezclados.	80	64	15	4
Clase III Compuestos unidireccionales, transversales (90°), unidireccionales (0°) y multidireccionales con $5 < E_{f1}/G_{13} \leq 15$	60	40	15	2

Tabla 4: Tipos de probetas ensayo flexión, ensayo tipo A

Material	Longitud de la probeta (L)	Distancia exterior entre los apoyos (L)	Distancia interior entre apoyos (L')	Anchura (b)	Espesor (h)
Clase II Plásticos reforzados con fieltros, fieltro de hilo continuo y tejidos, así como formatos mezclados.	80	66	22	15	4
Clase III Compuestos unidireccionales, transversales (90°), unidireccionales (0°) y multidireccionales con $5 < E_{f1}/G_{13} \leq 15$	60	45	15	15	2

Tabla 5: Tipos de probetas ensayo flexión, ensayo método B

*Todas las medidas en estas dos tablas están en milímetros (mm).

En cualquiera de los ensayos, en la zona del tercio central de la longitud de la probeta no debe haber desviaciones mayores de un 2 % del valor medio. En el caso del valor de

desviación máxima, dicho valor no debe desviarse más de un 3 %. La superficie transversal debe tener una forma rectangular y no poseer bordes redondos.

En el caso en el que no sea posible o que no se requiera utilizar la probeta recomendada por el método, deben aplicarse las siguientes relaciones en las medidas de l , L , h y b .

En la primera tabla se expresan las relaciones entre la longitud de la probeta y la longitud entre apoyos con respecto al espesor de la probeta, mientras que en la segunda se dan los valores de anchura en función del espesor de la misma.

Clase de material	Tres puntos	
	L/h	l/h
II	16	20
III	20	30

Tabla 6: Relaciones longitud probeta y distancia entre apoyos

Espesor normal h (mm)	Anchura (b)
	Clase II y Clase III (en mm)
$1 < h \leq 3$	15
$3 < h \leq 5$	15
$5 < h \leq 10$	15
$10 < h \leq 20$	30
$20 < h \leq 35$	50
$35 < h \leq 50$	80

Tabla 7: Anchura en función del espesor probetas ensayo flexión

4.3.4 Preparación de las probetas

Para compuestos de moldeo y de extrusión, las probetas deben seguir las pautas determinadas en la norma del material, en el caso de no existir dicha norma, deben ser

conformadas por compresión o inyección del material según las normas ISO 292, ISO 294-1 o ISO 295 utilizando la más adecuada para cada caso.

Si se da la situación en que las probetas se forman a partir de láminas, se fabricarán siguiendo las pautas de la norma ISO 2818.

Para el conformado de las probetas utilizando materiales plásticos con fibra larga, estas deben mecanizarse a partir de paneles creados según la norma ISO 1268 o cualquier otro procedimiento especificado, la guía para la mecanización de plásticos está incluida en la norma ISO 2818.

Por último, el control de las probetas se realiza cerciorándose de que están libres de torceduras y con pares perpendiculares entre sí de las superficies paralelas. Dichas superficies deben estar exentas de rebabas, agujeros, rechupados y rayas. Se utilizarán reglas como la del canto agudo, escuadras o planchas planas además de observaciones visuales y mediciones con calibres micrométricos para las comprobaciones de control. En el caso de encontrar probetas que no superen dichas pruebas, estas deben ser rechazadas o reparadas a través de métodos mecánicos.

4.4 Número de probetas

Deben utilizarse al menos cinco probetas que den resultados dentro de los márgenes de aceptación de las pruebas, las mediciones a realizar pueden ser más en el caso de que se requiera una mayor precisión.

Dichas mediciones proporcionan un intervalo de confianza del 95 % según la norma ISO 2602.

Si en la realización de las pruebas, las probetas fallan fuera del tercio central en el ensayo de tres puntos y fuera de la parte central en el ensayo de cuatro puntos, deben retirarse dichas probetas y ser sustituidas por nuevas probetas seleccionadas de forma aleatoria.

4.5 Acondicionamiento

Si es posible su aplicación, se realizarán los ensayos en las atmosferas especificadas en la norma de cada material. En ausencia de dichas especificaciones se seguirán las pautas de la norma ISO 291 siempre y cuando no se acuerden otras medidas entre las partes interesadas.

4.6 Procedimiento operatorio

Siempre que sea posible debe aplicarse la atmosfera indicada en las especificaciones del material, o lo expuesto en el apartado de “Acondicionamiento”.

En primera instancia se determinan las dimensiones transversales con una aproximación de un 1% al centro de cada probeta, se desecha cualquier probeta que presente desviaciones mayores del 2% en el espesor, remplazándose por otra probeta elegida de manera aleatoria informando de cualquier fallo de las probetas.

Posteriormente, se ajusta la distancia entre apoyos L con un máximo de un 1% de desviación con el objetivo de verificar la relación L/h indicada en las tablas sobre los tamaños de probeta recomendados y se mide la distancia final entre apoyos con una exactitud mínima del 0,2%.

En el caso de no obtener fallos aceptables, se utilizará una relación L/h mayor.

Para toda situación en la que se pueda aplicar, la velocidad de ensayo se ajusta según la norma del material utilizado, si no se da dicha información, se utilizará la expuesta en el apartado “Velocidad de ensayo” de este documento seleccionando aquella que de una velocidad de deformación lo más próxima a 0,01.

Para el cálculo de dicha velocidad haremos uso de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\epsilon' L^2}{6h} \text{ (Para 3 puntos)}$$

Donde ϵ' es una velocidad de deformación de 0,01. La velocidad de ensayo produce entonces una flecha próxima a 0,4 veces el valor del espesor de la probeta en un minuto.

Una vez obtenida dicha velocidad, se sitúa la probeta de forma simétrica en los soportes identificando la cara que se somete a la tracción. Es posible también colocar un calzo delgado o algún tipo de amortiguador entre probeta y pieza de carga para disminuir el riesgo de fallo de la cara que sufre la compresión.

Colocada la pieza, se la somete a la fuerza de carga en la zona media de la distancia entre apoyos en el caso del ensayo de tres puntos y en ambas piezas de carga en el caso del ensayo con cuatro puntos.

Durante el ensayo se registran los valores de fuerza y flecha producidos usando preferentemente algún sistema automatizado de registro de datos con el fin de obtener una curva flexión/desplazamiento o una curva flexión/deformación.

Se obtendrán todos los valores definidos en el apartado “Términos y definiciones” gracias a las gráficas antes mencionadas o con datos equivalentes.

Por ultimo debe determinarse el tipo de fallo y la situación de las caras de tracción y compresión.

4.6 Cálculos y expresión de los resultados.

4.6.1 Método A

El primer paso será el cálculo del esfuerzo de flexión a través de la siguiente formula:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Siendo:

- σ_f es el esfuerzo de flexión, en megapascascales (MPa);
- F es la carga, en newtons (N);
- L es la distancia entre apoyos, en milímetros (mm);
- h es el espesor de la probeta, en milímetros (mm);
- b es la anchura de la probeta, en milímetros (mm).

En el caso de producirse grandes flechas (mayores de $0,1L$), se aplica una de las siguientes formulas, dependiendo de si se tiene en cuenta el coeficiente de fricción entre las piezas.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \left\{ 1 + \left(\frac{s}{L}\right)^2 - 3\left(\frac{sh}{L^2}\right) \right\} \text{ (sin fricción)}$$

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \left\{ 1 + 6\left(\frac{s}{h}\right) - 3\left(\frac{sh}{L^2}\right) + \mu \left(2\frac{s}{L} - \frac{h}{L} \right) \right\} \text{ (con fricción)}$$

En cuanto a la obtención del módulo de flexión, se obtienen las flechas que proporcionan los valores de deformación $\varepsilon_f' = 0,0005$ y $\varepsilon_f'' = 0,0025$ a través de las siguientes ecuaciones:

$$s' = \frac{\varepsilon_f' L^2}{6h} \text{ y } s'' = \frac{\varepsilon_f'' L^2}{6h}$$

Cuyas variables son:

- s' y s'' son las flechas en el punto central de la viga, en milímetros (mm).
- ε_f' y ε_f'' son las deformaciones en flexión definidas anteriormente.

Una vez obtenidas estas flechas pasamos a hallar el módulo de flexión con la siguiente fórmula:

$$E_f = \frac{L^3}{4bh^3} \left(\frac{\Delta F}{\Delta s} \right)$$

Donde se define:

- E_f módulo de elasticidad de flexión, en megapascales (MPa);
- Δs diferencia entre las flechas, en milímetros (mm);
- ΔF diferencia de las fuerzas en las respectivas flechas, en newtons (N).

Además, también puede obtenerse con la siguiente expresión:

$$E_f = 500(\sigma_f'' - \sigma_f')$$

Donde:

- σ_f' es el esfuerzo para la flecha s' , en megapascales (MPa);
- σ_f'' es el esfuerzo para la flecha s'' , en megapascales (MPa).

Para calcular, por último, la deformación en la superficie exterior de la probeta se utilizará la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{6sh}{L^2}$$

En el caso de las grandes flechas antes mencionadas, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{h}{L} \left\{ 6 \frac{s}{L} - 24,37 \left(\frac{s}{L} \right)^3 + 62,14 \left(\frac{s}{L} \right)^5 \right\}$$

Se debe calcular la media aritmética de las medidas individuales y en caso de ser necesario, la desviación típica y el intervalo de confianza al 95%, según la norma ISO 2602. Los esfuerzos y el módulo se calculan con tres cifras significativas mientras que las flechas se hallarán solo con dos cifras significativas.

4.7 Precisión

Se desconoce la precisión de este método debido a la falta de datos interlaboratorio.

4.8 Informe del ensayo

Dicho informe debe contener la siguiente información:

- a) Una referencia de la norma internacional, mencionando el tipo de material, el tipo de ensayo, y la velocidad durante el procedimiento.
- b) Identificación del material ensayado con datos como el tipo, número de identificación, procedencia y forma e historial en el caso de que se conozcan.
- c) Si se utilizan hojas, debe darse información sobre su espesor y la dirección de los ejes principales de las probetas con relación a alguna característica específica de las hojas.
- d) Fecha de la medición.
- e) Forma y dimensiones de las probetas utilizadas, debe anotarse si las probetas no cumplen la tolerancia del espesor del apartado “Procedimiento operatorio”.
- f) El método de preparación de las probetas.
- g) Acondicionamiento y condiciones de ensayo.
- h) Número de probetas ensayadas.
- i) Longitud nominal de la distancia entre apoyos.
- j) Grado de exactitud de la maquinaria utilizada.

- k) Cara de contacto de la probeta con las piezas de carga.
- l) En el caso de usar algún material de amortiguación, se debe especificar el tipo y su espesor.
- m) Ecuaciones utilizadas.
- n) Resultados obtenidos.
- o) Mediciones individuales, incluyendo en el caso de ser necesario, los esfuerzos y los diagramas de deformación.
- p) Tipo de fallo acontecido.
- q) Desviación típica e intervalos de confianza al 95% sobre los valores medios.

5. Ensayo de cizalla interlaminar según la ISO 14130

5.1 Principio del método y definiciones

La base de este ensayo es la aplicación de un esfuerzo de flexión simple a una probeta con forma rectangular buscando la rotura por cizalla interlaminar, para la realización de este ensayo se situará la probeta entre dos apoyos y se aplicará el esfuerzo en el punto medio de la misma.

Las variables de las que depende este proceso son las siguientes:

- Esfuerzo de cizalla interlaminar aparente τ (MPa): Se aplica en el plano medio de la probeta.
- Resistencia a la cizalla interlaminar aparente τ_M (MPa): Valor de la cizalla interlaminar en la rotura o en la carga máxima programada.
- Separación entre los apoyos L (mm): Distancia entre los apoyos durante el ensayo.
- Ejes de coordenadas de las probetas: Son los definidos en la siguiente imagen, correspondiéndose la dirección “1” a la paralela a las fibras y la dirección “2” a la dirección perpendicular a las mismas.

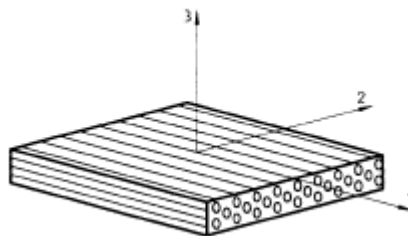


Ilustración 9: Direcciones de referencia (principales) ensayo cizalla

5.2 Máquinas de ensayo

5.2.1 Generalidades

Las máquinas de ensayo utilizadas deben cumplir las especificaciones de la norma ISO 5893 además de cumplir las especificaciones de los siguientes apartados.

5.2.2 Velocidad de ensayo

La velocidad de ensayo debe mantenerse constante y seguir las especificaciones de la norma ISO 5893 y las pautas descritas en la normativa de LR.

5.2.3 Indicador de carga

Debe utilizarse un indicador de carga cuyo error no sea superior al 1% de la escala total, según lo definido en la norma 5893.

5.2.4 Instrumental de carga y apoyos

La anchura del instrumento de carga y del elemento de apoyo debe ser superior a la de la probeta de ensayo. La carga debe aplicarse en el punto medio de la probeta que a su vez debe situarse en el punto medio entre los apoyos. La configuración de la colocación de la probeta con respecto a los elementos de apoyo y el instrumental de carga es la siguiente:

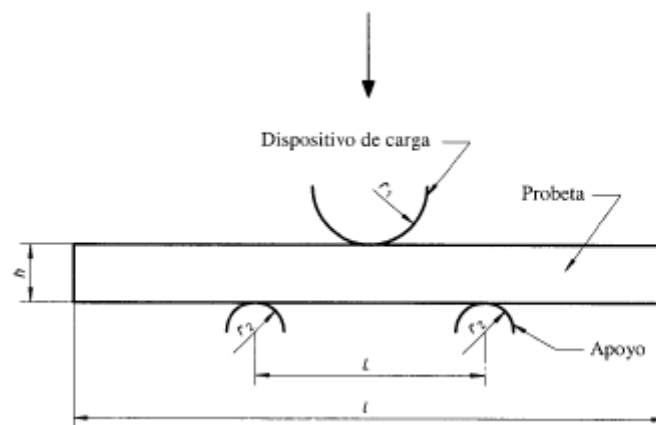


Ilustración 10: Disposición elemento de carga y apoyos ensayo cizalla

Donde las magnitudes radiales representadas deben oscilar entre los siguientes valores:

Radios	Valor (mm)
r_1	$5 \pm 0,2$
r_2	$2 \pm 0,2$

Tabla 8: Valores estándar elementos de carga y apoyo

5.2.5 Micrómetro

Debe utilizarse un micrómetro o cualquier aparato equivalente que proporcione una exactitud de 0,01 mm y que permita obtener las dimensiones transversales de la probeta (anchura b y espesor h).

El aparato en cuestión debe tener las caras de contacto adecuadas en función del tipo de superficie a medir (caras planas para superficies planas, redondeadas para superficies irregulares, etc.).

5.3 Probetas

5.3.1 Formas y dimensiones

Las probetas a utilizar deben ser rectangulares y seguir las siguientes dimensiones:

- Longitud l (mm): 20 ± 1
- Anchura b (mm): $10 \pm 0,2$
- Espesor h (mm): $2 \pm 0,2$

En el caso en el que no sea posible utilizar probetas de estas dimensiones, deben seguirse las siguientes pautas.

Debe seguirse una proporción entre la longitud de la probeta y su espesor, dicha proporción es la siguiente:

$$l = 10h$$

En cuanto a la anchura también debe seguirse una determinada proporción la cual debe cumplir:

$$b = 5h$$

Es importante escoger probetas cuyo espesor permita la rotura por cizalla y no por compresión.

5.3.2 Preparación de las probetas

Las probetas deben realizarse según las especificaciones de la norma ISO 1268 en el caso de utilizar piezas toscas u hojas obtenidas a partir de moldeo. También puede ser revisada la norma ISO 2818 para obtener cierta información sobre el mecanizado de probetas.

5.3.3 Control de las probetas

Debe asegurarse que las probetas son completamente planas y que no poseen ningún tipo de alabeo, además de poseer bordes libres de muescas y desperfectos. El espesor en toda la longitud de la probeta no debe desviarse en ningún punto de un valor, ya sea al alza o a la baja, del 5%. La anchura debe mantenerse constante sin una desviación superior a 0,2 mm.

Cualquier probeta que no cumpla los requisitos citados anteriormente debe ser rechazada y remplazada por otra probeta elegida de manera aleatoria.

5.4 Número de probetas

Debe someterse a ensayo como mínimo 5 probetas, sin embargo, en el caso de requerir mayor precisión, puede ensayarse un número superior de las mismas. Si se da el caso en el que la orientación y distribución de las fibras no difiera en gran medida de las direcciones principales, deben realizarse ensayos en ambas direcciones. En el caso de existir una dirección preferente, los ensayos deben realizarse siguiendo dicha dirección.

5.5 Acondicionamiento

Deben seguirse las condiciones de acondicionamiento pactadas por las partes involucradas en los ensayos y la validación del producto, en el caso de no existir dichas condiciones, deben seguirse las especificaciones expuestas en la norma ISO 291 si no se acuerdan otras medidas.

5.6 Procedimiento operatorio

5.6.1 Atmosfera de ensayo

Se utilizará si no se especifica otra cosa, la atmosfera utilizada durante el acondicionamiento.

5.6.2 Medición de las dimensiones de las probetas

En primera instancia se debe localizar el punto medio de la probeta para pasar después a la medición de la anchura con un margen de 0,02 mm y el espesor con un margen de 0,05 mm.

5.6.3 Separación entre los apoyos

Debe escogerse una distancia entre apoyos que cumpla la relación $L = 5h \pm 0,03$ (mm) con h el espesor medio del grupo de probetas. Puede ser necesaria una separación más pequeña para determinados materiales.⁷

5.6.4 Velocidad de ensayo

Siempre que sea posible, dicha magnitud debe ser la especificada en la norma del material a ensayar. En nuestro caso debe utilizarse la velocidad de ensayo sugerida por LR.

5.6.5 Realización del ensayo

Debe situarse la probeta en los apoyos con una cara no mecanizada en contacto con los mismos, una vez colocada se aplica una fuerza uniforme a toda la probeta por el contacto del instrumento de carga con el punto medio de la probeta. Debe registrarse la fuerza aplicada en todo momento durante el ensayo.

5.6.6 Tipos de rotura

Podemos agruparlas en función de si finales aceptables del experimento o si no lo son.

Aceptable	No aceptable
Cizalla simple, cizalla múltiple	Rotura mixta (cizalla-tracción, cizalla compresión, etc.)
	Rotura sin cizalla (tracción, compresión)
	Cizalla plástica

Tabla 9: Tipos de rotura ensayo cizalla

5.7 Cálculos y expresión de los resultados

Para el cálculo de la resistencia aparente utilizaremos la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{3}{4} * \frac{F}{bh}$$

Siendo respectivamente:

- τ es la resistencia interlaminar aparente.
- F es la fuerza de rotura o máxima.
- b es la anchura de la probeta, en milímetros.
- h es el espesor de la probeta, en milímetros.

Durante el análisis de los resultados debe calcularse la media de las medidas y la desviación típica en el caso de que se especifique. Ambas medidas deben calcularse conforme lo descrito en la norma ISO 2602, utilizando al menos tres cifras significativas en cálculos y resultados.

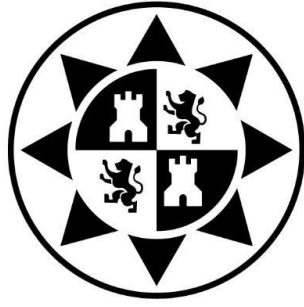
5.8 Precisión

La precisión de este método no está validada a la fecha de la redacción de este documento por falta de estudios interlaboratorio.

5.9 Informe del ensayo

La información que debe contener el informe sobre este ensayo es la siguiente.

- a) Referencia a la norma y velocidad del ensayo.
- b) Detalles necesarios para la identificación del material, como por ejemplo el tipo, origen o número de código del fabricante.
- c) Grado de exactitud de la maquinaria utilizada para el desarrollo de los ensayos.
- d) Radio de los apoyos y de la herramienta para la aplicación de la carga.
- e) Información sobre la fabricación de la probeta (si es de tipo A o B y si se orienta en la dirección 1 o 2).
- f) Dimensiones de las probetas utilizadas y el número de ellas utilizado.
- g) Condiciones de acondicionamiento.
- h) Condiciones de ensayo como por ejemplo la distancia entre apoyos utilizada o superficie de contacto de la probeta con la herramienta.
- i) Para el caso en el que se haya producido la rotura por cizalla interlaminar, debe indicarse si la rotura se ha producido por rotura simple o múltiple, además de incluir los valores individuales de las medidas de cizalla, la media aritmética de los mismos y en el caso en el que se requiera, la desviación típica de las medidas obtenidas.
- j) En el caso de que la rotura no se produzca por el fenómeno de cizalla interlaminar, debe indicarse el tipo de rotura, indicándose de manera clara que los valores obtenidos durante el ensayo no hacen referencia al fenómeno de cizalla interlaminar añadiendo también los valores individuales, la media aritmética y en el caso de que se requiera, la desviación típica.
- k) Por último debe añadirse la fecha de ensayo e información sobre cualquier otra prueba realizada durante el ensayo que no esté especificada en esta norma.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Parte III

Representación de los ensayos realizados,
cálculos y conclusiones.

Alumno: Víctor Fernando Pérez Peñarrubia

Director: Isidoro J. Martínez Mateo

Codirector: Joaquín Arias Pardilla

Titulación: Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Departamento: Ingeniería de Materiales y Fabricación

Fecha: abril de 2020

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Ensayo de contenido en fibra	3
3. Ensayo de tracción.....	5
4. Ensayo de flexión	9
5. Ensayo de cizalla interlaminar.....	15
6. Conclusión.....	18
7. Bibliografía.....	20

Índice de gráficas

Grafica 1: Ensayo tracción probeta 1	6
Grafica 2: Ensayo tracción probeta 2	6
Grafica 3: Ensayo tracción probeta 3	7
Grafica 4: Ensayo tracción probeta 4	7
Grafica 5: Ensayo tracción probeta 5	8
Grafica 6: Ensayo flexión probeta 1	10
Grafica 7: Ensayo flexión probeta 2	10
Grafica 8: Ensayo flexión probeta 3	11
Grafica 9: Ensayo flexión probeta 4	11
Grafica 10: Ensayo flexión probeta 5	12
Grafica 11: Ensayo flexión probeta 6	12
Grafica 12: Ensayo flexión probeta 7	13
Grafica 13: Ensayo flexión probeta 8	13
Grafica 14: Ensayo flexión probeta 9	14
Grafica 15: Ensayo cizalla probeta 1.....	16
Grafica 16: Ensayo cizalla probeta 2.....	16
Grafica 17: Ensayo cizalla probeta 3	16
Grafica 18: Ensayo cizalla probeta 4.....	17
Grafica 19: Ensayo cizalla probeta 5	17

Índice de tablas

Tabla 1: Dimensiones probetas ensayo fibras	3
Tabla 2: Resultados ensayo fibras	4
Tabla 3: Dimensiones probetas ensayo tracción.....	5
Tabla 4: Resultados ensayo tracción	5
Tabla 5: Comparación resultados/requisitos LR	8
Tabla 6: Dimensiones probetas ensayo flexión	9
Tabla 7: Resultados ensayo flexión	9
Tabla 8 Comparación resultados/requisitos LR flexión	14
Tabla 9: Dimensiones probetas ensayo cizalla	15
Tabla 10: Resultados ensayo cizalla interlaminar	15
Tabla 11: Comparativa resultados/requisitos LR cizalla interlaminar	17

1. Introducción

En el presente apartado se muestran resumidos los datos obtenidos de los ensayos de contenido en fibra, tracción, flexión y cizalla interlaminar, así como los resultados de la aplicación de las ecuaciones expuestas en las normas ISO anteriormente mencionadas.

Los datos obtenidos sólo nos permiten obtener únicamente los resultados necesarios para la validación del proceso según los estándares de LR por lo que algunos de los cálculos anteriormente especificados, como por ejemplo el coeficiente de Poisson, no serán realizados en los siguientes apartados.

Para evitar extensiones innecesarias, la expresión de los datos se realizará a modo de gráficas, expresando valores característicos de cada uno de los ensayos tales como las fuerzas máximas aplicadas, así como las deformaciones máximas ya sean de forma adimensional o en tanto por ciento.

Sin embargo, a la hora de aplicarse en la industria este procedimiento, debe añadirse en la documentación pertinente todos los datos obtenidos en los ensayos.

Debe tenerse en cuenta que solo serán modelos de ejemplo y que la empresa podrá o deberá realizar cualquier otro tipo de informe con la aprobación de LR.

El orden de presentación de los cálculos y de los resultados expuestos en este trabajo será el siguiente:

- Ensayo del contenido en fibra para todas las probetas a ensayar.
- Ensayo de tracción, ensayos y resultados.
- Ensayo de flexión, ensayos y resultados.
- Ensayo de cizalla interlaminar, ensayos y resultados.

2. Ensayo de contenido en fibra

Para el ensayo de contenido en fibra se seleccionaron 6 probetas que dos a dos compartían las siguientes dimensiones (en mm):

PROBETAS ENSAYO FIBRAS			
PROBETA	b	h	L
Grupo 1	19,97	20,14	4,24
Grupo 2	20,19	20,16	4,25
Grupo 3	19,98	20,05	4,38

Tabla 1: Dimensiones probetas ensayo fibras

Para dichas probetas se realizaron las mediciones descritas en la norma ISO 1172 antes mencionada obteniendo las siguientes medidas de masa (en gramos):

FRACCIÓN DE FIBRA					
	N ^a ensayo	m1	m2	m3	M fibra vidrio(%)
Grupo 1	Ensayo 1	32,78	35,45	34,11	49,99
	Ensayo 2	32,81	35,55	34,13	48,12
Grupo 2	Ensayo 3	34,73	37,342	35,90	44,71
	Ensayo 4	34,73	37,3713	35,96	46,50
Grupo 3	Ensayo 5	32,80	35,396	34,06	47,91
	Ensayo 6	32,82	35,4701	34,08	47,69
Media					47,49
Desv. máx. (%)					1,8

Tabla 2: Resultados ensayo fibras

Los resultados de fibra de vidrio se corresponden con la formula descrita en la norma citada anteriormente en este documento, la cual es:

$$M_{f,vidrio} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100$$

Estos resultados cumplen con lo especificado según la Lloyd's Register de que el material a ensayar debe tener un contenido en fibra igual o superior al 30% por lo que el material ensayado cumple los criterios de calidad en este sentido.

Sin embargo, observamos que se presentan dos valores que se saldrían del rango proporcionado por la media y su desviación, que son el de 44,71 y 49,99 por lo que, a pesar de que los datos dejan ver un porcentaje de fibra mayor que el mínimo, si queremos mayor precisión deberíamos repetir las pruebas.

3. Ensayo de tracción

Durante el ensayo de tracción se prueban 5 probetas cuyas dimensiones han sido calculadas por un método similar al del ensayo de contenido en fibra.

La longitud inicial de todas las probetas es la misma y es de 30 mm mientras que las dimensiones transversales son las siguientes:

Dimensiones	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
Anchura (mm)	25,08	25,23	25	24,96	25,17
Espesor (mm)	7,13	7,51	8,14	8,26	7,78

Tabla 3: Dimensiones probetas ensayo tracción

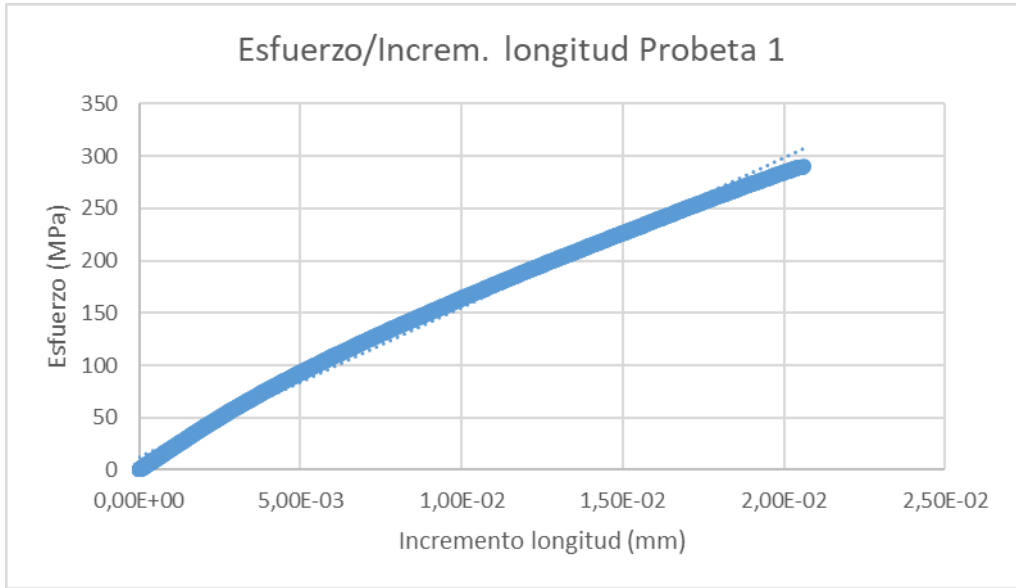
Podemos observar que todos los valores entran en los rangos de que la anchura debe ser de $25 \pm 0,5$ mm y que el espesor esta entre 2 y 10 mm.

Los resultados en cada uno de los ensayos, tabulados, son los siguientes:

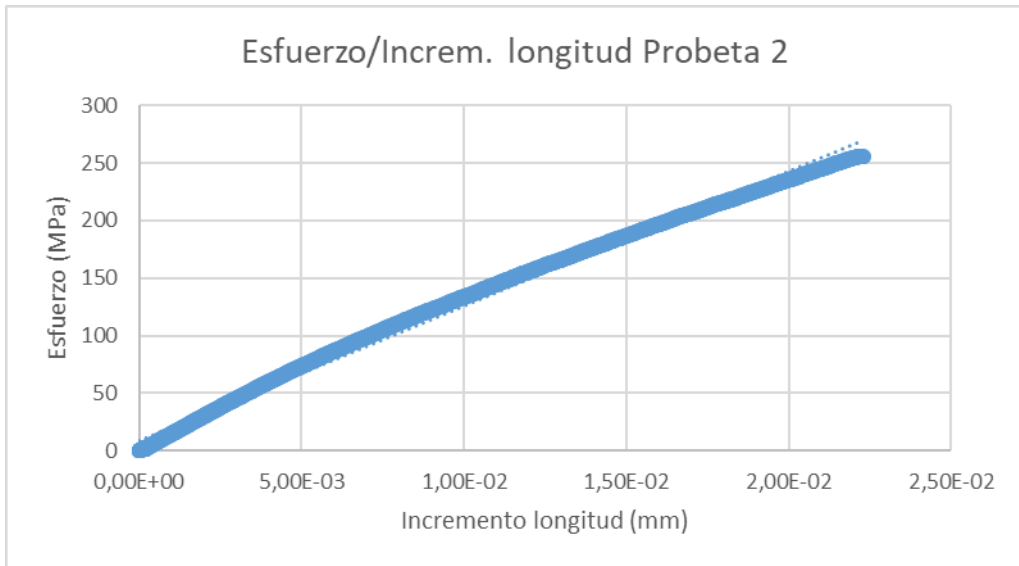
Ensayo tracción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Media	Desviación típica
Resistencia Máxima (MPa)	289,61	255,72	244,19	230,65	214,51	252	23
Deformación a la rotura (adim)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,020	0,002
Fuerza Máxima (kN)	51,79	48,45	49,69	45,49	42,01	47	3
Sección (mm ²)	178,82	189,48	203,50	206,17	195,82	195	10
Módulo elástico (GPa)	19,84	15,42	14,88	15,57	15,92	16	2
Número de medidas tomadas	2073	1937	2008	1750	1641	1882	181

Tabla 4: Resultados ensayo tracción

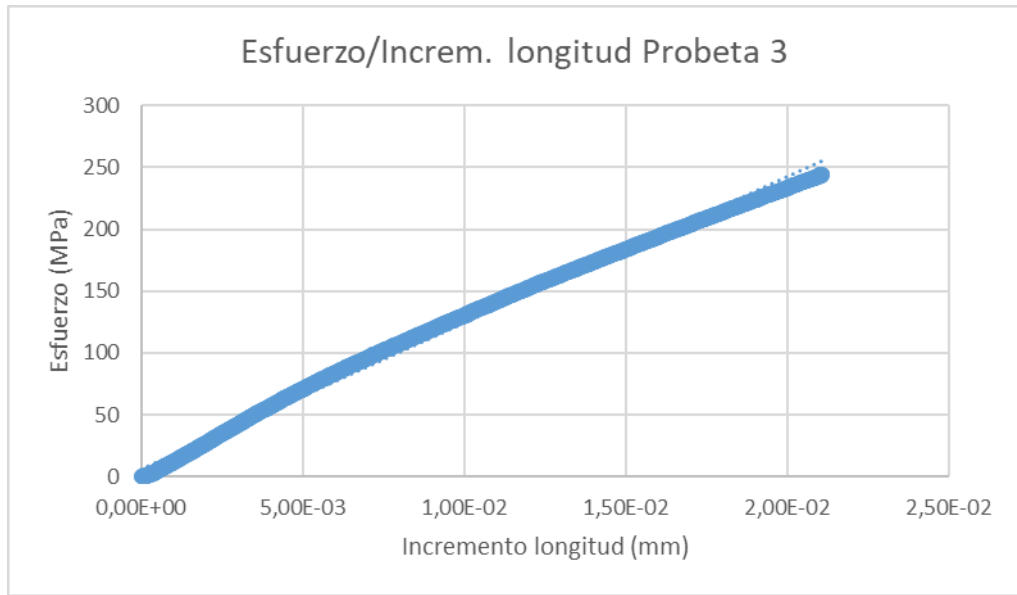
A modo de resumen de los datos obtenidos, al ser demasiados, se muestran a través de unas graficas de relación esfuerzo/incremento de longitud para demostrar que los datos siguen una tendencia muy cercana a la lineal.



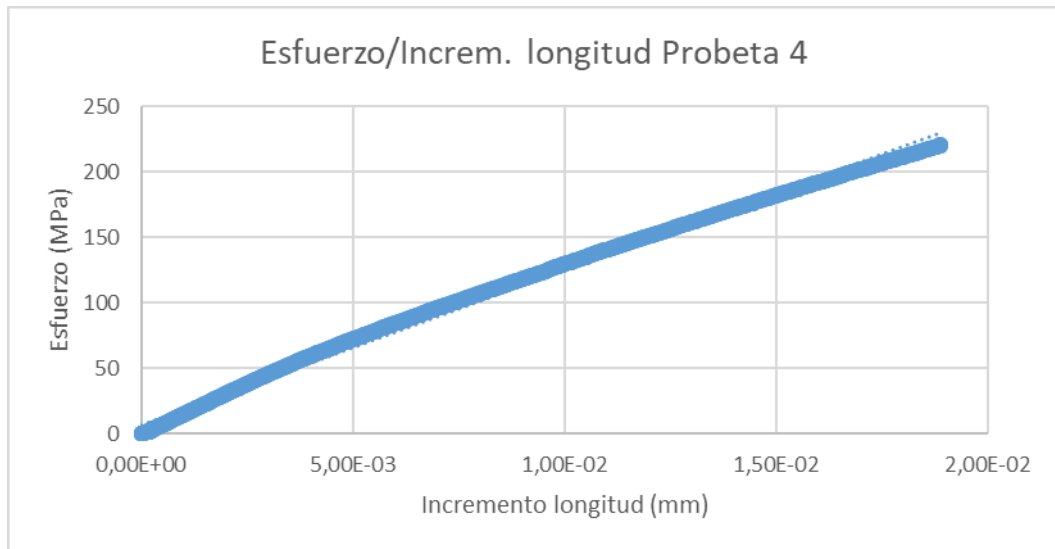
Grafica 1: Ensayo tracción probeta 1



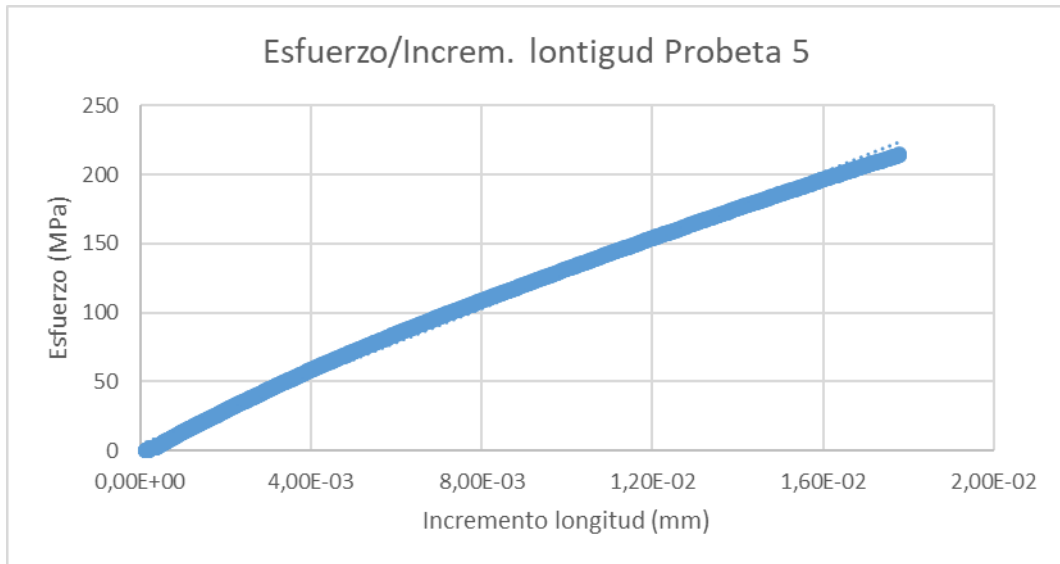
Grafica 2: Ensayo tracción probeta 2



Grafica 3: Ensayo tracción probeta 3



Grafica 4: Ensayo tracción probeta 4



Grafica 5: Ensayo tracción probeta 5

El objetivo final es comprobar los datos obtenidos con las condiciones expuestas por LR para el aseguramiento de la calidad, en nuestro caso observamos lo siguiente:

Comparativa Ensayo Tracción	Requisitos mínimos de LR	Valores obtenidos
Resistencia Máxima (MPa)	90	252 ± 23
Módulo de elasticidad (GPa)	6,9	16 ± 2

Tabla 5: Comparación resultados/requisitos LR

Como podemos observar los valores obtenidos en los ensayos superan con creces los valores mínimos establecidos por LR por lo que en términos de resultados se cumple la calidad del material ensayado.

En cuanto a la correlación tracción compresión, en la inmensa mayoría de casos se aproximan los resultados del ensayo de tracción a los resultados de compresión por lo que al superar con creces los resultados mínimos exigidos por LR, podremos afirmar que también se cumple este criterio de compresión.

4. Ensayo de flexión

En cuanto al ensayo de flexión, se realiza el ensayo de 9 probetas donde la distancia entre apoyos es de 64 mm por lo que atendiendo a los tipos de probetas descritos observamos que se tratan de probetas de Clase I con apoyo de tres puntos.

En cuanto a las dimensiones transversales observamos que son las siguientes:

Probetas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anchura(mm)	10,17	9,98	10,06	10,04	9,83	10,1	10,02	10,09	9,84
Espesor(mm)	4,35	4,32	4,32	4,46	4,33	4,4	4,22	4,28	4,29

Tabla 6: Dimensiones probetas ensayo flexión

Observamos que las medidas, de anchura media 10,01 mm y espesor medio 4,33 mm difieren bastante de las recomendadas por LR para este tipo de ensayo, que serían de 15 mm para la anchura y 4 mm para el espesor, por lo que en este sentido no se siguen las recomendaciones y podría suponer un fallo en la homologación del proceso.

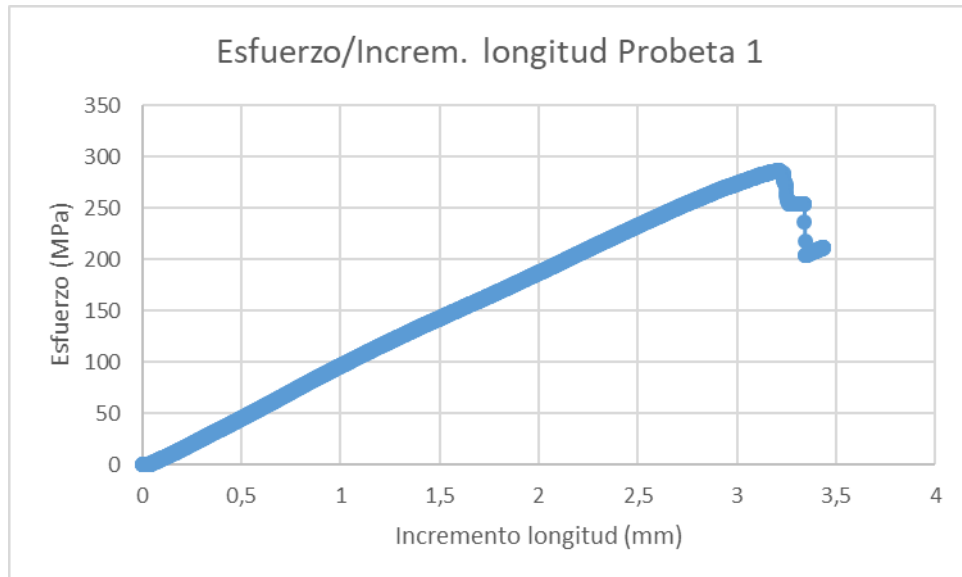
En cuanto a los resultados de los ensayos, son los siguientes:

Ensayo de flexión	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Resistencia máxima (MPa)	286,84	414,93	257,2	349,94	366,01
Flecha máxima (mm)	5,04	6,78	4,12	5,93	6,24
Fuerza máxima (N)	575	805	503	728	702,68
Sección (mm²)	44,24	43,11	43,46	44,78	42,56
Modulo elástico (GPa)	9,43	9,70	10,11	11,22	10,00
Número de medidas	2537	3272	2396	2898	3043

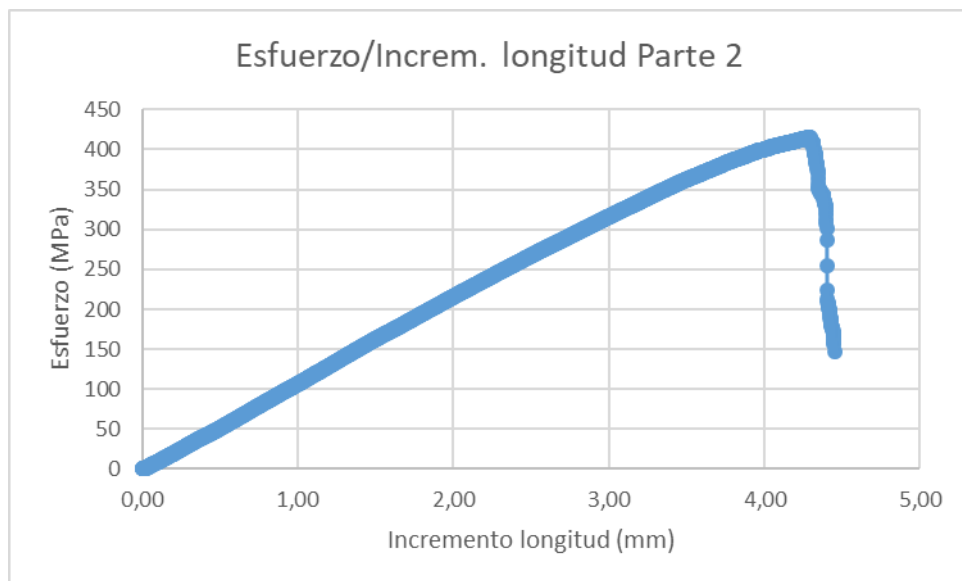
Ensayo 6	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9	Media	Desv. típica
333,69	332,12	267,66	307,46	324	50
5,878	6,629	5,782	7,117	6	1
679,667	617,333	515,334	580	634	102
44,44	42,2844	43,1852	42,2136	43	1
9,331	8,712	7,741	9,21	10	1
3146	3092	2763	3323	2941	321

Tabla 7: Resultados ensayo flexión

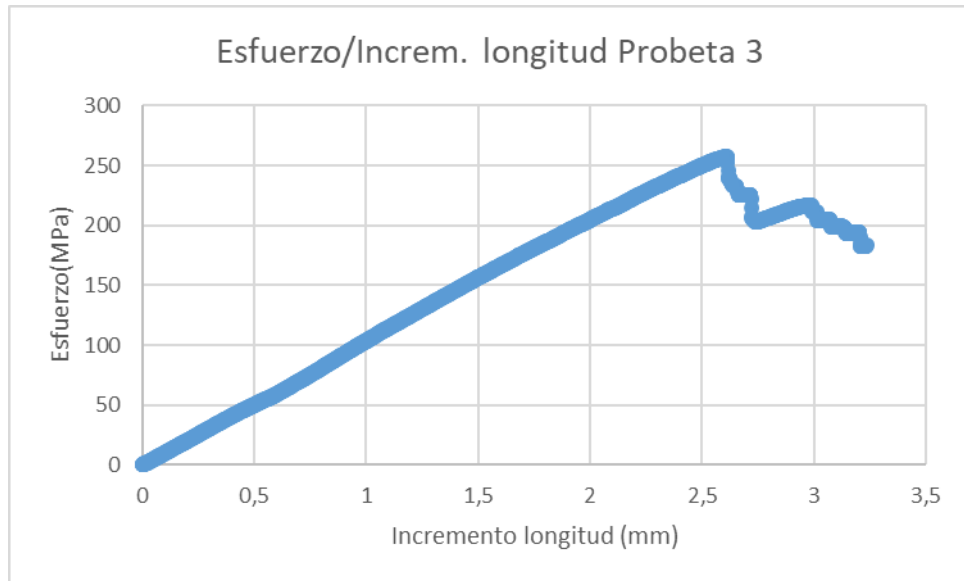
Al igual que en el ensayo anterior, resumimos los resultados que nos han permitido obtener los datos anteriores a través de la representación gráfica de la relación esfuerzo/incremento de longitud durante los diferentes ensayos.



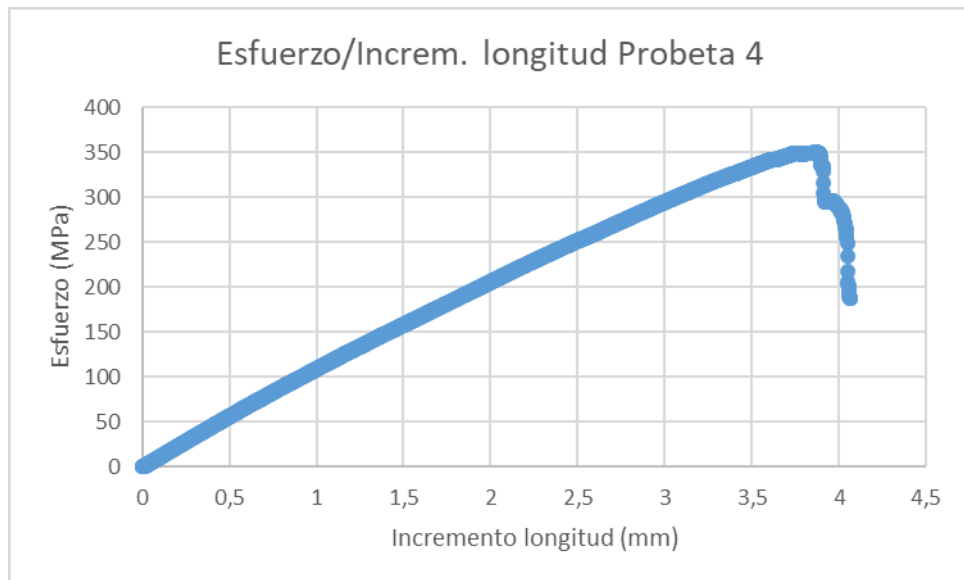
Grafica 6: Ensayo flexión probeta 1



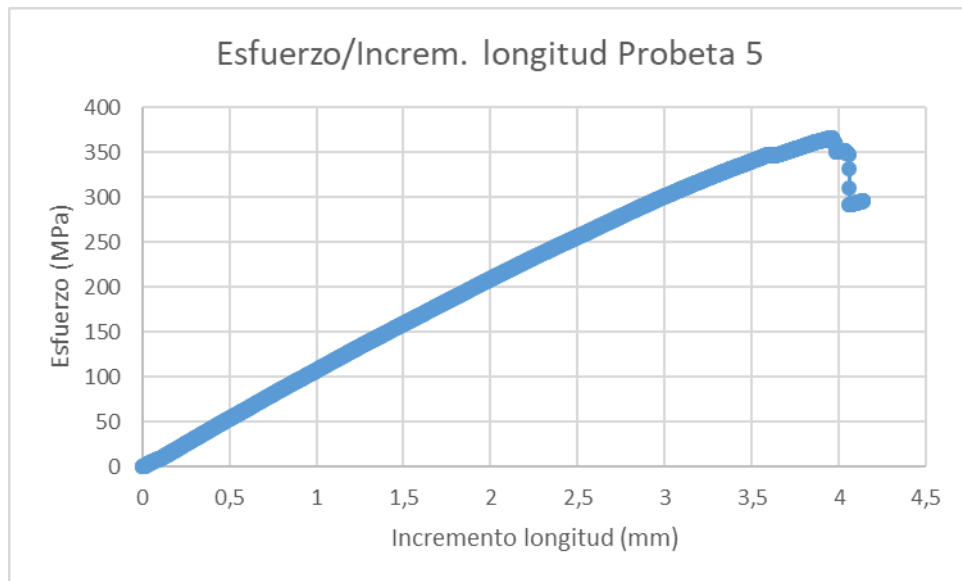
Grafica 7: Ensayo flexión probeta 2



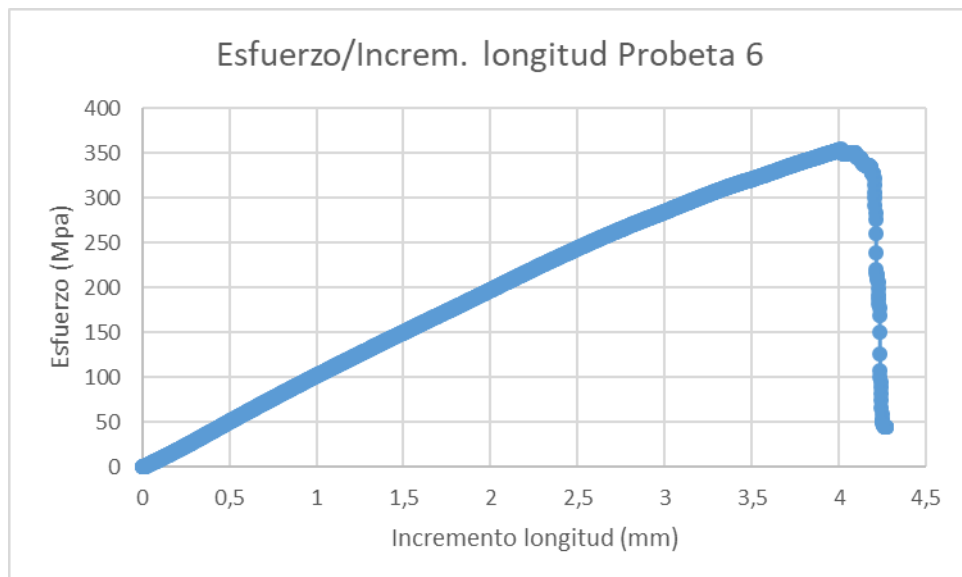
Grafica 8: Ensayo flexión probeta 3



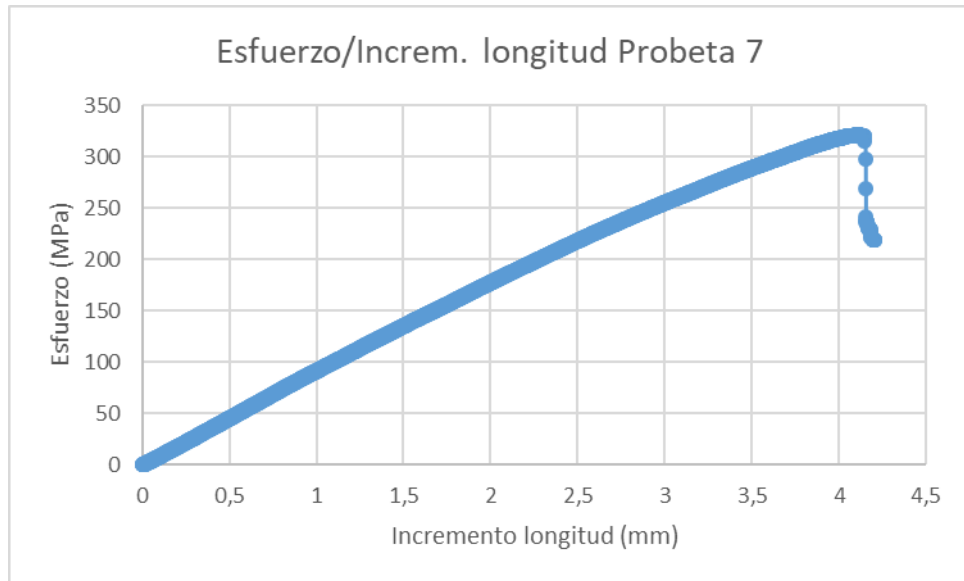
Grafica 9: Ensayo flexión probeta 4



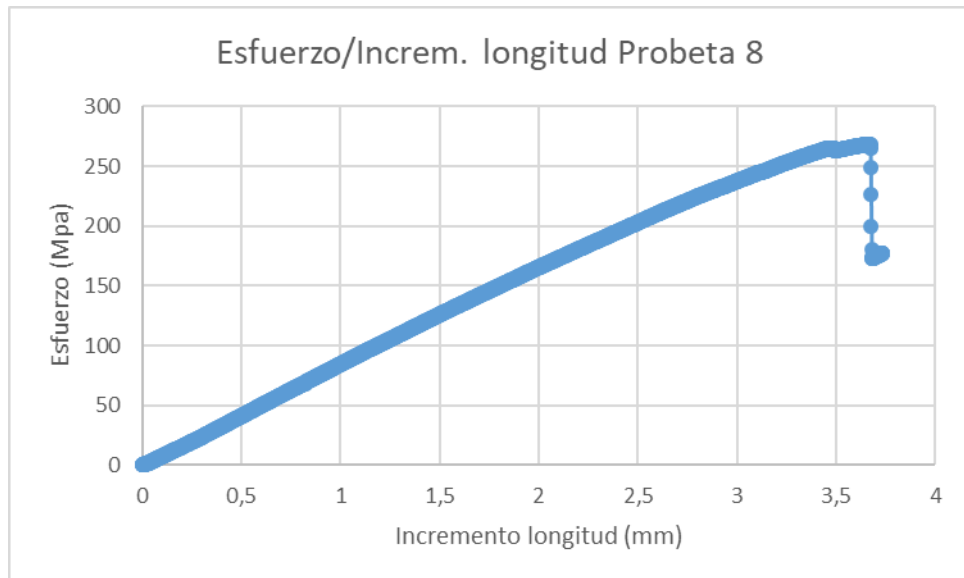
Grafica 10: Ensayo flexión probeta 5



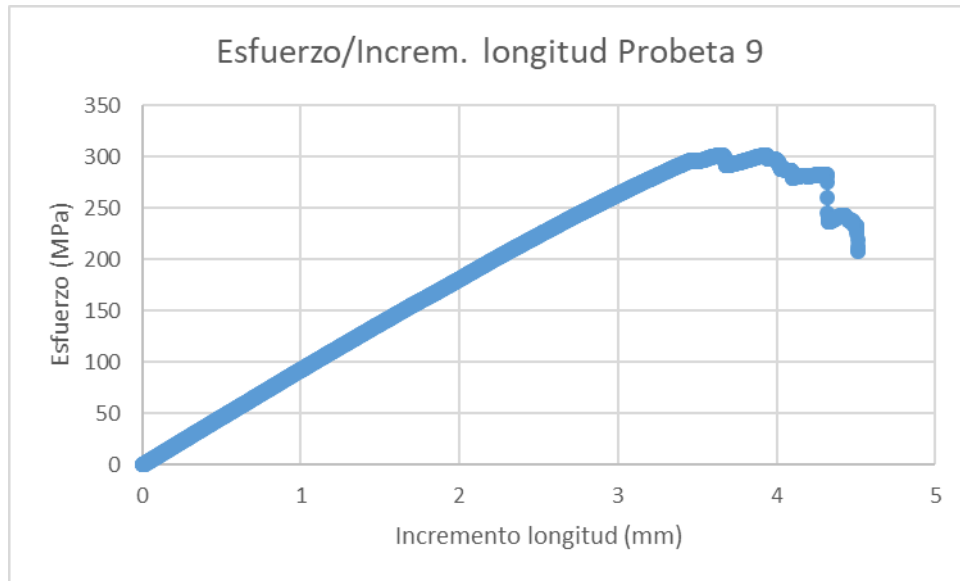
Grafica 11: Ensayo flexión probeta 6



Grafica 12: Ensayo flexión probeta 7



Grafica 13: Ensayo flexión probeta 8



Grafica 14: Ensayo flexión probeta 9

En cuanto a la comparativa de resultados obtenidos con los requisitos mínimos de LR observamos lo siguiente:

Comparativa Ensayo Flexión	Requisitos mínimos de LR	Valores obtenidos
Resistencia Máxima (MPa)	160	324 ± 50
Módulo de elasticidad (GPa)	5,7	10 ± 1

Tabla 8 Comparación resultados/requisitos LR flexión

Observamos que, para los ensayos tal y como están realizados, con las variaciones en las dimensiones de las probetas antes mencionadas si se cumplen los criterios mínimos de LR para el aseguramiento de la calidad, sin embargo, debería consultarse en este caso la validez del procedimiento con un inspector de LR por si se pueden validar los resultados o si se deben realizar otros nuevos siguiendo las directrices del protocolo de aseguramiento de la calidad.

5. Ensayo de cizalla interlaminar

Para el ensayo de cizalla interlaminar, siguiendo las directrices expuestas en la norma ISO 14130, se ensayan 5 probetas con las siguientes dimensiones:

Probetas	1	2	3	4	5
Anchura(mm)	10,03	10,24	10,25	10,03	10,31
Espesor(mm)	1,97	2,05	2,04	2,00	1,94

Tabla 9: Dimensiones probetas ensayo cizalla

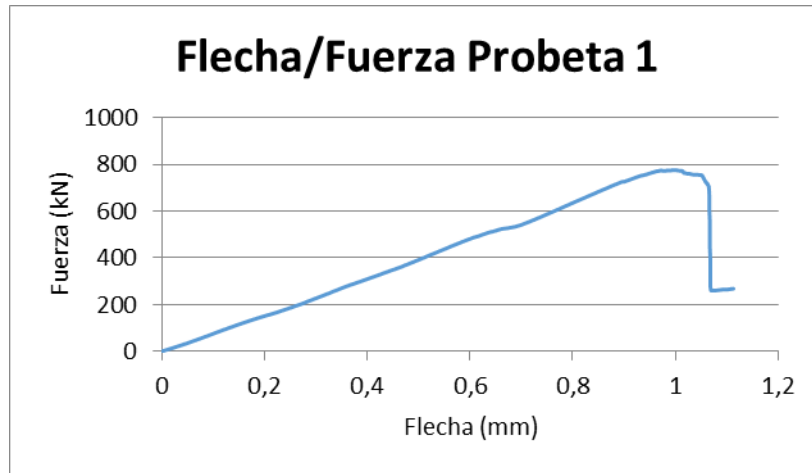
Observamos que el espesor si entra dentro de los rangos descritos por la norma, es decir, se mantiene en unas medidas de $2 \pm 0,2$ mm, sin embargo, en el caso de la anchura observamos que varias de las medidas se sitúan fuera del rango de $10 \pm 0,2$ mm, por lo que para la validación de los posteriores cálculos debería realizarse una consulta con los inspectores de LR por si es necesario el descarte de los ensayos realizados y deben realizarse unos nuevos ensayos.

En cuanto a los resultados, observamos los siguientes valores:

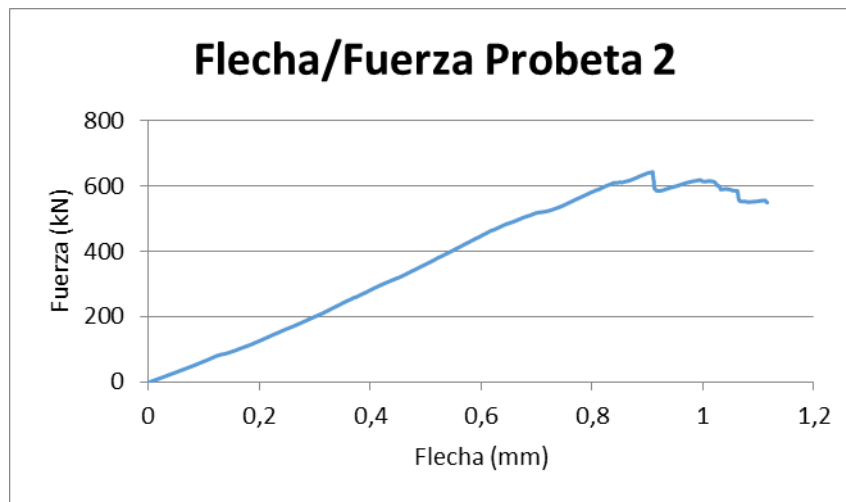
Ensayo tracción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Media	Desv. Típica
Flecha Máxima (mm)	1,11	1,12	1,48	1,15	1,50	1,3	0,2
Fuerza Máxima (kN)	777,33	644,00	653,33	609,33	622,67	661	67
Sección (mm²)	19,76	20,99	20,91	20,06	20,00	20	0,6
Resistencia aparente (MPa)	29,51	23,01	23,43	22,78	23,35	24	3
Numero de medidas	3218	3227	4237	3331	4350	3673	570

Tabla 10: Resultados ensayo cizalla interlaminar

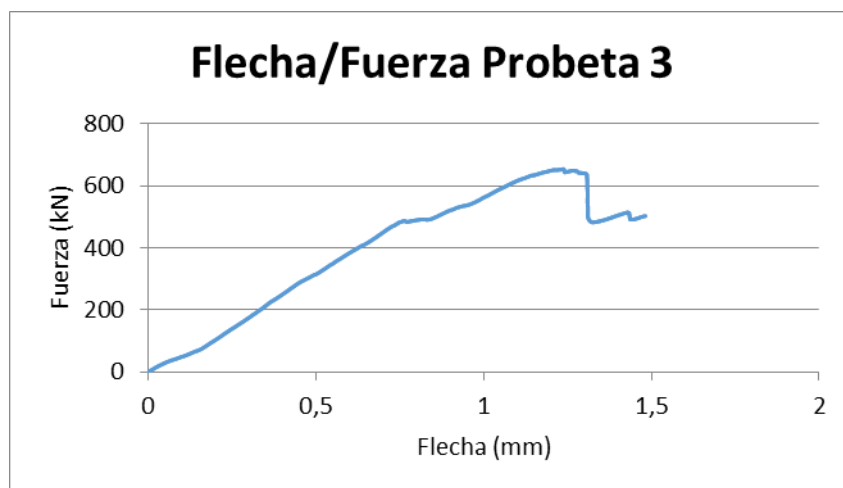
Al igual que en el resto de ensayos en este documento, se expresarán los datos en gráficas para la simplificación de la expresión de los resultados, sin embargo, en el caso del ensayo de cizalla interlaminar, utilizaremos las gráficas que relacionan la flecha con la fuerza aplicada, las gráficas obtenidas son las siguientes:



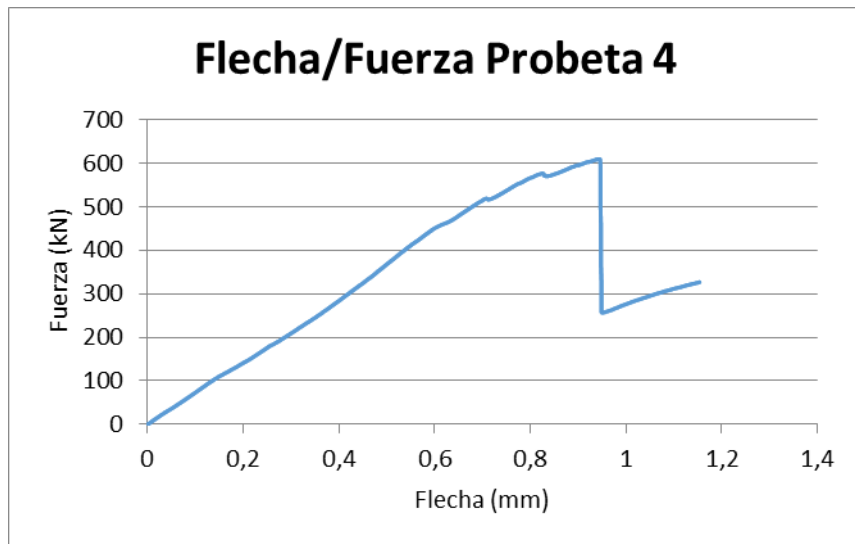
Grafica 15: Ensayo cizalla probeta 1



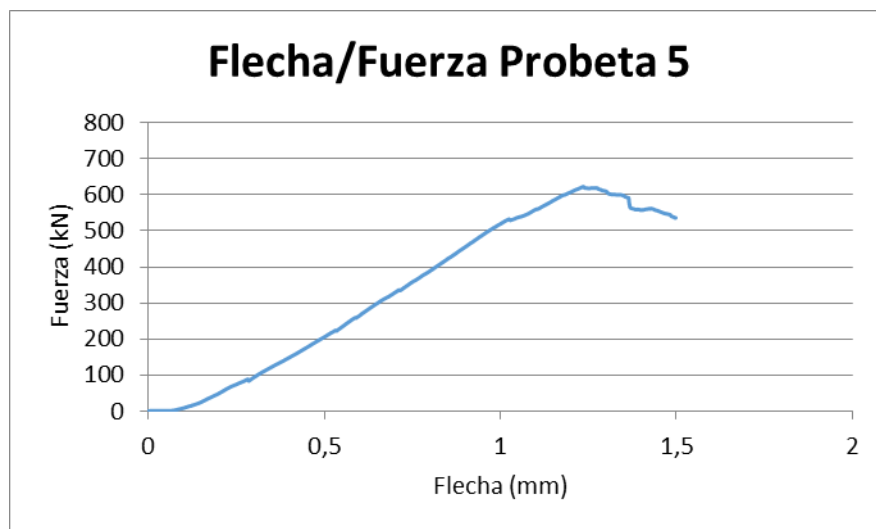
Grafica 16: Ensayo cizalla probeta 2



Grafica 17: Ensayo cizalla probeta 3



Grafica 18: Ensayo cizalla probeta 4



Grafica 19: Ensayo cizalla probeta 5

La presentación de las rectas de ajuste son un añadido para observar la tendencia lineal de todos los datos recogidos, en cuanto a los resultados obtenidos, debemos compararlos con los mínimos especificados por LR, la comparativa es la siguiente:

Comparativa Ensayo Cizalla	Requisitos mínimos de LR	Valores obtenidos
Resistencia aparente (MPa)	18	24 ± 3

Tabla 11: Comparativa resultados/requisitos LR cizalla interlaminar

Observamos que se cumplen los requisitos mínimos por lo que en términos de resultados este procedimiento si es válido, lo único es volver a mencionar que debe consultarse la validez del

método por las pequeñas diferencias en los valores de anchura de las probetas, que se salen de los rangos establecidos por la norma internacional.

6. Conclusión

Como sea obtenido, los ensayos propuestos por la normativa de la Lloyd's Register, recogidos en las normas ISO permiten caracterizar de manera bastante exacta las propiedades que deben tener los lotes de poliéster con fibra de vidrio utilizados en la fabricación de naves de pesca y recreo.

En el trabajo desarrollado solo se han realizado las pruebas al material final y no al material base según lo especificado en la norma de LR por lo que es importante que se contrasten con la empresa proveedora del material que se cumplen todas y cada una de las especificaciones expuestas en los resultados de las pruebas recogidas en las normas ISO descritas para el poliéster.

Las pruebas realizadas sobre las probetas de material reforzado recogen resultados de las pruebas de tracción, flexión y cizalla interlaminar, siendo estas las principales pruebas mecánicas a realizar en el material para la obtención de la validación según LR.

Se obtiene también el contenido en fibra del material compuesto para conocer el grado de integración del material de refuerzo en el poliéster.

Es importante tener en cuenta que para el desarrollo del procedimiento numérico se ha hecho uso de los datos proporcionados por una empresa privada en los cuales no ha estado presente el autor de este trabajo por lo que más allá de los resultados numéricos y las conclusiones obtenidas a través de ellos, no se puede asegurar que los procedimientos en el pretratamiento del material y la obtención de las probetas sigan las indicaciones expuestas en el primer apartado del presente trabajo, las cuales definen los requisitos de la Lloyd's Register para la obtención del certificado de calidad.

Este trabajo es una exposición de las pautas concretas a seguir según la Lloyd's Register en lo referente al uso del poliéster reforzado con fibra de vidrio por lo que para el uso de cualquier

otro material es importante tener en cuenta que varios de los apartados y procedimientos expuestos en el mismo pueden variar, no haciéndolo válido para su uso.

Siendo este trabajo la pauta a seguir, es fundamental mantener un contacto continuado con los inspectores que se designen desde la Lloyd's Register en este tipo de procedimientos para asegurar siempre que se cumplimentan de manera correcta las pautas descritas.

Las posibles discrepancias con los estándares expuestos por LR en cada uno de los ensayos han sido especificadas en los mismos para facilitar la correlación entre los resultados y los posibles fallos de cara a la obtención del certificado de calidad.

7. Bibliografía

- Norma UNE-EN ISO 178:2010. Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión.
- Norma UNE-EN ISO 1172:1996. Plásticos reforzados con fibra textil. Preimpregnados, compuestos de moldeo y laminados. Determinación del contenido en vidrio textil y en carga mineral. Métodos de calcinación.
- Norma UNE-EN ISO 14130:1997. Materiales compuestos plásticos con fibras. Determinación de la resistencia a la cizalla interlaminar aparente por el método del ensayo de flexión con poca separación entre apoyos.
- Norma UNE-EN ISO 527:1997. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción.
- Norma UNE-EN ISO 14125:1998. Compuestos plásticos reforzados con fibras. Determinación de las propiedades de flexión.
- Lloyds Register. Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials. American Bureau of Shipping. Generic Rules for Classification, Materials and Welding and Survey After Construction. Part 2, Rules for Materials and Welding. Julio 2017