

2. Procesado del material y preparación de las muestras

El procesado del material requiere una serie de pasos a seguir, esta serie de pasos viene prescrita por sistemas de calidad. En este sentido el proyecto se ha realizado en las instalaciones de T.E.A.M.S “spin-off” del Grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales de la Universidad de Sevilla. Esta empresa tiene implantado su propio sistema de calidad que impone el procedimiento a ejecutar.

El procedimiento nos marca la forma de organizar los pasos a seguir para la realización del proyecto, así nos indica el proceso de recepción del material, almacenamiento del mismo, procesado para la obtención de las probetas y numeración sistemática e individual de cada probeta para que exista una perfecta trazabilidad en cada uno de los ensayos llevados a cabo.

El proceso consta de los siguientes pasos:

- Recepción del material y almacenamiento del mismo
- Alta en la base de datos de los ensayos a realizar y la norma a seguir (si no está ya introducida)
- Se realiza la orden de trabajo, en dicha orden se especifica la pauta del ensayo, los procedimientos a seguir para el procesado del material y obtención de las probetas
- Posteriormente se realiza el procesado del material, siguiendo las recomendaciones de la norma para evitar efectos indeseados
- Una vez se tiene la orden de ensayo, las probetas se numeran de forma individual e irrepetible
- Realización del ensayo. Mientras se realiza el ensayo un dispositivo de adquisición de datos va guardando los datos que se quieren medir en el ensayo y se gestiona con un Software, en este caso con el LabView
- Los datos obtenidos son enviados a la base de datos
- Realización del informe que se entregará al cliente

Para una mejor comprensión del sistema de calidad implantado se muestra el siguiente diagrama.

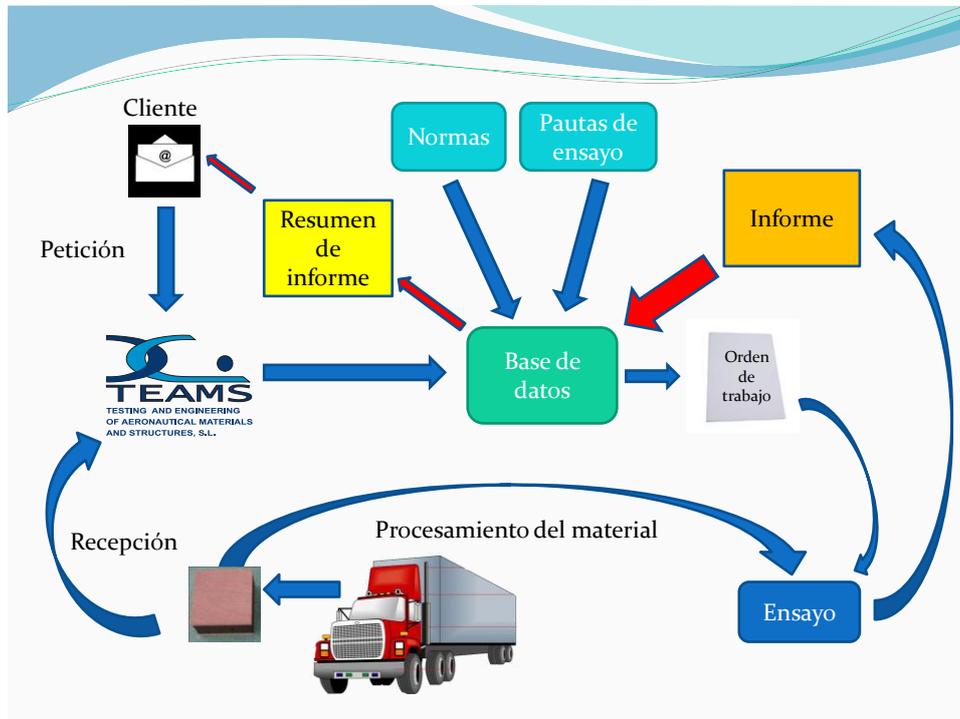


Figura 10. Esquema descriptivo del sistema de calidad de T.E.A.M.S.

2.1. Descripción de los adherentes y de los adhesivos

En este proyecto se han utilizado dos tipos distintos de adherentes y dos tipos distintos de adhesivos. Los dos tipos de adherentes son de fibra de vidrio, pero cambia el orden de apilado y el tipo de prepreg. La fibra de vidrio fue suministrada mediante paneles fabricados en autoclave. Los dos tipos de adherentes son base poliuretano, pero tienen distintos endurecedores y distintas bases. Para diferenciarlos, al primer tipo de fibra de vidrio lo denominaremos fibra "A" y al segundo fibra "B", del mismo modo denominaremos a los adhesivos. El adhesivo tipo "A" se utilizó para encolar la fibra tipo "A", análogamente para el adhesivo tipo "B".

El adherente y el adhesivo tipo "A" se utilizaron para el estudio de la influencia que sobre la resistencia a cortadura simple tienen los siguientes parámetros:

- Efecto de la humedad y la temperatura durante el "Open time"
- Efecto del ciclo de curado
- Efecto del espesor de la capa de adhesivo
- Efecto del vacío durante el curado del adhesivo
- Tiempo transcurrido desde la eliminación del pelable hasta la aplicación del adhesivo

Para el estudio del efecto del agente de desmolde con el que se fabrica el material compuesto y el material que se usa como pelable se utilizó el adhesivo y el adherente tipo "B".

A continuación se procede a describir tanto los adherentes como los adhesivos utilizados en los distintos estudios.

2.1.1. Adherente para el estudio de los primeros cinco parámetros (Tipo “A”)

El adherente tipo “A” es un laminado de fibra de vidrio unidireccional a 0° de ocho capas, más dos capas externas de un pelable. En la tabla de la figura se muestran las especificaciones tanto de el prepreg utilizado para la fabricación del material como del pelable.

Material	Espesor (mm)	Nombre
Prepreg Vidrio/Epoxy Unidireccional 1600 g/m ² 32%	1.16	PP GE UD 1600 32%
Pelable	0.015	Econostitch

Tabla 7. Identificación de los materiales de los adherentes

La configuración del laminado se muestra en la tabla de a continuación.

Ply N°	Type	Fiber Orientation	Ply
1	Peel Ply	--	--
2	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
3	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
4	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
5	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
6	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
7	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
8	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
9	PP GE UD 1600 32%	0°	0°
10	Peel Ply	---	

Tabla 8. Orden de apilado del laminado

El material se suministrará mediante paneles de (410 x 410) mm, en la siguiente figura se muestra un esquema de los materiales.

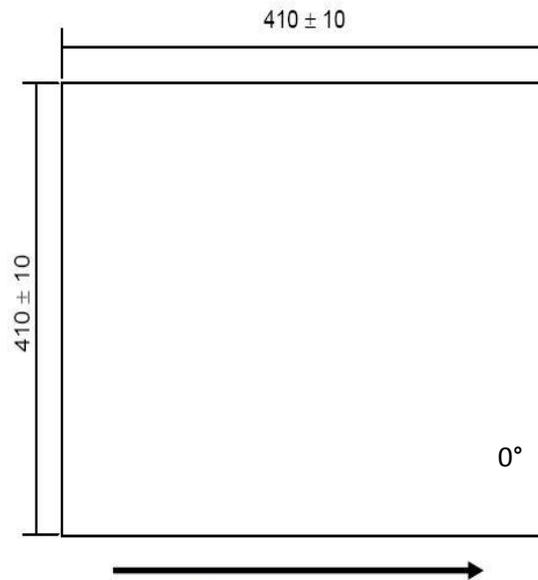


Figura 11. Esquema de los paneles suministrados

El pelable está hecho de Nailon, con una temperatura máxima de uso de 190°C y una densidad de 88 g/m^2 .

El proceso de fabricación del adherente ha sido mediante curado en autoclave, en el esquema de la figura se muestra el proceso de fabricación de los paneles.

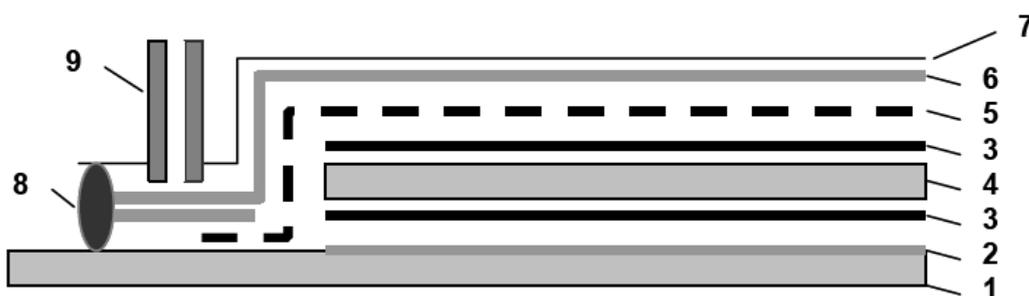


Figura 12. Esquema del proceso de fabricación de los paneles

1. Base
2. Agente desmoldeante
3. Pelable

4. Apilado de las capas de Prepreg
5. Película de desmolde (perforada)
6. Tejido aireador. Poliéster o análogo ($150_{-0}^{+50} \text{ g/m}^2$)
7. Bolsa de vacío. Nailon, polipropileno o similar
8. Cierre. Cinta selladora de alta temperatura
9. Hacia la bomba de vacío

La siguiente tabla muestra el ciclo de curado usado en autoclave para la obtención de los paneles. Remarcar que los paneles fueron suministrados.

Velocidad de calentamiento	°C/min	2
Temperatura de curado	°C	120±5
Tiempo de curado	Min	90
Presión de curado	Bar	0.8
Velocidad de enfriamiento	°C/min	2

Tabla 9. Ciclo de curado del material de los adherentes

La siguiente fotografía no muestra uno de los paneles usados en el trabajo.



Figura 13. Muestra de uno de los paneles recibidos para la realización del estudio

Por último decir que, aunque a priori, pueda pensarse que la dirección de 0° viene indicada por la dirección de las líneas rojas marcadas en el pelable.

El pelable fue colocado de forma aleatoria, no conociéndose a simple vista cual es la dirección de la fibra. Para determinarla se examinó un poco de material eliminado en el resane del panel con un microscopio.

2.1.2. Adhesivo para el estudio de los primeros cinco parámetros (Tipo "A")

En este apartado se va a proceder a la descripción del adhesivo tipo "A". Su denominación es PU 709014, de poliuretano. El adhesivo es mixto, es decir, se consigue mezclando dos componentes. Uno de los componentes es la base y el otro es un endurecedor. Las proporciones son 40 g de endurecedor por cada 100 g de base.

En la gráfica de la figura se muestran tanto la base como el endurecedor del adhesivo



Figura 14. Muestra de la base y del endurecedor, por ese orden

2.1.3. Adherente para el estudio del efecto del sistema de desmolde y tipo de pelable sobre la resistencia del encolado (Tipo “B”)

El material usado como adherente para el estudio del último parámetro es también fibra de vidrio, pero en este caso existe una particularidad. El estudio de este parámetro conlleva que se realicen 6 series de ensayos, cada serie tiene un laminado distinto de fibra de vidrio. El prepreg es siempre el mismo y el orden de apilado también. Pero cada material tiene una combinación única de agente de desmolde y pelable. Se utilizan dos sistemas de desmolde y tres tipos de pelable distintos. A modo de descripción, denominando a cada pelable con el número 1, 2 ó 3 y al sistema de desmolde con la letra a o b, habrá un panel de fibra de vidrio que tendrá la combinación pelable 1 y agente de desmolde a, otro pelable 2 y agente de desmolde b y así. Para la llevar a cabo este estudio se nos suministraron un total de 6 paneles, uno con cada combinación. Se procede a la descripción de los paneles, los materiales que se van a usar en los paneles de fibra de vidrio son:

Material	Nombre
Pelable 1	T0470 (Hexcel)
Pelable 2	Econostitch (Tygavac)
Pelable 3	WE91-1/NPP80/50±5%/S/S (Gurit)
Prepreg vidrio/epoxy biaxial	PP GE BX 600 35%
Prepreg vidrio/epoxy unidireccional	PP GE UD 1560 32%

Tabla 10. Materiales usados para la fabricación de los paneles del último de los estudios

La siguiente tabla muestra el orden de apilado de los paneles.

Nº de Capa	Tipo	orientación
1	Pelable	--
2	PP GE BX 600 35%	45°
3	PP GE UD 1560 32%	0°
4	PP GE UD 1560 32%	0°
5	PP GE UD 1560 32%	0°
6	PP GE UD 1560 32%	0°
7	PP GE UD 1560 32%	0°
8	PP GE UD 1560 32%	0°
9	PP GE UD 1560 32%	0°
10	PP GE UD 1560 32%	0°

Tabla 11. Orden de apilado de los paneles del último estudio

La siguiente tabla muestra las seis combinaciones distintas

Nº de configuración	Sistema de desmolde	Pelable
1	Sistema en base agua	T0470 (Hexcel)
2	Sistema en base solvente	T0470 (Hexcel)
3	Sistema en base agua	Econostitch (Tygavac)
4	Sistema en base solvente	Econostitch (Tygavac)
5	Sistema en base agua	WE91-1/NPP80/50±5%/S/S (Gurit)
6	Sistema en base solvente	WE91-1/NPP80/50±5%/S/S (Gurit)

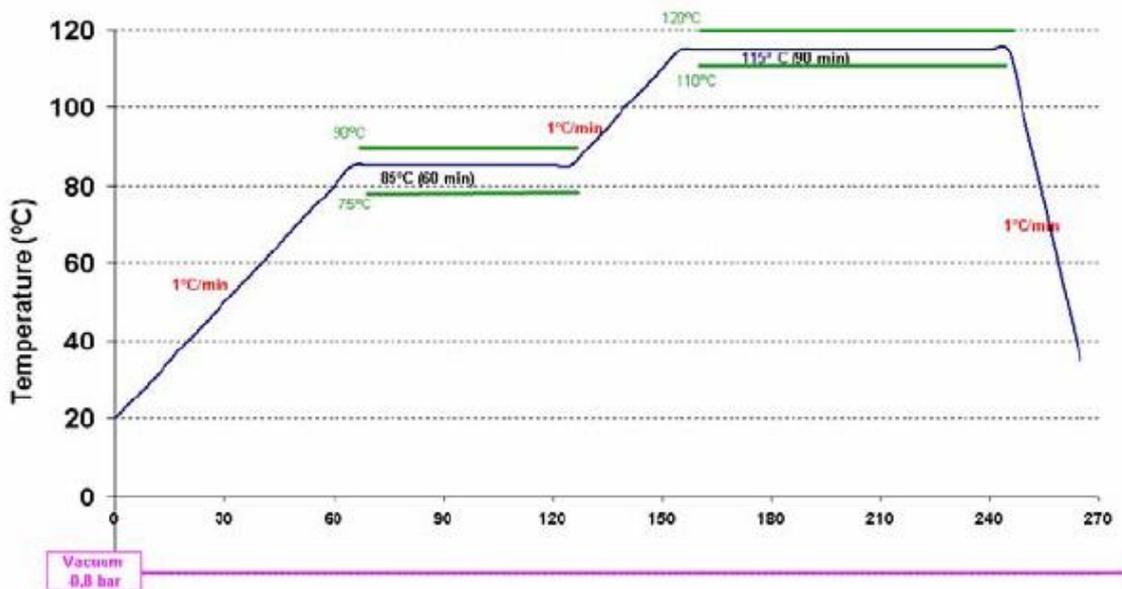
Tabla 12. Configuración de los paneles

Los sistemas de desmolde son dos y están compuestos de:

Sistema de desmolde	Sistema de desmolde	Nombre
Sistema base agua	Agente limpiante Agente sellante Agente de desmolde	Waterclean-surface cleaner Sealmat-Sealer GP Silvershield 320-watershield
Sistema base solvente	Agente limpiante Agente sellante Agente de desmolde	MOC501L MONO-COAT RPM 712N Zyvax Water Shield

Tabla 13. Componentes de los sistemas de desmolde

El esquema de fabricación y el tamaño de los paneles es el mismo que el de los paneles anteriores, con la diferencia de que el ciclo de curado es distinto y se ha modificado el sistema de desmolde. El ciclo de curado se muestra en la siguiente figura.



Gráfica 1. Ciclo de curado de los paneles

Esta descripción es la descripción de la fabricación de los paneles para la realización del proyecto. Más adelante se describe cómo se lleva a cabo la

fabricación de las probetas con las que se llevó a cabo el análisis de la influencia de los distintos factores puestos en juego.

2.1.4. Adhesivo para el estudio del efecto del sistema de desmolde y tipo de pelable sobre la resistencia del encolado (Tipo "B")

En cuanto al adhesivo, este adhesivo también es un adhesivo mixto, formado por una base y un endurecedor. La denominación de este adhesivo es Arethane 3427/3304. Las proporciones de adhesivo en este caso son de 45 g de endurecedor por 100 g de base. En la figura se muestra el adhesivo ya preparado para ser extendido en la zona de pegado de las probetas.



Figura 15. Muestra de adhesivo

Aunque pueda parecer que es el mismo adhesivo que el anterior no lo es, lo que si resulta cierto es que ambos adhesivos son muy parecidos tanto en color, textura como en olor. Además la base y el endurecedor de cada adhesivo tienen una apariencia muy similar.

2.2. *Proceso de encolado*

Lo primero que procede es la organización del material. Para ello lo primero que se hace es dibujar en uno de los paneles los trozos necesarios en los que cortarlo, teniendo en cuenta las dimensiones del horno donde se realizará el ciclo de curado, y las dimensiones de las probetas a ensayar. Otro aspecto a tener en cuenta son las restricciones que pueda imponer la norma de aplicación en cualquiera de los proceso a seguir.

Como ya se comentó anteriormente los paneles recibidos tenían unas dimensiones de (410 x 410) mm, a estos paneles lo primero que se le debe hacer es eliminar un poco de material de los bordes (lo que se denomina un resane), esto se realiza para quitar partes que no tengan el espesor adecuado u otro defecto, además de asegurar así que el borde es totalmente recto. Con el material eliminado se determina (mediante exploración con el microscopio) hacia donde está orientada la fibra y, por tanto, cual es la dirección de 0° del material.

Una vez hecho esto se corta el material en ocho trozos rectangulares, cuatro de ellos se destinan a tacones para intentar alinear lo más posible la carga y los otros cuatro son el material que va a constituir el adherente. En el esquema de la figura se muestran todos los cortes dados al material recibido original.

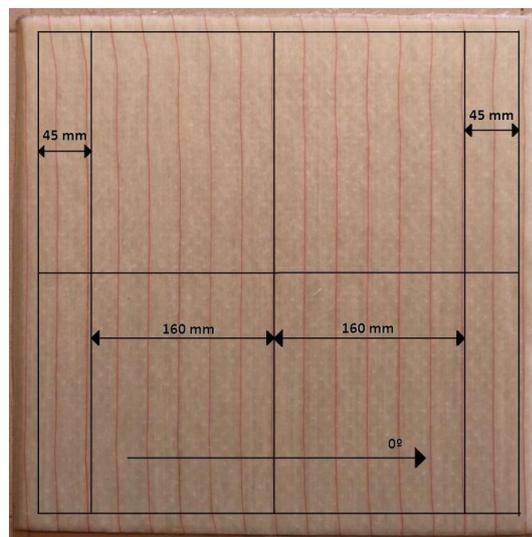


Figura 16. Esquema del corte de los paneles.

El largo de los rectángulos no importa mucho mientras haya suficiente material para que se obtengan el número de probetas suficientes. En este caso, dadas las dimensiones de los paneles se conseguía obtener entre 12 y 14 probetas y puesto que el número máximo de probetas que se necesita por serie es de 10 tenemos que de cada panel podemos obtener un número suficiente de probetas.

Una vez obtenidos los “semi-paneles” para la fabricación de las probetas y el material para los tacones se procede al pegado de los tacones. Para ello lo que se hace es hacer una pequeña marca en los semi-paneles con las dimensiones de los tacones y la eliminación del pelable de esa zona, también se eliminó de la cara que iba a ser adherida a los semi-paneles del material para los tacones el pelable. Luego de esto se limpiaron las superficies a pegar con acetona para eliminar cualquier residuo que pudiese contaminar el adhesivo, el adhesivo usado para el pegado de los tacones fue un adhesivo en base epoxy denominado Z-15429. El pegado se realizó en una prensa de platos calientes. Para el pegado de los tacones se usó un ciclo de curado de:

- Rampa de calentamiento de 10°C/min desde temperatura ambiente hasta 115 °C
- Meseta a 115 °C durante 1 hora y 45 minutos
- Rampa de enfriamiento desde 115 °C hasta temperatura ambiente con un ratio de 10°C/min.
- La presión de 2.8 bares

Para asegurarnos de que sólo se ha pegado lo zona que abarcan los tacones y que el rebose de adhesivo no afecta al material se coloca en el filo de los tacones, pegada sobre los semi-paneles, una cinta de alta temperatura. En la fotografía de la figura se muestran dos ejemplos con los tacones ya pegados.



Figura 17. Semi-paneles con los tacones pegados

Una vez hecho esto pasamos al proceso de preparación de los especímenes para el encolado, lo primero que se hace es marcar en los semi-paneles la frontera de la zona de adhesivo, esto también se realizó con un calibre de altura. Para asegurar un perfecto alineado del conjunto en el canto de los semi-paneles también se marcó la frontera de la zona a pegar, esto es más ilustrativo con una imagen.

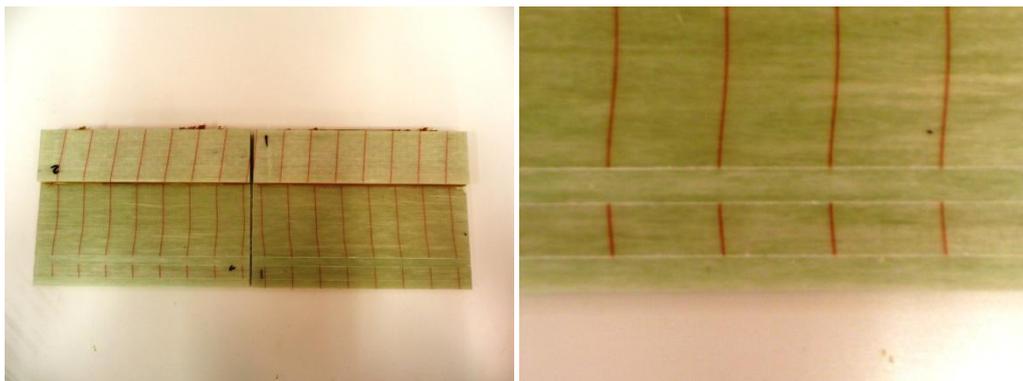


Figura 18. Delimitación de la zona de encolado

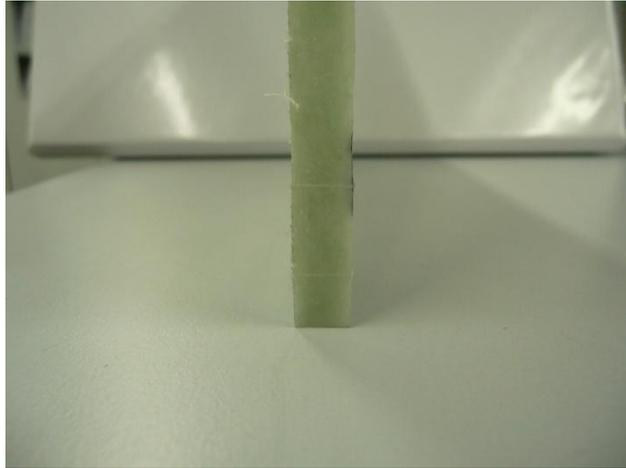


Figura 19. Líneas para asegurar el correcto alineamiento

Después de esto se pegan a cada filo de la zona de encolado una cinta cuya capacidad adhesiva es muy pequeña y con el objetivo de que el posible rebose de adhesivo no toque adherente y la zona de encolado quede perfectamente delimitada y sobre esa cinta se colocan dos tiras de fibra de vidrio con ocho milímetros de ancho cada una y cuya finalidad es la del control del espesor del adhesivo.

Para finalizar se quita el pelable que cubre la zona a encolar y se limpia con acetona. Después de esto se extiende el adhesivo donde corresponde y se coloca encima el segundo semi-panel (por supuesto que el segundo semi-panel también tiene delimitada la zona de encolado, las marcas para asegurar la correcta alineación y se le han pegado las cintas adhesivas). En la foto de la figura se muestra el semi-panel inferior con el adhesivo extendido.

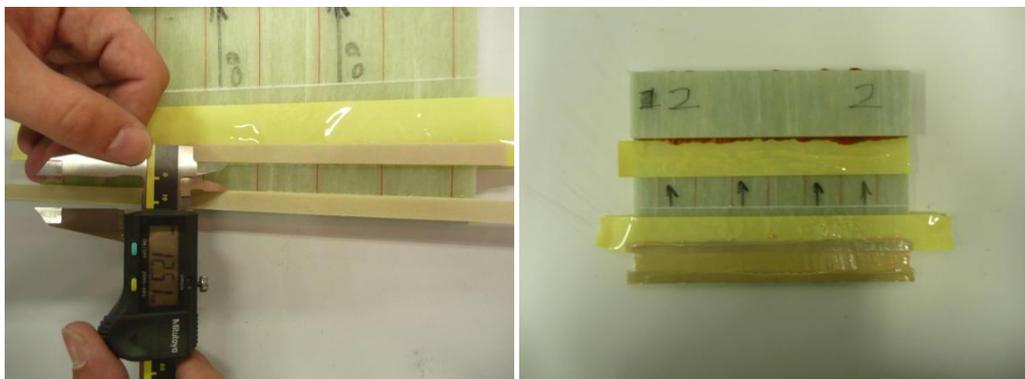


Figura 20. Comprobación de la longitud de la zona de solape y semi-panel preparado para pegar

Lo que queda ya es realizar el montaje e introducir el conjunto en el horno donde se realizará el curado del adhesivo. Para asegurar que los valores son comparables, todos los ciclos de curado se han realizado con la misma presión. El peso de tres lingotes de acero, colocados sobre la zona de solape. Siempre se utilizaron los mismos tres lingotes. La foto de a continuación muestra el montaje.

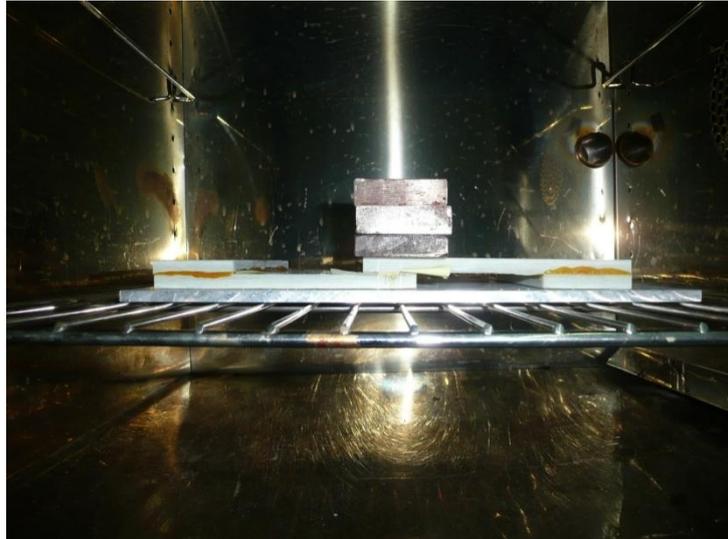


Figura 21. Montaje para el curado del adhesivo

El conjunto se ha puesto sobre una chapa de aluminio con suficiente espesor como para que su rigidez permita que el conjunto se mantenga totalmente horizontal y evitar así cualquier desviación de la uniformidad del espesor de adhesivo por culpa de una posible flexión de la bandeja.

2.3. *Parámetros a controlar*

Como ya se comentó en el apartado de objetivo del proyecto, en este proyecto se va a estudiar el efecto la influencia sobre una unión a solape simple seis parámetros distintos. Por tanto, en todo el conjunto de ensayos se ha procedido a mantener constantes todos los parámetros salvo el que se quiere estudiar, a continuación mostramos el conjunto de parámetros a controlar:

- Humedad
- Espesor de adhesivo
- Ciclo de curado del adhesivo
- Vacío en el ciclo de curado
- Tiempo transcurrido desde que se elimina el pelable de los adherentes hasta que se efectúa la unión
- Tipo de pelable y sistema de desmolde

Como se ha mencionado anteriormente se mantendrán constantes todos los parámetros menos uno, es por tanto que cada parámetro tiene un estado que denominaremos como estándar y que no se variará salvo cuando lo que se desee estudiar sea dicho parámetro.

Los primeros cinco parámetros se han realizado con unos adherentes y un adhesivo distintos a los utilizado para el estudio del último parámetro, además, las condiciones estándar de los primeros cinco parámetros son distintas a las condiciones estándar del último parámetro. A continuación se muestra una tabla con las condiciones estándar del estudio de los primeros cinco parámetros.

Condiciones estandar del proceso de pegado					
Espesor de adhesivo	1mm				
Ciclo de curado:	Open time	30 min.	T=23±2 °c	H=50%	
	Rampa de subida	de T=23±2 °c	hasta T=60 °c	Ratio	1°c/min max.
	Meseta	T=60 °c	40 min.		
	Rampa de bajada	de T=60 °c	hasta T=23±2 °c	Ratio	1°c/min max.
	Postcurado	7 dias	T=23±2 °c	H=50%	
Vacío	Sin vacío				
Peel-Ply	Pegado inmediatamente después de la eliminación del Peel-Ply				

Tabla 14. Condiciones estándar del estudio de los primeros cinco parámetros

Las condiciones estándar del estudio de la influencia del último parámetro del estudio se encuentran en la próxima tabla.

Condiciones estandar del proceso de pegado					
Espesor de adhesivo	1mm				
Ciclo de curado:	Open time	15 min. máx.	RT	H=60% máx.	
	Precurado	15 min	RT	H=60% máx.	
	Rampa de subida	de T=23±2 °c	hasta T=60 °c	Ratio	1°c/min max.
	Meseta	T=60 °c	40 min.		
	Rampa de bajada	de T=60 °c	hasta T=23±2 °c	Ratio	1°c/min max.
	Postcurado	mín 1 día	T=23±2 °c	H=50%	
Vacío	Sin vacío				
Peel-Ply	Pegado antes de 45 minutos después de la eliminación del Peel-Ply				

Tabla 15. Condiciones estándar del estudio del efecto del pelable y del sistema de desmolde.

2.3.1. Efecto de la humedad

El primer parámetro objeto de análisis fue la influencia de la humedad sobre la resistencia de la unión. Dicho estudio se basó en la realización de nueve series de ensayos, cada una de ellas recibió un acondicionamiento distinto en cámara climática, en el que se varió la humedad del ambiente, la temperatura de exposición y el tiempo de exposición, manteniéndose constante el resto. Recordar que el "Open time" estándar es de temperatura de $23\pm 3^{\circ}\text{C}$, humedad relativa de 50% y tiempo de 30 minutos. En la tabla se expone en que consistieron los nueve acondicionamientos.

Serie	Tiempo de exposición (min)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad relativa (%)
01	55	25	50
02	55	25	65
03	55	25	70
04	60	25	50
05	60	25	65
06	60	25	70
07	70	25	50
08	70	25	65
09	70	25	70

Tabla 16. Distintas condiciones de exposición a humedad

Mencionar que este tipo de ensayos son distintos de la mayoría de aquellos que quieren determinar la influencia de la humedad en la resistencia de la unión a solape simple, ya que en este caso el acondicionamiento se realiza antes del curado del adhesivo. El acondicionamiento se realiza sobre el adhesivo ya extendido sobre el adherente inferior y antes de colocar encima el adherente superior. En la siguiente figura se muestra una fotografía de lo que se va a introducir en la cámara climática.



Figura 22. Conjunto que se introduce en la cámara climática y se expone a ambiente húmedo

En la siguiente figura se muestra unas fotografías con la condiciones de temperatura y humedad para cada caso. El tiempo de exposición se controló con un reloj.



Figura 23. Distintas condiciones de humedad relativa y temperatura

2.3.2. Efecto del espesor de adhesivo

Una vez realizado el análisis del efecto de la humedad se procedió a estudiar el efecto del espesor de adhesivo en la resistencia de la unión a solape simple, para ello se realizaron dos series de ensayos, la primera serie tenía un espesor de 0.6 milímetros y la segunda un espesor de 3 milímetros, manteniendo el resto de factores constantes y según las condiciones estándar. Estas serán las series 10 y 11. Las fotografías de a continuación muestran el espesor de las tiras de control de espesor (acerca de las tiras de control de espesor y otras precauciones relativas a la fabricación de las probetas se hablará posteriormente).

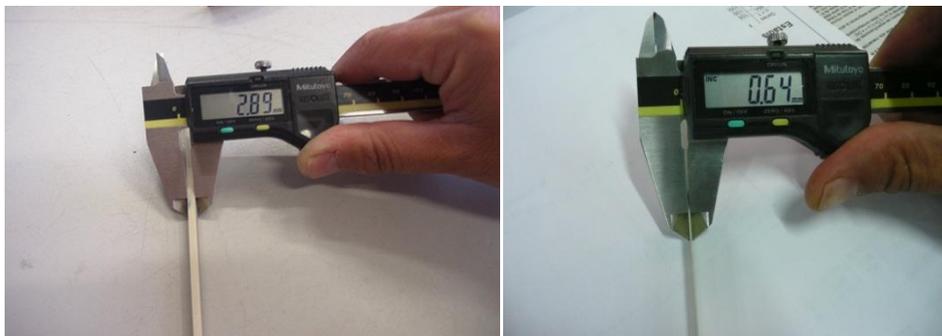


Figura 24. Tiras para control de espesor

Decir que además de la tira de control de espesor de adhesivo se debe colocar a ambos lado de la zona de pegado unas cintas, dichas cintas no tienen capacidad portante ninguna y su finalidad es que el posible rebose de adhesivo quede unido a la cinta y no al adherente. De esta forma se asegura que la zona de pegado es la que se indica en la norma. Claro que, aunque el espesor de la cinta es muy pequeño no es cero y para asegurar que el adhesivo tiene el espesor deseado se debe tener en cuenta dicho espesor. El espesor de la cinta es de 0.055 mm y como hay un cinta arriba y otra abajo (como ya se ha expuesto en la descripción del proceso de encolado), esto nos da un espesor de 0.11 mm. El espesor total es de $(2.89 + 0.11)$ mm como resultado 3.00 mm. Del mismo modo se procede con la serie de espesor 0.6 mm.

2.3.3. Ciclo de curado del adhesivo

El siguiente estudio que se realiza es cómo afecta el ciclo de curado a la resistencia del encolado. Para ello se realizan tres series de ensayos, cada una con un ciclo de curado distinto y se observa cual es la resistencia de cada serie. El ciclo de curado estándar del adhesivo PU 709014 es de:

- Una rampa de calentamiento de 1 °C/min desde (23±2)°C hasta 60 °C
- Una meseta de 40 minutos a 60 °C
- Una rampa de enfriamiento de 1 °C/min desde 60 °C hasta (23±2)°C
- Una semana a (23±2)°C y 50 % de Humedad relativa

Los tres ciclos de curado distintos al estándar que se van a aplicar a la unión adhesiva son:

Primer ciclo de curado: Serie 12

- Una rampa de calentamiento de 1 °C/min desde (23±2)°C hasta 60 °C
- Una meseta de 80 minutos a 60 °C
- Una rampa de enfriamiento de 1 °C/min desde 60 °C hasta (23±2) °C
- Una semana a (23±2) °C y 50 % de Humedad relativa

Segundo ciclo de curado: Serie 13

- Una rampa de calentamiento de 1 °C/min desde (23±2)°C hasta 90 °C
- Una meseta de 40 minutos a 90 °C
- Una rampa de enfriamiento de 1 °C/min desde 90 °C hasta (23±2)°C
- Una semana a (23±2)°C y 50 % de Humedad relativa

Tercer ciclo de curado: Serie 14

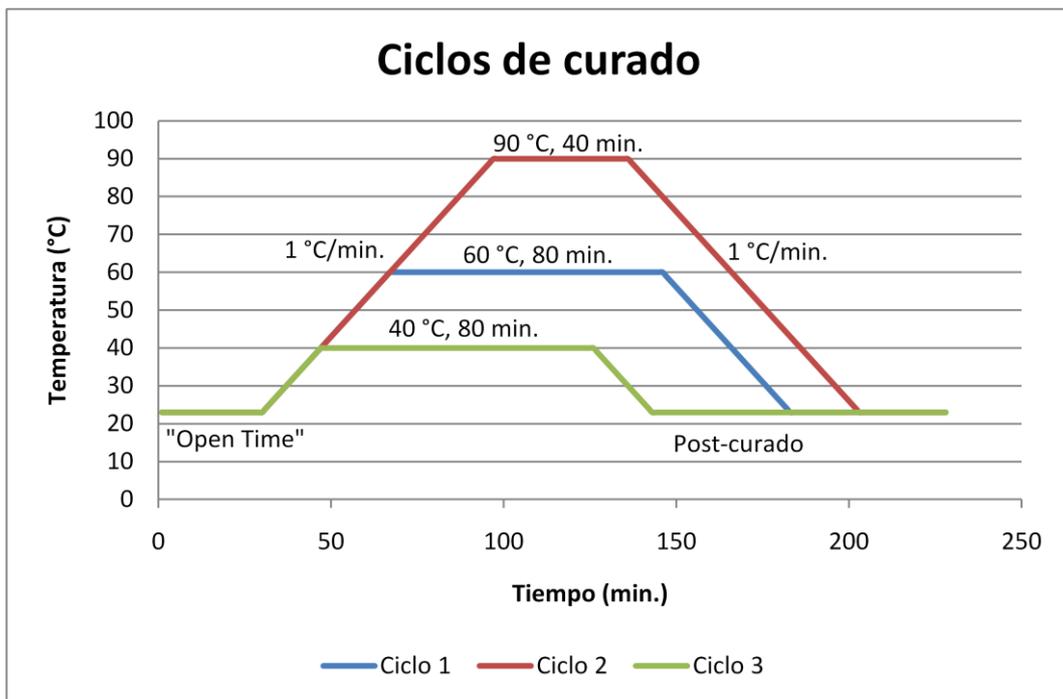
- Una rampa de calentamiento de 1 °C/min desde (23±2)°C hasta 40 °C
- Una meseta de 80 minutos a 40 °C
- Una rampa de enfriamiento de 1 °C/min desde 40 °C hasta (23±2)°C

- Una semana a $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ y 50 % de Humedad relativa

Las gráficas de abajo nos muestran los cuatro ciclos de curado.



Gráfica 2. Ciclo de curado estándar usado con el adhesivo PU 709014



Gráfica 3. Los ciclos de curado para el efecto del ciclo de curado

Todos los ciclos de curado del adhesivo o adhesivos en estudio (salvo el curado de las probetas cuyo objetivo es el estudio del efecto del vacío) se realizaron en un horno. En la siguiente página se muestran fotos del horno utilizado.



Figura 25. Horno donde se curó el adhesivo

2.3.4. Efecto del vacío en el ciclo de curado

El cuarto parámetro a estudiar es el efecto del vacío en el ciclo de curado. Para ello se ensayarán tres series, cada serie con un vacío distinto en el ciclo de curado. La primera serie, la serie 15, tendrá un vacío de -10 mbar, la segunda, la serie 16, un vacío de -20 mbar y la tercera, la serie 17, -30 mbar. Para conseguir tal efecto estas tres series se curaron en autoclave, cada una con su bolsa de vacío y con la presión relativa establecida. Todo ello se realizará manteniendo constante el resto de valores. La figura muestra autoclave donde se realizó el curado del adhesivo.

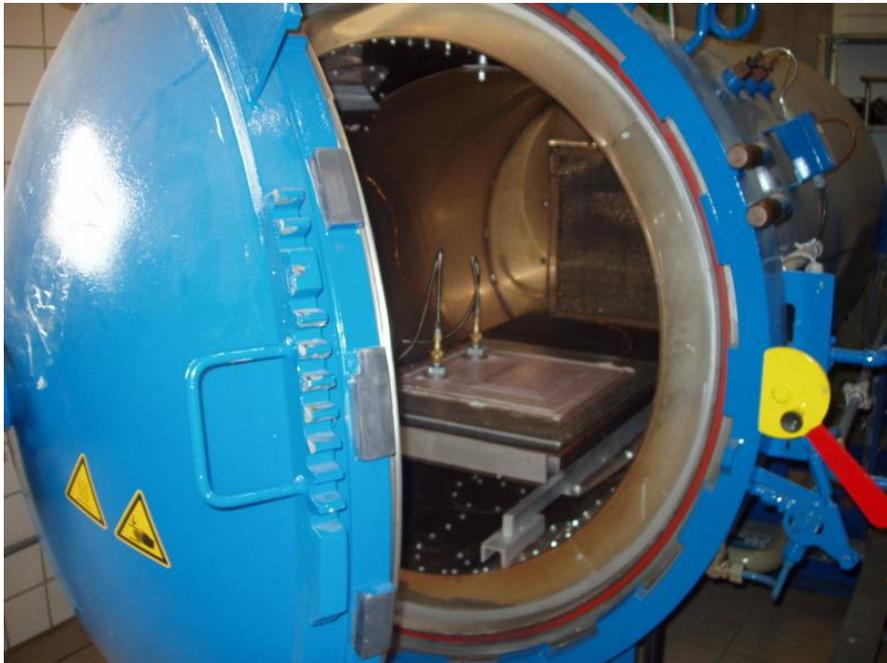


Figura 26. Autoclave donde se curaron las series de estudio del efecto del vacío

2.3.5. Tiempo transcurrido desde que se elimina el pelable de los adherentes hasta que se efectúa la unión

Este estudio consistió en quitar el pelable al material y proceder al proceso de pegado pasadas unas horas después de la eliminación del pelable. El objetivo de esto es ver cómo afecta al encolado que el material se encuentre con suciedad en su superficie debido a que al estar a la intemperie el material a encolar recibe polvo del ambiente y algo de humedad que se depositan sobre su superficie. Para ello se ensayaron tres series, cada serie estuvo un número determinado de horas, así la serie 18 tendrá un tiempo de eliminación del pelable de 6 horas, la serie 19 estará 12 horas sin pelable antes del encolado y la serie 20 estará 24 horas.

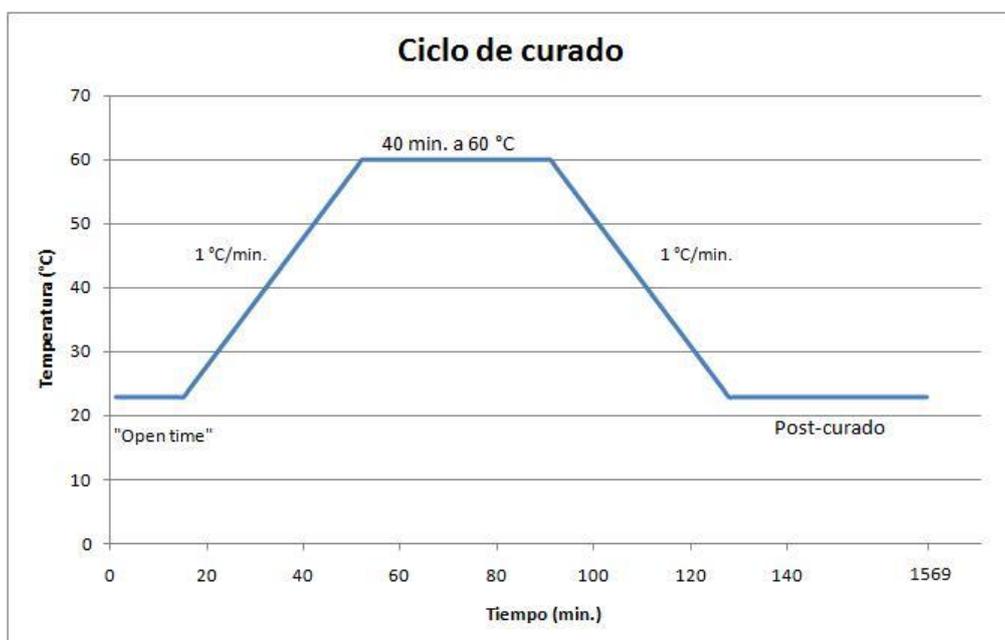
2.3.6. Tipo de pelable y sistema de desmolde

En este estudio se utilizará siempre las condiciones estándar de pegado, ya que el hecho diferencial de cada serie lo trae ya en sí mismo el adherente. Cada panel de adherente se ha fabricado con una combinación de pelable y sistema de desmolde distinto. Así se recibió ya el material pues. En la tabla de abajo se muestra un resumen de las seis series utilizadas para el estudio de este parámetro.

Serie	Sistema de desmolde	Pelable
21	Sistema en base agua	T0470 (Hexcel)
22	Sistema en base solvente	T0470 (Hexcel)
23	Sistema en base agua	Econostitch (Tygavac)
24	Sistema en base solvente	Econostitch (Tygavac)
25	Sistema en base agua	WE91-1/NPP80/50±5%/S/S (Gurit)
26	Sistema en base solvente	WE91-1/NPP80/50±5%/S/S (Gurit)

Figura 27. Resumen del conjunto de series para el estudio del pelable y agente de desmolde

En la siguiente figura se muestra el ciclo de curado para este adhesivo.



Gráfica 4. Ciclo de curado para el adhesivo Arathane 3427/3304

A modo de resumen final se mostrará una tabla con todo el conjunto de ensayos y los parámetros a estudiar, junto con el número de probetas por serie.

Serie	Parámetro de estudio	Valor	Nº de probetas por serie
1	Humedad	55 min; 25°C; H=50%	10
2	Humedad	55 min; 25°C; H=65%	10
3	Humedad	55 min; 25°C; H=70%	10
4	Humedad	60 min; 25°C; H=50%	10
5	Humedad	60 min; 25°C; H=65%	10
6	Humedad	60 min; 25°C; H=70%	10
7	Humedad	70 min; 25°C; H=50%	10
8	Humedad	70 min; 25°C; H=65%	10
9	Humedad	70 min; 25°C; H=70%	10
10	Espesor de adhesivo	0.6 mm	10
11	Espesor de adhesivo	3 mm	10
12	Ciclo de curado	60 °C; 80 min	10
13	Ciclo de curado	90 °C; 40 min	10
14	Ciclo de curado	40 °C; 80 min	10
15	Vacío durante curado	- 10 mbar	10
16	Vacío durante curado	- 20 mbar	10
17	Vacío durante curado	- 30 mbar	10
18	Tiempo sin pelable	6 horas	10
19	Tiempo sin pelable	12 horas	10
20	Tiempo sin pelable	24 horas	10
21	Pelable y sistema de desmolde	T0470 (Hexcel) y sistema base agua	6
22	Pelable y sistema de desmolde	T0470 (Hexcel) y sistema base solvente	6
23	Pelable y sistema de desmolde	Econostitch (Tygavac) y sistema base agua	6
24	Pelable y sistema de desmolde	Econostitch (Tygavac) y sistema base solvente	6
25	Pelable y sistema de desmolde	WE91-1/NPP80/50±5%/S/S (Gurit) y sistema base agua	6
26	Pelable y sistema de desmolde	WE91-1/NPP80/50±5%/S/S (Gurit) y sistema base solvente	6

Tabla 17. Resumen del plan de ensayos

2.4. Preparación de los especímenes

Para finalizar el proceso de fabricación de las probetas necesitamos, una vez concluido el periodo de post-curado, mecanizar el conjunto con el ancho deseado. Primero se lija la parte posterior de los tacones para eliminar el exceso de adhesivo que haya rebosado y después se cortan las probetas con una máquina de corte de disco de diamante refrigerada por agua. Para ello se elimina primeramente un poco del borde para asegurar que el lado está completamente liso y recto, procediéndose luego a obtener los especímenes mecanizando el conjunto con un ancho de (25 ± 0.25) mm. En la siguiente figura se muestra un esquema del conjunto ya terminado.

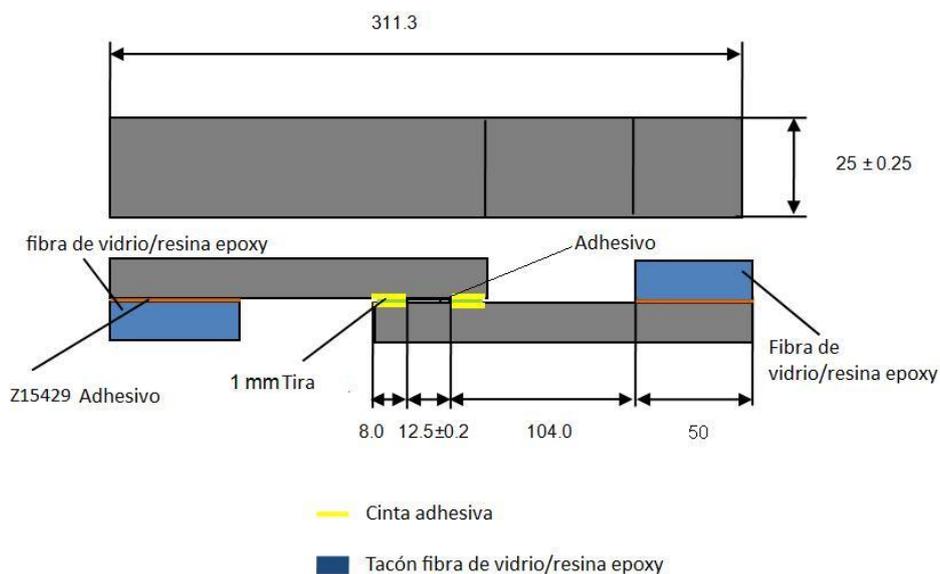


Figura 28. Esquema de la probeta acotado

A continuación se esboza un resumen general del proceso de encolado.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO:

- Se prepararan las probetas sobre la misma base que se utilizará en el horno, de este modo se evita que el ensamblado laminado /adhesivo se descoloque o se mueva (cuanto menos movimiento de las placas mejor. Se aplicará el adhesivo en exceso)
- Quitar el pelable de la zona donde se vaya a adhesivar (12,5 mm x longitud de placa)

- Proteger la placa inferior con cinta desmoldeante dejando libre el área de unión
- Aplicación del adhesivo: Una vez que se mezclan cuidadosamente los componentes del adhesivo con el ratio de mezcla correspondiente y se tenga una mezcla homogénea, se empieza a contabilizar el tiempo abierto u **open time** que tiene una duración de **30 minutos**, lo que implica que el adhesivo debe ser aplicado inmediatamente después de mezclarlo al laminado 1 (ver figura 10). Durante estos 30 minutos la superficie del adhesivo debe estar al aire a las temperaturas y las humedades especificadas en el Test Specification.
- Después de los 30 minutos, se acopla el laminado 2 (ver figura 1) y se somete al ciclo de curado (60 minutos a 40°C con rampas de subida y de bajada de 1°C/min). Se pone un peso de 3 kg en toda la superficie del laminado para que no se desalinee la unión.
- A los X días (7 días definidos en el Test Specification) a 23±2°C y RH < 60%, se mecanizan las probetas con la configuración ilustrada en la figura 10.

Las siguientes fotografías muestran dos series ya preparadas para ensayar.

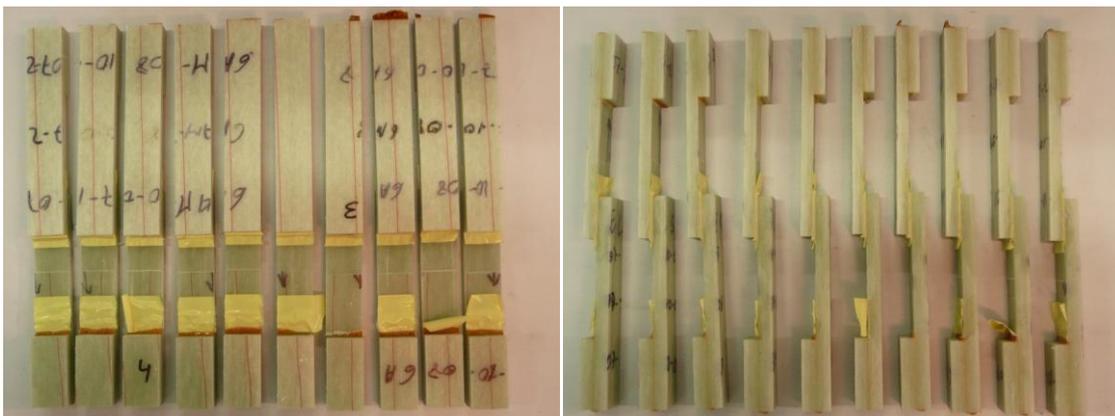


Figura 29. Ejemplos de serie

2.5. Precauciones relativas a la preparación de las probetas

A lo largo de toda la descripción del proceso de fabricación de las probetas se ha ido introduciendo algunas de las precauciones tomadas para la correcta obtención de las probetas, intentando influir lo menos posible en los resultados. En este apartado se va a describir detalladamente todas las precauciones relativas a la preparación de las probetas.

La primera precaución que se debe tomar es la de mantener limpia la superficie de los adherentes, por ello no debe eliminarse el pelable hasta justo antes de realizarse la unión y después de eso limpiar la zona con acetona para eliminar cualquier residuo.

La segunda cosa que se debe de tener en cuenta es que los adhesivos poliméricos tienen fecha de caducidad y una vez pasada esta el adhesivo pierde propiedades. Por ello debe tenerse siempre en mente la fecha de caducidad del adhesivo y además para que ésta no se adelante es necesario que los componentes del adhesivo se mantengan en las condiciones de temperatura, humedad e iluminación recomendadas por el fabricante. En nuestro caso quien nos suministró el adhesivo no comunicó que las mejores condiciones para conservar el adhesivo es a una temperatura de (23 ± 2) °C, una humedad de alrededor del 50 %, que no le incidiese directamente la luz del sol y en un recipiente cerrado para no exponerlo a ninguna partícula que hubiese en el ambiente.

Si se ha prestado atención al esquema de la probeta expuesto anteriormente es necesario que el largo de la zona a solape esté dentro del rango (12.5 ± 0.2) mm, esto es así para que se puedan comparar resultados. Es, por tanto, necesario que se produzca un correcto alineamiento de los adherentes, para ello necesitamos que estén perfectamente alineadas tanto las líneas que limitan la zona de pegado, las cintas para prevenir el rebose, las tiras de control del espesor como a la hora de montar los adherentes un correcto alineado de las líneas marcadas en el canto de los adherentes.

Otra precaución a tomar es que para que los valores sean comparables es necesario que la presión a la que se somete la zona de solape sea siempre

la misma. El objeto de presionar un poco la zona de solape es el de garantizar que haya contacto absoluto entre los adherentes y adhesivo para que no haya huecos en la unión. Por ello siempre se puso el mismo peso encima de la zona a solape en el proceso de curado.

El proceso de mezcla debe asegurar una mixtura perfecta entre los dos componentes, para ello es necesario remover la mezcla con una varilla, pero no se debe hacerse de cualquier manera, se debe remover de forma lenta y suave para evitar que entre aire en el adhesivo y la unión tenga porosidad.

Otro aspecto fundamental es que la capa de adhesivo sea lo más uniforme posible, para ello necesitamos que las tiras de control de espesor de adhesivo sean lo más uniforme posible, por ello, después de la fabricación de los paneles de fibra de vidrio de donde se extrajeron las tiras se lijaron ambas caras del panel para eliminar cualquier zona de espesor sinuoso.

Como se ha comentado anteriormente la longitud de solape debe estar dentro de un rango bien definido y de margen pequeño, es por ello que el posible rebose de adhesivo que pueda existir no debe adherirse a los adherentes, por ese motivo se colocan una cintas adhesivas de muy poco agarre para que dicho adhesivo sobrante caiga sobre la cinta y no sobre el adherente.

Las probetas no deben verse afectadas por cualquier efecto de borde del proceso de curado, por ello es necesario eliminar las partes extremas de la unión ya realizada antes de extraer las probetas.

El corte de las probetas debe realizarse de forma que las caras laterales de la probeta sean lo más paralelas posibles, el ángulo que forman dichos planos debe ser estar dentro de $\pm 1^\circ$. Las caras perpendiculares a las laterales deben formar un ángulo de $(90 \pm 1)^\circ$.

Además durante el corte de las probetas no debe sobrecalentarse el adhesivo, para evitar eso la máquina de corte debe estar bien refrigerada, de forma que se elimine correctamente el calor producido durante el corte.

Por último decir que las caras de los adherentes deben ser lo más paralelas posibles, debiéndose realizar un montaje de forma que esto se garantice, por ello se puso el montaje sobre una chapa de aluminio con suficiente rigidez y debajo del tacón orientado hacia la chapa de aluminio se colocó una lámina del mismo espesor que la tira de control de espesor para compensar este hecho.