

Proyecto Final de Carrera
Ingeniero de Materiales

Reutilización de residuos de bañeras y platos de ducha acrílicos

MEMORIA

Autor: Moisés Caballero Tapia
Director: Orlando Santana Pérez
Convocatoria: Marzo 2007 (plan 2003)



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de



1. Resumen

El residuo de las bañeras y platos de ducha acrílicos se obtiene como resultado de la mecanización de una pieza acrílica, que previamente es termo conformada y reforzada con fibra de vidrio y resina de poliéster.

En la actualidad el fabricante de estos artículos simplemente se preocupa de almacenar estos residuos y los elimina mediante el pago a una tercera empresa, que se encarga de su gestión y su posterior eliminación, aunque es sabido que acaban en un vertedero.

La propuesta que se realiza con este proyecto es la sustitución de una pieza de madera aglomerada que se refuerza actualmente con la bañera, por otra de similares características fabricada de aglomerado del propio residuo de bañera.

El primer objetivo del proyecto era solventar la manera de unir entre ellas las diferentes partículas para obtener la pieza, para esto se realizaron tres hipótesis. En la primera se pretendía aprovechar las propiedades termoplásticas del acrílico, pero el proceso de fabricación y el volumen de acrílico no permitían esto. En la segunda opción se pretendía imitar el proceso actual del aglomerado donde actúa una cola como adhesivo, pero también se tuvo que descartar porque la cola necesaria era de base acrílica y es muy cara para un uso industrial de este calibre. La solución más viable fue utilizar la propia resina, que se utiliza para reforzar, como elemento ligante de las partículas.

Se fabricaron las probetas con dicho material y método, y se les realizaron diferentes ensayos que nos permitieran caracterizar el residuo y sus propiedades frente al aglomerado. Para la caracterización se hizo una calcinación, que determino los porcentajes de cada componente. En referencia a las propiedades mecánicas, se realizó un ensayo de flexión y uno de adhesión para observar la interacción con la placa.

Los resultados fueron muy buenos, el nuevo material a base de residuo obtiene valores superiores de tensión máxima a flexión y una deflexión menor que no el aglomerado. Respecto la adhesión esta también se puede considerar buena ya que supera la de un adhesivo bastante potente.

El nuevo material mejora en todos los aspectos al aglomerado actual, siendo su sustitución recomendable ya que supone una mejora de calidad (flexa menos y es más resistente) y reduce el impacto medioambiental. Económicamente hablando la nueva pieza es más cara que la de aglomerado, pero se debe tener en cuenta el ahorro del coste de eliminación del residuo y la recuperación de las pérdidas para el proceso de fabricación.





2. Sumario

1. RESUMEN	1
2. SUMARIO	3
3. GLOSARIO	5
4. PREFACIO	7
5. INTRODUCCIÓN	9
5.1. Objetivos del proyecto.....	9
5.2. Abarcamiento del proyecto	9
6. FABRICACIÓN DE UNA BAÑERA O UN PLATO DE DUCHA	11
6.1. Termo conformado.....	11
6.2. Reforzado.....	13
6.3. Mecanizado.....	15
7. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO	16
7.1. Aspectos de la placa acrílica.....	16
7.2. Aspectos de la resina de poliéster	17
7.3. Aspectos de la fibra de vidrio	20
8. TRATAMIENTO ACTUAL DEL RESIDUO	24
9. NUEVA PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DEL RESIDUO	25
9.1. Obtención del nuevo material	25
9.1.1. Aprovechar las propiedades del acrílico	26
9.1.2. Utilizar una cola de base acrílica.....	29
9.1.3. Utilizar la resina	31
9.2. Creación de las primeras muestras	32
10. REALIZACIÓN DE ENSAYOS	39
10.1. Ensayo de calcinación	40
10.1.1. Bañeras (nombradas de B1 a B5)	41
10.1.2. Platos (nombrados de P1 a P5).....	43
10.2. Ensayo de flexión.....	45
10.2.1. Resultado para probetas 100 – 104.....	48
10.2.2. Resultados para probetas 150 – 154.....	49
10.2.3. Resultado para las probetas de M0 – M4.....	50



10.3. Ensayo de adhesión	51
10.3.1. Adhesivado de probetas de espesor 10mm.....	53
10.3.2. Adhesivado de probetas de espesor 15mm.....	54
10.3.3. Adhesivado probetas de aglomerado.....	54
11. DISCUSIÓN RESULTADO DE LOS ENSAYOS _____	56
11.1. Discusión de la calcinación.....	56
11.1.1. Calcinación del residuo de bañeras.....	56
11.1.2. Calcinación del residuo de platos de ducha.....	56
11.1.3. Caracterización conjunta.....	57
11.2. Discusión del ensayo de flexión.....	57
11.3. Discusión del ensayo de adhesión	59
12. VIABILIDAD ECONÓMICA _____	61
13. CONCLUSIONES _____	65
14. AGRADECIMIENTOS _____	67
15. BIBLIOGRAFÍA _____	69
Referencias bibliográficas	69
Bibliografía complementaria	70



3. Glosario

b – Ancho probeta

F – Carga aplicada

h – Espesor probeta

HDT – Temperatura de distorsión por calor

M – Momento flector

PMMA – Polimetil metacrilato

T_g – Temperatura de transición vítrea

UV – Ultra violeta

δ – Deflexión máxima

σ_f – Tensión máxima a flexión

σ_t – Tensión máxima a tracción



4. Prefacio

En la sociedad de hoy en día existe un interés creciente por el reciclaje de los residuos y el impacto medioambiental que suponen estos. Cada vez existe una mayor preocupación ya desde el origen de los nuevos objetos de asegurar que en su fabricación se genere la mínima cantidad posible de residuos.

La principal problemática que ha originado el estudio de este proyecto es que como un artículo de creación reciente (como son los platos de ducha y bañeras acrílicos) son capaces por sí solos de generar en su creación tal cantidad de residuo y encima de difícil eliminación.



5. Introducción

En la actualidad los fabricantes de bañeras y platos de ducha acrílicos, se encuentran que generan una gran cantidad de residuos, de difícil eliminación y que supone un coste considerable su gestión y posterior eliminación.

5.1. Objetivos del proyecto

Los objetivos del proyecto consisten en mejorar la actual gestión de los residuos creados para obtener una bañera o plato de ducha. Se buscará la manera de reutilizarlos en el propio producto, reduciendo el impacto medioambiental y mejorando la calidad del producto actual.

5.2. Abarcamiento del proyecto

En este proyecto se intentará realizar un análisis exhaustivo de la situación actual del residuo, como se obtiene, su caracterización y que sucede con él en la actualidad. Se investigará la manera de transformarlo en un nuevo material aplicable en la producción actual de bañeras y platos de ducha, y se realizará los ensayos correspondientes para determinar sus propiedades. También se estudiará la viabilidad económica de todo este proceso.



6. Fabricación de una bañera o un plato de ducha

Para comprender concretamente el tipo de residuo que se obtiene en la fabricación de una bañera o plato de ducha acrílicos, es necesario explicar como se producen estos artículos y de donde proviene el residuo.

Estos productos se obtienen del termo conformado de una placa acrílica (PMMA), su posterior refuerzo con resina de poliéster y fibra de vidrio, y por último un mecanizado para la obtención de la pieza final.

6.1. Termo conformado

Este proceso se caracteriza por la obtención de la forma definitiva de la bañera o plato de ducha.

El proceso se inicia con la preparación de la materia prima para ser termo conformada, en este caso se caracteriza por placa de PMMA de espesor entre 3 y 5mm de dimensiones similares a la del producto acabado. Esto quiere decir que si la bañera en cuestión tiene unas medidas externas de 1700 x 700mm, la placa se cortará unos 30-40mm de más por cada lado para que al colocarla en el molde las mordazas fijen la placa y eviten su desplazamiento durante el proceso.

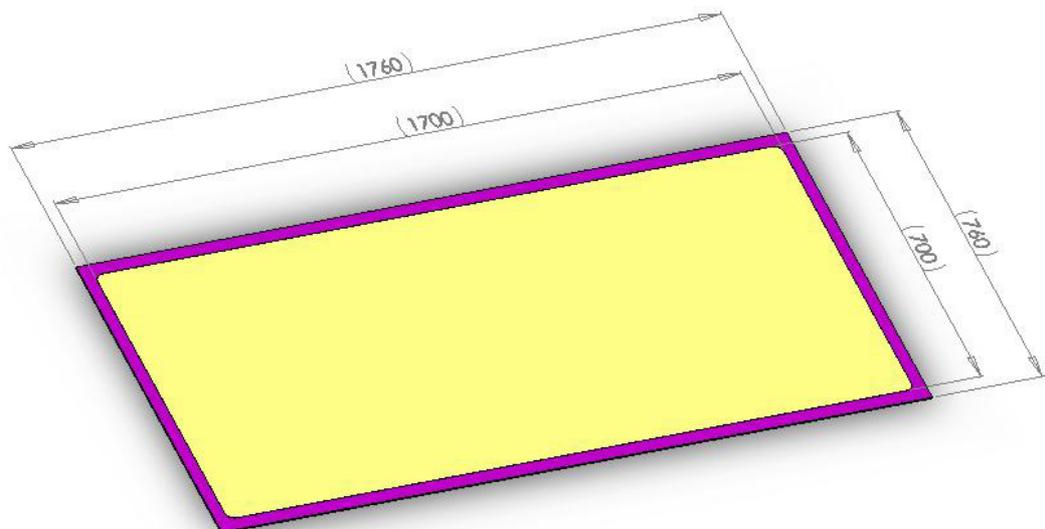


Fig. 6.1.1 Imagen placa útil (amarillo) respecto la total



A continuación se inicia el proceso de termo conformado, el primer paso consiste en reblandecer la placa mediante la aplicación de calor, está alcanzará una temperatura entre 160-180° para poder realizar el proceso; el molde también deberá estar caliente (alrededor de los 60°), esto se realiza para evitar un enfriamiento prematuro y que la pieza salga con la forma final deseada.

Una vez calentada la placa está se coloca sobre la superficie del molde hembra (cavidad) y mediante una presión negativa (vacío), la placa se adapta a la superficie del molde copiando la forma de éste. Cabe destacar que los agujeros que realizan el vacío en el molde son muy pequeños (0,8mm) de manera que su efecto sobre la superficie de la placa es inapreciable.

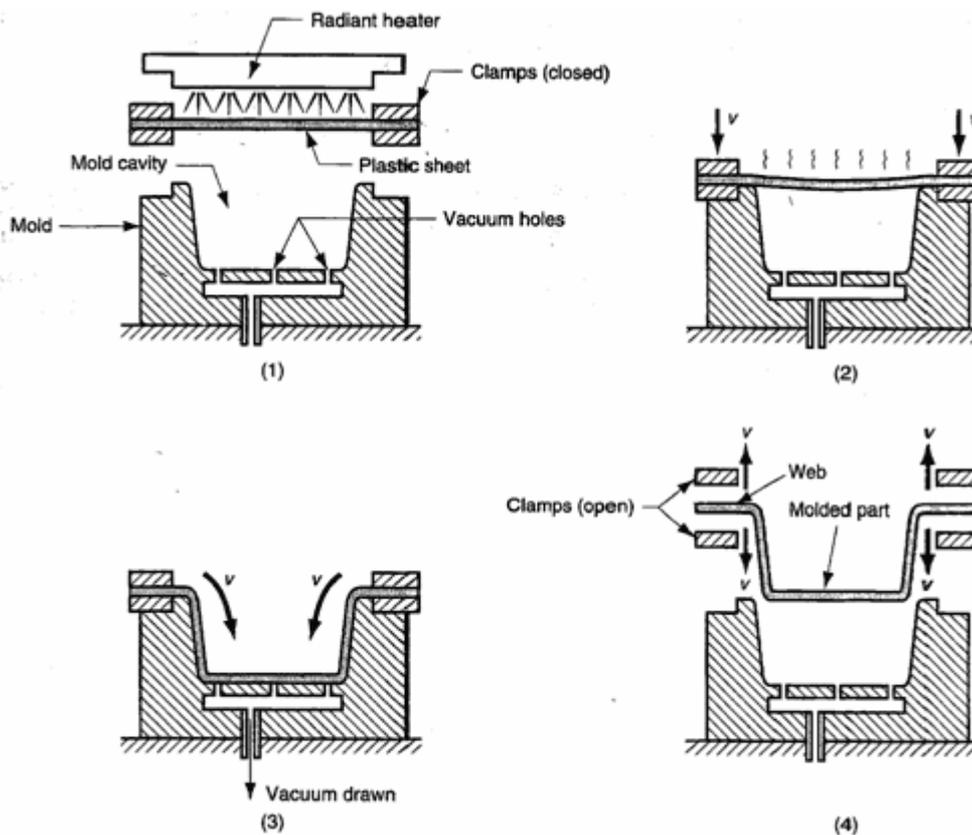


Fig. 6.1.2 Pasos del termoconformado [1]

Una vez obtenida la pieza se deja enfriar un poco y se extrae del molde, se saca de las mordazas que fijan la placa y se deja enfriar del todo. Muchas veces a las piezas acabadas se las pone en una huella para que al enfriar las tensiones que se crean, no deformen la pieza.



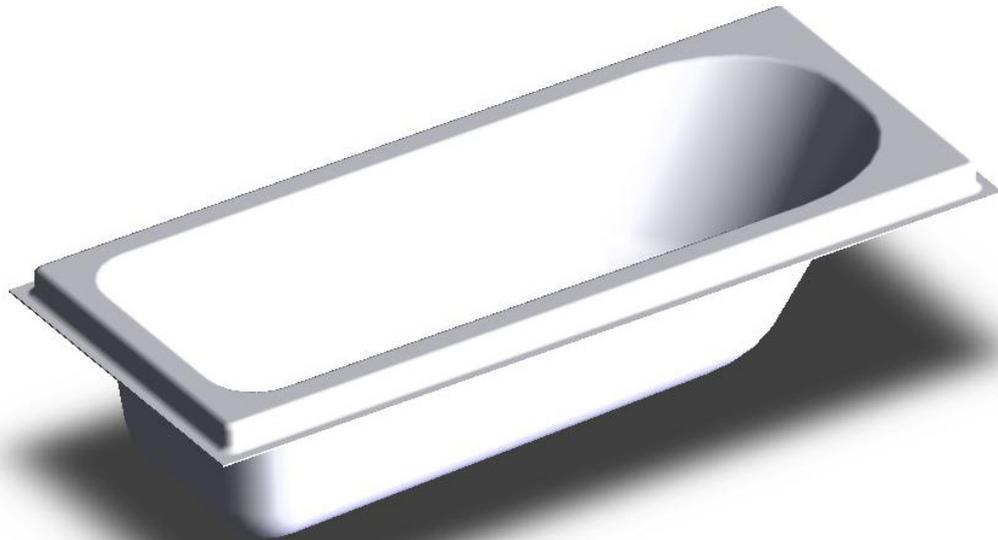


Fig. 6.1.3 Imagen de pieza final termoconformada

6.2. Reforzado

Este proceso se realiza para dotar al producto de la rigidez necesaria, ya que la placa termoconformada es muy débil por sí sola.

Para aumentar esta rigidez y obtener una zona plana en el fondo del producto (que es la zona que normalmente aguanta el peso del usuario) se añade una plancha de madera aglomerada en esta zona.

El proceso es muy sencillo, el primer paso consiste en adherir la plancha de aglomerado al fondo de la bañera. Para realizar esto se debe colocar el producto del revés sobre una pequeña huella (con la forma del fondo), de esta manera evitaremos que la plancha de madera se quede marcada por su propio peso sobre la superficie del producto. La adhesión entre ambos artículos se realiza mediante la deposición entre ellos de una primera capa de resina con fibra de vidrio. Para asegurar el correcto agarre se dejará reposar un poco la resina para que la madera se empape de ella.



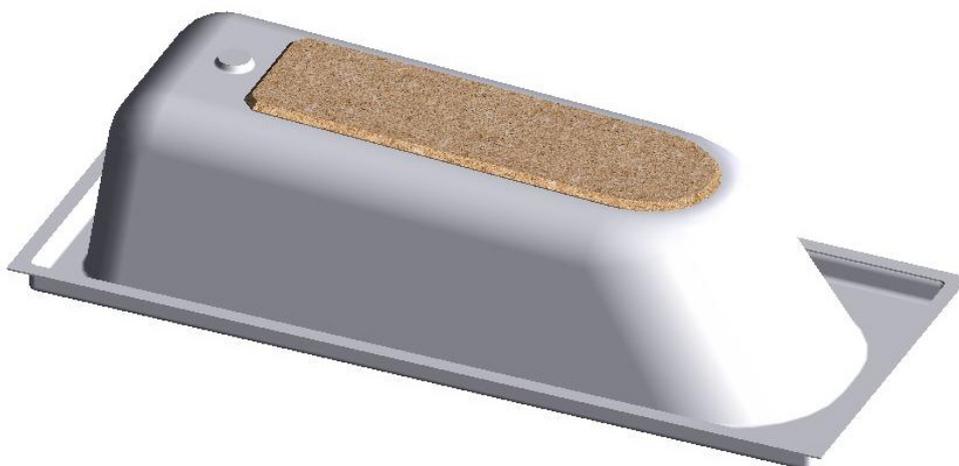


Fig. 6.2.1 Aglomerado colocado sobre la pieza termoconformada

A continuación se procede al reforzado del anverso de la bañera; mediante una pistola se “pinta” la superficie. Esta misma herramienta realiza la mezcla de resina de poliéster y fibra de vidrio (pequeñas tiras) de manera que la bañera queda recubierta de manera aleatoria (este método es conocido como spray-up). Una vez finalizado este proceso el producto se introduce en un horno, donde se acelera el proceso de endurecimiento de la resina. La temperatura de este nunca será muy elevada para evitar el reblandecimiento de la placa y deformación del artículo, aún así el endurecimiento de la resina muchas veces introduce tensiones que pueden crear pequeñas deformaciones sobre la superficie del producto.



Fig. 6.2.2 Pieza reforzada con resina y fibra de vidrio



6.3. Mecanizado

Último proceso para obtener el producto acabado y en el cual se obtiene el residuo. En este paso el producto se introduce en una maquina de corte que se encarga de quitar todo aquello sobrante de la bañera y el residuo a tratar.

Este mecanizado crea un corte por igual a lo largo de la pieza obteniendo así una forma de marco que es el rechazo de las bañeras y cuyo origen es la zona donde sujetan las mordazas la placa al molde y el principio de estiramiento de la placa.

También se debe considerar como residuo del proceso de mecanizado los orificios que se le crean a los productos; en el caso de los platos de ducha solamente el desagüe y en las bañeras (dependiendo del artículo), el desagüe, el rebosadero y orificios que se practican por los laterales de la bañera para la colocación del hidromasaje.



Fig. 6.3.1 Imagen del residuo generado para una bañera



7. Caracterización del residuo

Tal como se ha descrito en el apartado anterior el residuo obtenido se compone de placa acrílica, resina de poliéster y fibra de vidrio. A continuación se realizará una descripción de los diferentes componentes y sus propiedades.

7.1. Aspectos de la placa acrílica

Las placas utilizadas en el proceso de fabricación de estos productos se caracterizan por ser obtenidas de colada, su composición final es de un 90-95% PMMA y el resto son aditivos (estabilizadores, plastificantes, colorantes y desmoldeantes). Este tipo de placa además presenta una alta resistencia a los impactos, resistencia a los rayos UV, una buena estabilidad térmica y una baja absorción de agua. En la tabla 7.1.1 se presentan las propiedades de la placa utilizada en el proceso.

Características	Método	Unidades	BARLO CAST
GENERAL			
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	1,19
Dureza Rockwell	D-785	M escala	103
ÓPTICAS			
Transmisión luminosa	DIN 5036 T3	%	93.7
Índice de refracción	ISO 489	n _D ²⁰	1.49
MECÁNICAS			
Coefficiente de flexión	ISO 178	MPa	2900
Resistencia a la flexión	ISO 527	MPa	110
Coefficiente de tracción	ISO 527	MPa	3300
Resistencia a la tracción	ISO 527	MPa	82
Alargamiento		%	5.6
TÉRMICAS			
Temperatura Vicat (VST/B 50)	ISO 306	°C	117
Temperatura de deformación térmica (A)	ISO R 75	°C	113
Capacidad térmica específica	-	J/gK	1.47
Coefficiente de dilatación térmica lineal	DIN 53328	K ⁻¹ x10 ⁻⁵	6
Conductividad térmica	DIN 52612	W/mK	0.19
Temperatura de degradación		°C	>280
Temperatura máxima de uso-uso continuo		°C	80
Temperatura máxima de uso-uso durante período corto		°C	90
Temperatura de moldeo		°C	160-180
RESISTENCIA AL IMPACTO			
Izod (entallado)	ISO180	kJ/m ²	-
Charpy (entallado)	ISO 179	kJ/m ²	2
Charpy (sin entalla)	ISO 179	kJ/m ²	20.8
ELECTRICAS			
Constante dieléctrica 50 HZ	DIN 53483		3.6
Resistividad volumétrica	DIN 53482	Ω .cm	10 ¹⁵
Resistividad superficial	DIN 53482	Ω	10 ¹⁴
Resistencia dieléctrica	DIN 53481	kV/mm	30
Factor de disipación (50 HZ)	DIN 53483		0.06

Tabla. 7.1.1 Ficha de datos técnicos del fabricante [2]



El acrílico se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo y la presentación más frecuente que se encuentra en la industria del plástico es en gránulos ('pellets' en inglés) o en láminas. Los gránulos son para el proceso de inyección o extrusión y las láminas para termo conformado o para mecanizado. Dentro de la familia de los polímeros se incluye en el grupo de los termoplásticos.

Éstos se caracterizan porque a temperatura ambiente son rígidos, pero al elevar la temperatura por encima de un valor determinado, se vuelven blandos y moldeables. Esta temperatura es conocida como la temperatura de transición vítrea (T_g) y en el caso de las placas utilizadas tiene un valor cercano a los 115° C (observar tabla 7.1.1). Sus propiedades no cambian si se funden y se moldean varias veces, siempre y cuando no superemos la temperatura de degradación. Entre sus cadenas presentan fuerzas de Van der Waals que, al aumentar la temperatura, se debilitan, y por ello estos plásticos se reblandecen.

Es un plástico transparente (debido a su estructura amorfa) y se caracteriza por presentar dentro de la familia de los polímeros unas de las mejores propiedades en cuanto a propiedades ópticas, resistencia a la intemperie y resistencia al rayado. Para el proceso productivo del fabricante de bañeras y platos de ducha se compra coloreado, según su gama de colores de producto, perdiendo así todas sus características ópticas. Uno de los principales problemas de este polímero es que se caracteriza por ser bastante frágil, pero si padece un rayado superficial, éste puede ser eliminado mediante un pulido.

Sus principales aplicaciones derivan de sus propiedades ópticas, como sería su uso en lentes o como el sustituto del vidrio en muchas aplicaciones debido a su resistencia al impacto (cristaleras, bóvedas, etc.), también es utilizado por su aspecto superficial en mobiliario.

7.2. Aspectos de la resina de poliéster

Las resinas de poliéster son una variedad de líquidos de diferentes viscosidades compuestos por la mezcla de un poliéster insaturado producto de la condensación lineal de un diácido (maleico, ftálico, adíptico) con un dialcohol (propilenglicol, etilenglicol, neopentilglicol), disuelto en un monómero insaturado (generalmente estireno). Dentro de la familia de los polímeros estas se incluyen en el grupo de los termoestables, son materiales infusibles e insolubles.

El endurecimiento de la resina por polimerización consiste en la unión de las cadenas lineales obtenidas por condensación del diácido con el dialcohol a través de las moléculas de monómero insaturado, proceso llamado reticulación y que se produce en la polimerización final. Las cadenas creadas forman una red tridimensional espacial entrelazándose con



fuertes enlaces covalentes. La estructura así formada toma el aspecto macroscópico de una única molécula cuya forma se fija de forma permanente, debido a que la movilidad de las cadenas y los grados de libertad para rotación en los enlaces es prácticamente cero. Por esto no se reblandecen y se consideran estables hasta la temperatura de degradación.

En este proceso no se produce ningún desprendimiento del producto y el proceso es exotérmico (con generación de calor). Para provocar la reacción de la polimerización es necesaria la adición de un catalizador, generalmente un peróxido orgánico. La temperatura a la que procede la reacción depende del peróxido utilizado y del agente acelerante incorporado.

La resina de poliéster endurecida por polimerización es un sólido, generalmente transparente (aunque el fabricante de bañeras y platos de ducha le adiciona colorante para que al recubrir la bañera no se vean zona traslúcidas), de propiedades mecánicas y químicas muy diversas dependiendo de las materias primas utilizadas, pero cuya aplicación se ve muy limitada por su poca resistencia a la tracción y al impacto.

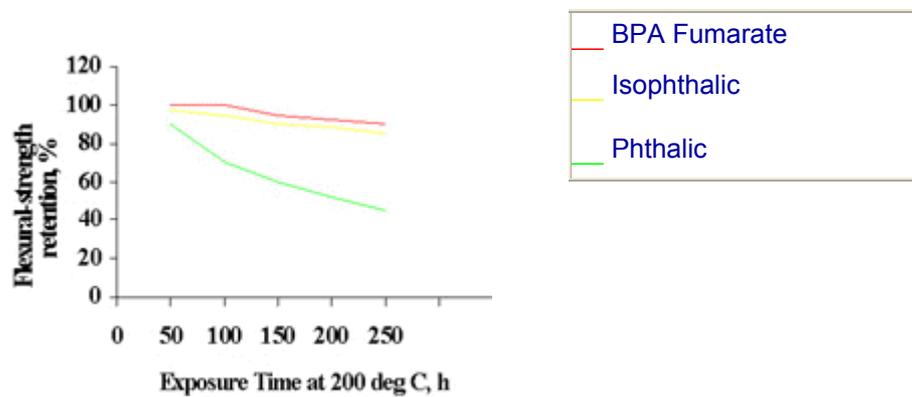
Product specifications at 25°C	
Flash point, Seta closed cup, °F	89
Shelf life, minimum, months	3
Specific gravity	1.10–1.20
Weight per gallon, lb	9.15–10.0
% styrene monomer	31–35
Viscosity, Brookfield model LVF, #3 spindle at 60 r/min, cP	650–850
Gel time	
150–190°F, min	4–7
190°F to peak exotherm, min	1–3
Peak exotherm, °F	385–425
Color	Amber clear
Typical physical properties (clear casting)	
Barcol hardness (ASTM D 2583)	47
Heat-deflection temperature, °C (°F) (ASTM D 648)	87 (189)
Tensile strength, lb/in ² (ASTM D 638)	8000
Tensile modulus, 10 ⁵ lb/in ² (ASTM D 638)	5.12
Flexural strength, lb/in ² (ASTM D 790)	13,500
Flexural modulus, 10 ⁵ lb/in ² (ASTM D 790)	6.0
Compressive strength (ASTM D 695)	22,000
Tensile elongation, % at break (ASTM D 638)	1.5
Dielectric constant (ASTM D 150)	
At 60 Hz	2.97
At 1 MHz	2.87
Power factor	
At 1 kHz	0.005
At 1 MHz	0.017
Loss tangent at 1 MHz	0.017

Tabla. 7.2.1 Propiedades de una resina de poliéster típica [3]



Aunque su valor a flexión empieza a ser considerable, según la tabla 7.2.1 un poliéster típico tiene un valor de 93 MPa (13500 lb/in²).

Uno de los principales problemas de las resinas de poliéster es que son susceptibles a la termo-oxidación, es decir, a medida que aumentemos la temperatura de servicio la resina irá perdiendo sus propiedades. Esto es debido al elevado grado de cadenas libres que quedan después de la reticulación. A medida que nos acercamos a su temperatura de distorsión por calor (HDT), la estructura de estas resinas se vuelve amorfa y flexible, comenzando a tener un estado gomoso. Este defecto también es variable en función de los diferentes componentes que forman la resina, tal como se observa en la gráfica 7.2.2.



Gráfica. 7.2.2 Variación de la flexión en función del diácido y la temperatura [4]

Para mejorar los inconvenientes que presenta la resina de poliéster, se refuerza usualmente con fibra de vidrio y el conjunto presenta propiedades mecánicas excepcionales. Si tenemos en cuenta la baja densidad de un laminado con respecto a un metal, resulta que las propiedades mecánicas del laminado plástico en muchos casos son superiores, cuando nos referimos a igualdad de peso.

Las diferentes resinas pueden ser utilizadas para producción manual, aspersión, inyección, coladas, filament winding, producción de chapas, carrocerías masillas, matriceria, etc. Las propiedades físicas que posee la resina la llevan a ser un material cada día más utilizado. Estas proporcionan más dureza o más flexibilidad, mejor resistencia a la intemperie, al agua o diversos corrosivos, en función de los aditivos.

Todo esto posiciona a la resina como un material para infinitos desarrollos y múltiples usos con muy buenas propiedades. Las resinas reemplazan muchos productos debido a sus



cualidades y su extensa vida útil. Además cabe destacar su extendido uso industrial ya que dentro de las resinas se considera la más económica.

7.3. Aspectos de la fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos (espirinette) y al solidificarse tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra [5].



Fig. 7.3.1 Imagen de fibras de vidrio entrelazadas [5]

Existen varios tipos de fibra de vidrio en función del vidrio del cual son originales, así de esta manera se pueden clasificar varias clases en función de sus aplicaciones y orígenes. El primero que apareció fue el conocido como tipo E, es el más común y más utilizado en la actualidad (cerca del 90 %). También tenemos de de tipo R, este se utiliza en aplicaciones técnicas y el que presenta mejores propiedades mecánicas (observar tabla 7.3.2). El conocido como tipo D tiene muy bajas pérdidas eléctricas y son entonces usados como un material que es permeable a ondas electromagnéticas. El AR se caracteriza por su alta resistencia a los álcalis debido a su alto contenido en óxido de circonio, su principal aplicación es el refuerzo del cemento. Por último tenemos al tipo C, éste se caracteriza por ofrecer una gran resistencia a la corrosión [6].



Propiedades	E Glass	D Glass	R Glass	AR Glass	C Glass
Densidad ρ	2.60 g/cm ³	2.14 g/cm ³	2.53 g/cm ³	2.68 g/cm ³	2.53 g/cm ³
Resistencia a la tensión: Filamento virgen	3400 MPa	2500 MPa	4400 MPa	3000 MPa	
Fibra impregnada en un compuesto	2400 MPa	1650 MPa	3600 MPa		
Módulo de tensión	73000 MPa	55000 MPa	86000 MPa	73000 MPa	
Resistencia a la ruptura	4.5 %	4.5 %	5.2 %	4.30 %	

Tabla. 7.3.2 Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio [6]

Propiedades	E Glass	D Glass	R Glass	AR Glass	C Glass
Contenido de unidad	< 0.1 %	< 0.1 %	< 0.1 %	< 0.1 %	
Conductividad térmica λ	1.0 W/m.K				
Coefficiente de expansión térmica lineal α (entre 20 y 100 oC)	5.10^{-6} m/m/°K	$3.5.10^{-6}$ m/m/°K	4.10^{-6} m/m/°K	5.10^{-6} m/m/°K	94.10^{-7} m/m/°C

Tabla. 7.3.3 Propiedades térmicas de la fibra de vidrio [6]

Propiedades	E Glass	D Glass	R Glass	AR Glass	C Glass
Fuerzas Dieléctricas	8-12 kV/mm				
ϵ_a a 1 MHz	6.4 - 6.7	3.85	6.0	8.1	
ϵ_{tg} a 1 MHz	0.0010- 0.0018	0.0005	0.0019		
Efecto de temperatura: resistencia a la tensión modificada de	300°C		350°C		
100 % de pérdida a	600°C		730°C		
Inflamabilidad	No inflamable	No inflamable	No inflamable	No inflamable	
Temperatura de transformación (punto de derretimiento)	846°C	775°C	985°C	773°C	689°C
DGG acc DIN 1211					17.5 mg

Tabla. 7.3.4 Propiedades dieléctricas y otras de la fibra de vidrio [6]



Las principales propiedades que a destacar de este material son:

- Fuerza mecánica, el filamento de vidrio presenta una resistencia específica (resistencia a la tensión/masa volumétrica) superior al acero.
- Propiedades eléctricas, es excelente como aislante eléctrico.
- Resistente a la intemperie, posee una gran dificultad para deteriorarse.
- Posee una gran estabilidad dimensional, no le afectan las variaciones de temperatura o humedad. Además de una ejercer de aislante térmico.
- Alta compatibilidad con matrices orgánicas.
- Alta resistencia a agentes químicos.

La fibra de vidrio que actualmente se utiliza en el reforzado de bañeras y platos de ducha es la conocida como roving, Éste está formado por mechas que contienen varios filamentos enrollados. Spray-up es el más económico y más común de los procesos para fabricar productos de fibra de vidrio.

Con spray-up, el roving de fibra de vidrio alimenta una pistola con cortador (chopper), el cual corta fibra de vidrio en longitudes predeterminadas. Esta fibra de vidrio va directamente a un flujo de resina. La combinación de estos materiales es dirigida a la superficie inferior de la pieza, recubriéndola en su totalidad. El roving para pistola es manufacturado a partir de filamentos continuos de fibra de vidrio, sin torceduras mecánicas y es empaquetado en tubos que se entregan listos para ser usados en las operaciones del cliente. También debe contener aditivos especiales para mejorar su manipulación y optimizar el enlace fibra-resina en el compuesto. Las principales características del roving son [7] :

- Excelente trabajabilidad
- Baja estática y poca pelusa
- Buena dispersión y cortabilidad
- Debe aumentar la calidad del laminado y reducir los desperdicios
- Debe tener alto poder de mantener la resina
- Debe dejarse usar por todos los tipos de equipos spray-up
- Debe tener un rápido y completo humectado



Estas propiedades y el bajo precio de sus materias primas, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales a la fibra de vidrio, aunque hay que destacar que el polvo que desprende este producto puede ser cancerígeno y se debe tener mucho cuidado en su proceso de transformación ya que irrita la piel.



8. Tratamiento actual del residuo

En la actualidad este residuo no puede ser directamente desechado como si fuera un residuo cualquiera. Debe ser gestionado por una empresa que se encarga de la recogida y su posterior tratamiento para ser eliminado. Aunque realmente en la actualidad se conoce que simplemente es llevado a un vertedero existente para este tipo de residuos.

Este proceso supone para la empresa un gran desembolso ya que no solamente se debe pagar por su transporte y su eliminación, sino que además se debe disponer de un espacio único y reservado para la acumulación del residuo.

Según datos internos de la empresa en el año 2004 se encargaron dos empresas de realizar este tratamiento del residuo. La primera se encargó de la eliminación de 844 t de residuo a un coste de 40,83 €/t y la otra de 700 t a 30,5 €/t. Además a esto se debe cargar el coste del transporte, considerando que en cada viaje se llevan 3,5 t de residuo a un coste de 90 € el trayecto. Realizando unos cálculos, el tratamiento actual de los residuos supone una inversión de 95.513,4 € anuales (teniendo en consideración datos del año 2004, seguramente el coste es mayor debido al incremento de los hidrocarburos de los últimos dos años).

Resumiendo actualmente estos residuos presentan un gran problema; tanto desde el punto de vista ecológico, ya que cada año se lanzan a un vertedero más de 1500 t de residuo de difícil eliminación o reutilización, como desde el económico. Ya que se debe considerar que desde el inicio de fabricación estamos tirando materia prima, que una vez convertido en desecho necesita un espacio para su almacenaje y que la eliminación de este supone un desembolso para la empresa.



9. Nueva propuesta para el tratamiento del residuo

Después de analizar el proceso de fabricación de una bañera o plato de ducha, se observó que uno de los actuales componentes que los forman es en si un residuo. Si nos fijamos bien la plancha de madera aglomerada que se coloca en el fondo no es más que residuo de madera triturado, posteriormente encolado y compactado. Entonces de aquí viene la idea, sustituir esta plancha de aglomerado de madera por otra de aglomerado de residuo de bañera. De esta manera se solventan muchos de los problemas que en la actualidad presenta la fabricación de estos productos.

En primer término toda la materia prima que se utiliza en la obtención de estos productos sería reaprovechada en el propio producto. Segundo, todos los costes que en la actualidad producen la eliminación de los residuos desaparecerían y además se produciría un doble ahorro ya que el coste que supone en la actualidad la compra de las planchas de madera se vería reducido o anulado. También se debe añadir la mejora en calidad que supondría este hecho, ya que actualmente en algunas versiones de las bañeras con hidromasaje perforan el fondo de estas para colocar componentes de hidromasaje y se han dado casos de fugas de agua por estos orificios. Si consideramos que este agua es absorbida por la madera del fondo y es susceptible a pudrirse y por tanto reducir el ciclo de vida del producto, la sustitución de esta por las nuevas supondría una gran mejora de calidad en los artículos comercializados.

También cabe destacar que si el nuevo material tuviera unas mejores propiedades seguramente se podría reducir su espesor y ayudaría a superar mejor la normativa, en especial la de bañeras (UNE – EN 198). En ésta se hace referencia a la deformación en el fondo de la bañera que no debe ser superior a ciertos valores bajo una carga determinada aplicada.

9.1. Obtención del nuevo material

Este es el punto de partida del proyecto, como conseguir un nuevo material a través de la transformación de un residuo ya existente, realizar los análisis pertinentes para determinar si puede sustituir a la actual madera refuerzo realizada en aglomerado que se usa en los productos analizados y además comprobar su viabilidad tanto económica como de industrialización.

El primer paso a seguir es la obtención de un residuo homogéneo que permita su posterior manipulación. De cada bañera o plato de ducha se obtiene una cantidad de residuo variable,



la mejor opción para conseguir la materia prima para la obtención del material es triturar estos desechos.

Existen empresas que nos ofrecen máquinas trituradoras que no son más que molinillos industriales. El funcionamiento de estos consiste en la introducción del residuo en su interior haciéndolo pasar por una serie de cuchillas, estas son fabricadas en función de cada tipo de residuo y aplicando la aleación de acero más apropiada. Este factor es muy importante ya que las cuchillas de la trituradora escogida van a estar sometidas a un desgaste muy importante, esto es debido a que el residuo a tratar posee fibra de vidrio, caracterizándose ésta por su elevado poder abrasivo. Al final de la máquina se obtiene el residuo transformado en partículas de tamaño homogéneo y nunca superior al tamaño predefinido de 5mm.

Una vez se tiene la materia prima para el nuevo material el siguiente paso consiste en encontrar el sistema más apropiado para poder unir estas partículas. Se estudiaron tres posibles hipótesis de transformación y así determinar cual sería la más válida.

9.1.1. Aprovechar las propiedades del acrílico

Se realizó un estudio de mercado para determinar como estaba hoy en día el reciclado de plástico y se localizó una empresa que se dedicaba al reciclaje de materia prima con características similares a la de este estudio.

Esta empresa (“Lasentiu”), observó que la producción y utilización de materiales provenientes del reciclado de residuos cada vez tenía más importancia en nuestra economía actual; y que cada vez son más las empresas que están sustituyendo parte de sus materias primas convencionales, como la madera y los aglomerados tradicionales, por materiales ecológicos, compuestos de materiales de recuperación. Este es uno de los puntos que llamó la atención, ya que en nuestro caso buscamos la sustitución de un aglomerado.

La empresa se dedica a aprovechar los materiales de desperdicio que proceden de los residuos sólidos (contenedores “igloos” de color amarillo de la recogida selectiva) que actualmente son enviados al vertedero o son incinerados; de la misma manera que sucede en la actualidad con los residuos provenientes de la fabricación de piezas acrílicas reforzadas. Su principal objetivo es transformar este residuo en un nuevo material que después es convertido en piezas acabadas.

El material obtenido lo han denominado como Syntrewood®. Es un material plástico, reciclado 100% y 100% reciclable, obtenido del tratamiento de residuo selectivo de envases. Es hidrófugo, inalterable a las condiciones atmosféricas, no tóxico, sin colas ni adhesivos [8].





Fig. 9.1.1.1 Aspecto de la superficie de Syntrewood® en una pieza acabada [8]

COMPOSICIÓN:

- Entre un 85-90% de Poliolefinas:

Polipropileno, Ej.: tapones botellas

Poliétileno, Ej.: bolsas

Poliétileno HDPE (alta densidad), Ej.: botellas detergentes

- Entre 10-15% de papel, cartón, tejido, PET, aluminio (procedente de tetrabriks)

Lo realmente interesante para nuestro estudio es la obtención de esta materia prima y su posterior tratamiento, para poder observar si es aplicable al residuo obtenido de bañeras y platos de ducha.

El primer proceso por el que pasan los residuos de los envases es un triturado, en el cual se obtiene una materia prima homogénea y de tamaño similar entre las diferentes partículas. El siguiente paso consiste en aprovechar las propiedades termoplásticas de los principales componentes del nuevo material (polipropileno, polietileno y polietileno de alta densidad). En este proceso la granza de residuo se hace pasar por un husillo extrusor, obteniendo al final de este proceso una pasta de fácil modelado que permite su transformación, no se pasa de este estado pastoso ya que al ser una mezcla, algunos de los componentes se podrían degradar.



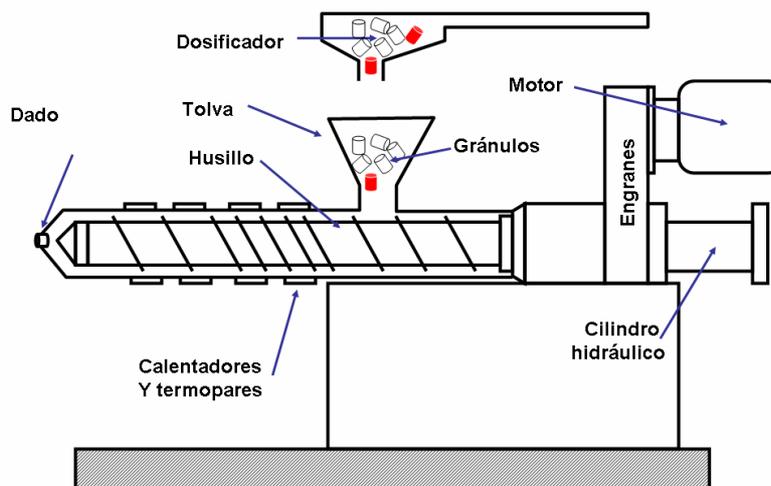


Fig. 9.1.1.2 Esquema del funcionamiento de un husillo extrusor [9]

Por último una máquina recoge las diferentes porciones de pasta que salen de este usillo y las deposita en diferentes moldes de prensado. A continuación se activa el pistón y la pasta coge la forma definitiva del objeto escogido. Acostumbra a ser piezas de geometría bastante sencilla y de fácil desmoldeo, no se les suele exigir grandes propiedades mecánicas, ni tolerancias dimensionales precisas.

Se pensó en utilizar este proceso para el residuo obtenido en la fabricación de bañeras. De esta manera se intentaría aprovechar las propiedades termoplásticas del acrílico que nos haría de base para el nuevo material y dejar la fibra de vidrio y la resina como carga o material de relleno; tal y como sucede en la actualidad con el papel, el cartón, etc. en el Syntrewood®.



Fig. 9.1.1.3 Piezas realizadas con Syntrewood® [8]



Se hizo un estudio de la viabilidad de esta idea. Resultó ser bastante buena aunque surgieron algunos temas a tener en cuenta.

La primera consideración fue los porcentajes de material termoplástico frente a otros que no lo son; en el caso del Syntrewood® este porcentaje ronda el 90% del material, en el del residuo a tratar este porcentaje disminuye bastante. Por tanto, nuestro nuevo material no fluiría de la misma manera que el original.

El siguiente factor a considerar fue la utilización de la maquinaria de la empresa para este propósito. El resultado fue muy negativo, ya que no solamente el material tendría más dificultad para fluir, si no que además su carga resulta muy perjudicial para el proceso. Al tratarse de fibra de vidrio, ésta se caracteriza por ser un material muy abrasivo que afectaría gravemente al husillo y también a la boquilla extrusora. Además también se debe considerar el gran desgaste que padecerían los moldes de estampación al deslizarse por su interior el nuevo material.

Otro factor a tener en cuenta es la inversión a realizar, para cada tipo de pieza se debería realizar un molde de estampación, cuyo coste no es nada barato. Además sería necesario invertir en un pistón de mayor calibre, debido a la dificultad de fluencia del material y además existen unas limitaciones de dimensiones máximas (700x400mm) que impiden la realización de muchos refuerzos de bañera o plato de ducha ya que las exceden.

Todos estos condicionantes hicieron desestimar esta vía de transformación del residuo del acrílico debido a la cantidad de inconvenientes que se presentaban, pese a tratarse de una solución muy buena y que no necesitaría un gran desarrollo tecnológico porque ya existe para un proceso y una obtención de piezas similares.

9.1.2. Utilizar una cola de base acrílica

Se consideró realizar para la obtención del nuevo material un proceso de similares características al utilizado hoy en día en la obtención del refuerzo del fondo de los artículos. Este consiste en coger las partículas de madera y unir las entre sí mediante un adhesivo (normalmente resina en base de urea formaldehído), esto es lo que se conoce como aglomerado.

Estos se constituyen a partir de pequeñas virutas encoladas a presión en una proporción de 90% virutas y 10% cola. Se fabrican de diferentes tipos en función del tamaño de sus partículas, de su distribución por todo el tablero, así como por el adhesivo empleado para su fabricación. Por lo general se emplean maderas blandas más que duras por facilidad de trabajar con ellas, ya que es más fácil prensar blando que duro.



Aunque pueda parecer un proceso sencillo la materia prima pasa por muchos procesos hasta que es transformada en el resultado final. De esta manera las virutas de madera son secadas para evitar problemas de humedad, tamizadas para controlar el tamaño, mezcladas con la cola y los diferentes aditivos, se forma la mezcla, se prensa en caliente y una vez enfriada se prepara (escuadre, lijado, etc...).

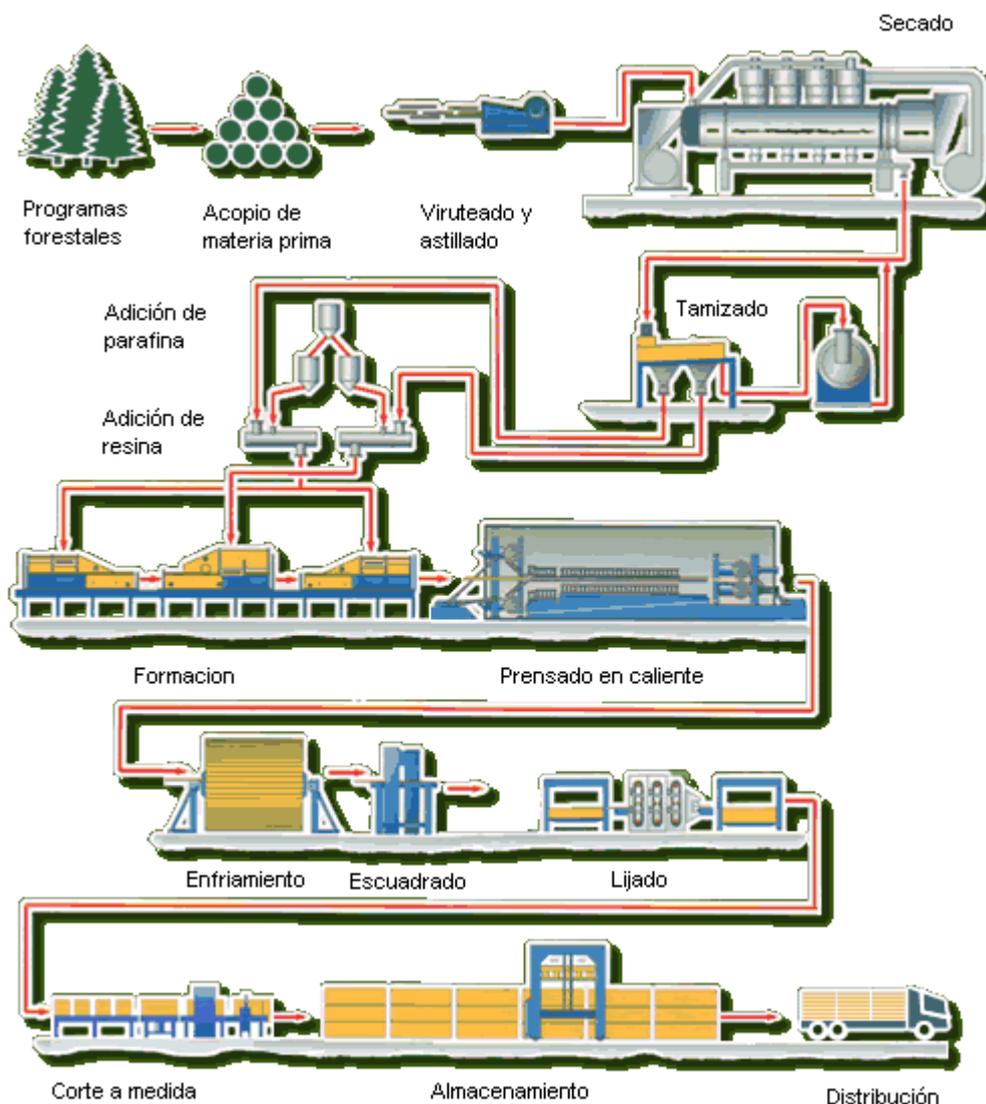


Fig. 9.1.2.1 Proceso de fabricación de un aglomerado [10]

La mayoría de los tableros aglomerados son relativamente frágiles y presentan menor resistencia a la tracción que los contrachapados debido a que los otros tienen capas superpuestas perpendicularmente de chapa que dan bastantes mas aguante.



Estos tableros se ven afectados por el exceso de humedad, presentando dilatación en su grosor, dilatación que no se recupera con el secado. No obstante se fabrican modelos con alguna resistencia a condiciones de humedad.

Se estudio la posibilidad de utilizar un sistema similar de encolado para unir las partículas de residuo de bañera que habíamos obtenido en la fabricación de bañeras y platos de ducha, pero el adhesivo a utilizar tenía que tener unas propiedades muy diferentes al actual (resina en base de urea formaldehído, mayoritariamente). Este adhesivo se caracteriza por ser un termoestable que empapa las virutas (recordemos que estas absorben humedad) y una vez curada esta resina las deja unidas entre ellas.

En el caso de nuestro residuo, las partículas que hemos obtenido en el triturado de bañeras y platos de ducha no se caracterizan por su capacidad de absorber humedad, por el contrario son más bien aislantes. Por tanto, si intentáramos obtener una placa de este residuo a base de usar esta resina, lo único que obtendríamos serian partículas recubiertas (el adhesivo no sería capaz de penetrar dentro), de manera que la resistencia de las placas sería muy mediocre ya que realmente se dependería de las propiedades mecánicas de esta resina, produciéndose roturas adhesivas entre partícula y matriz.

Debido a esto se decidió aplicar un adhesivo que fuera compatible con las partículas del residuo a estudio. El más apropiado para el caso era un adhesivo de base acrílico, que se caracteriza por poseer unas grandes propiedades mecánicas y además al ser base acrílico interactuaría con las partículas del residuo. Para poder llevar a término este proceso de fabricación se contactó con diferentes proveedores y fabricantes de adhesivos, entre ellos uno de los más importantes de la industria como es 3M.

Después de analizar el caso, se llegó a la conclusión de que la solución no era viable debido a que este tipo de adhesivos no son los más recomendables para una aplicación industrial de gran volumen. Esto es debido a que estos adhesivos se consideran de tipo técnico, se aplican en productos muy determinados con grandes requerimientos y no se usa gran cantidad, además no son económicos. Por eso, intentar usar este tipo de adhesivos en la unión de residuos de bañera y plato de ducha no es la opción más recomendable; ya que estamos sobredimensionando los requerimientos técnicos de nuestro producto a obtener de manera innecesaria y la cantidad solicitada de adhesivo para poder obtener una placa sería tal que hace económicamente inviable la solución.

9.1.3. Utilizar la resina

La solución más viable para resolver la adhesión entre partículas formaba ya parte del propio residuo, no hacía falta buscar más allá, era un material ya disponible y de manipulación ya conocida. El producto que nos permitiría realizar esto es la propia resina que se utiliza para reforzar las bañeras y platos de ducha, además su adhesión y



propiedades son más que conocidas ya actualmente. De esta manera aglomeraríamos las partículas añadiendo resina, realmente es una solución muy similar a la anterior donde la cola hace de cohesionante entre partículas.

Respecto el proceso de fabricación existen dos opciones para obtener la pieza final. En ambos la obtención del material es muy sencilla, a la resina se le añadiría el residuo como si fuera una carga, aunque en una cantidad bastante considerable. Una vez obtenido el material final ya mezclado al resultado final se llega por dos caminos.

En un primer caso por colada del material en un molde de dimensiones considerables y con forma de plancha, del cual se obtendrían piezas de grandes dimensiones. Posteriormente estas piezas de grandes dimensiones se mecanizarían en la máquinas que actualmente mecanizan las propias bañeras (sabemos que son capaces de cortar piezas realizadas de resina, fibra de vidrio y acrílico), obteniendo de esta manera piezas finales con la dimensiones requeridas.

En el segundo caso el proceso es muy similar pero a menor escala. Las piezas se realizarían también por colada del material en molde, pero en lugar de tener un molde grande, la idea sería tener un molde diferente para cada pieza. De esta manera, el producto obtenido de cada molde es una pieza ya terminada sin necesidad de realizarle ningún otro tipo de operación.

Respecto a la complejidad del molde al tratarse de piezas que no tienen unos grandes requerimientos dimensionales, ni formas geométricas complejas, este podría ser de madera con el negativo de la pieza mecanizado.

9.2. Creación de las primeras muestras

Una vez encontrada la manera de obtener nuestro nuevo material a base de reciclado de bañera y plato de ducha se procedió a realizar unas muestras para poder comparar el nuevo material con el usado actualmente. La obtención de estas primeras muestras fue de manera totalmente artesanal y seguramente no arrojen un resultado tan fidedigno como si estuvieran realizadas por el sistema descrito con anterioridad, pero para hacernos una idea de aquello que estamos intentando considerar son más que válidas.

Tal como se comenta con anterioridad el primer paso a seguir para la obtención del material pasa por el triturado del residuo. En este caso el triturado de la materia se hizo a mano ya que no se disponía de ningún tipo de herramienta para triturar o similar. A continuación y para obtener una tamaño de partícula lo más similar posible a la obtenida en una trituradora real y una materia prima lo más homogénea posible en tamaño se paso todo el material por un tamiz con un agujero de 6mm de diámetro.





Fig. 9.2.1. Residuo triturado manualmente y pasado por un tamiz con 6mm de diámetro.

Una vez obtenida la materia prima se procedió a la creación de las probetas que se emplearían para la realización de los análisis comparativos. Para ello se realizaron unos moldes de madera muy sencillos en los cuales se daría forma a las piezas definitivas. Se realizaron dos moldes de diferente espesor (observar imagen 9.2.2) para analizar el comportamiento del nuevo material en función de este valor.

Estos moldes no eran más que unas bases sencillas de aglomerado, a las cuales se les hizo unas celdas con forma de ortoedros que nos servirían como probetas para los ensayos comparativos posteriores. Las dimensiones de estas son de 100mm de largo por 20mm de ancho y tal como se ha comentado antes con diferente profundidad. Para facilitar el desmoldeo de las piezas se recubrieron los moldes con un film plástico al cual no se adhiere la resina, como sí hubiera pasado en el caso de aplicarla directamente.





Fig. 9.2.2. Moldes artesanales para la fabricación de las probetas.

Los espesores seleccionados fueron 15 mm y 10mm. El primer valor vino determinado por el espesor actual del aglomerado, al tratarse de un aglomerado standard su espesor es 16 mm., por eso se consideró lógico realizar probetas de un grosor similar.



Fig. 9.2.3. Molde para realizar probetas de espesor 15mm.



El otro valor no tiene un motivo determinado simplemente se escogió para poder determinar si era posible realizar planchas de espesor menor y por tanto reducir peso y coste.

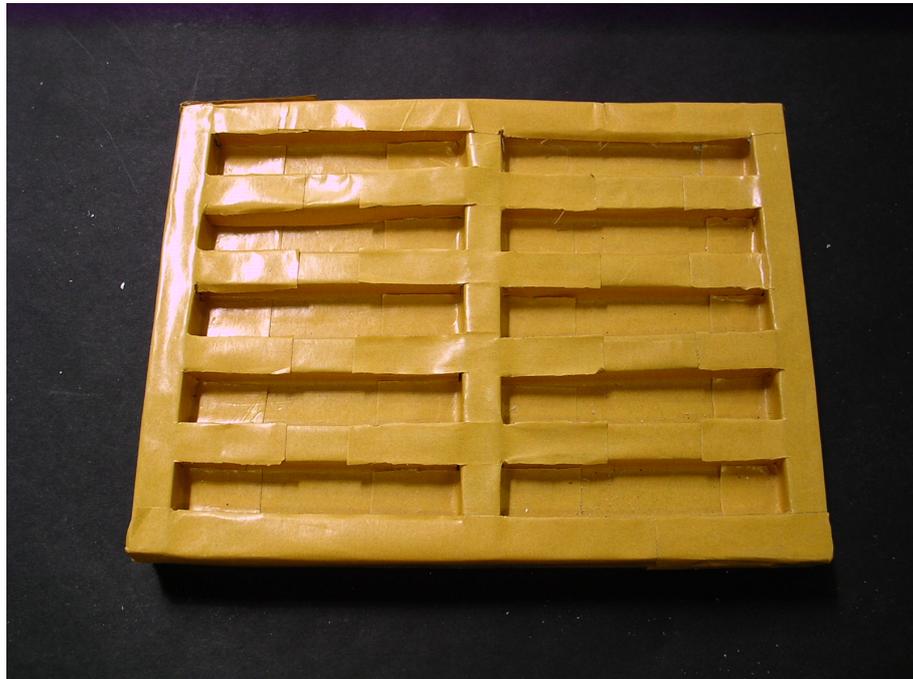


Fig. 9.2.4. Molde para realizar probetas de espesor 10mm.

El proceso de fabricación también fue bastante artesanal pero se intentó que todas las probetas fueran lo mas homogéneas posibles. Para esto se depositó la misma cantidad de residuo en cada una (pesado en báscula) y a continuación se relleno con resina. Mientras se realizaba este proceso el residuo se iba agitando para asegurarnos que la resina penetraba bien en el interior y se mezclaba todo bien, obteniendo la mínima cantidad posible de poros en la pieza que alterarían su comportamiento. Por último y para finalizar el proceso, se aplanaba la superficie superior de las piezas y se retiraba cualquier exceso de resina.

Este proceso se tuvo que realizar de esta manera debido a que la resina de la que disponíamos era la que actualmente se utilizaba en la línea de producción y curaba tan rápidamente, que si nos parábamos a realizar la mezcla en un recipiente y posteriormente la intentábamos colar, antes de salir por la boca del recipiente nuestro material estaba ya en un proceso muy avanzado de solidificación (curado) y no permitía rellenar correctamente las cavidades de los moldes.

A continuación se dejó curar las piezas durante un día entero, ya que al no introducir las en un horno como se realiza con las bañeras y platos de ducha en la actualidad, necesitaba pasar el suficiente tiempo para asegurarnos que había fraguado bien su interior. Una vez



pasado el tiempo se extrajeron las piezas de los moldes y se procedió a su clasificación y posteriormente se pesaron.

Se realizaron 10 muestras de cada y se codificaron siguiendo como criterio su espesor y un número correlativo, de esta manera las de espesor de 10mm se codificaron del 100 al 109 y las de espesor de 15mm del 150 al 159. El peso de la probeta se hizo para poder determinar la densidad de material y la dispersión de resina que existían entre unas y otras muestras.

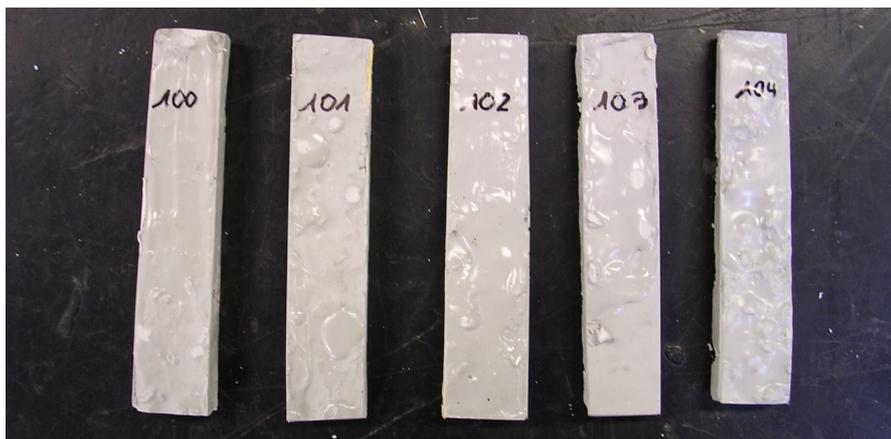


Fig. 9.2.5. Probetas realizadas con el residuo, de espesor 10mm y codificadas del 100 al 104.

Muestra	Peso residuo (g)	Peso total (g)	Peso resina (g)
100	7	29	22
101	7	27	20
102	7	29	22
103	7	28	21
104	7	25	18
105	7	24	17
106	7	28	21
107	7	24	17
108	7	26	19
109	7	22	15
Media	7	26,2±2,4	19,2±2,4

Tabla. 9.2.6. Valores de peso en gramos para las probetas de 10mm.





Fig. 9.2.7. Probetas realizadas con el residuo, de espesor 15mm y codificadas del 150 al 154.

Muestra	Peso residuo (g)	Peso total (g)	Peso resina (g)
150	13	54	41
151	13	42	29
152	13	43	30
153	13	52	39
154	13	37	24
155	13	37	24
156	13	43	30
157	13	38	25
158	13	41	28
159	13	42	29
Media	13	42,9±5,8	29,9±5,8

Tabla. 9.2.8. Valores de peso en gramos para las probetas de 15mm.

Para poder realizar los análisis comparativos pertinentes se realizaron unas probetas con el actual material aglomerado. Esto es debido a que se pretendió hacer como una especie de probeta standard para que los resultados obtenidos pudieran ser comparados entre ellos de manera equitativa.

Se mecanizaron de una plancha de 16mm de espesor 10 probetas con las mismas dimensiones que las fabricadas anteriormente (100x20). A continuación se codificó de una manera similar a las piezas realizadas con el nuevo material, se puso como primera letra de referencia una M (de madera) y el siguiente un número correlativo, quedando codificadas del



M0 al M9. Por último fueron pesadas de la misma manera que las anteriores para poder tener más datos comparativos.

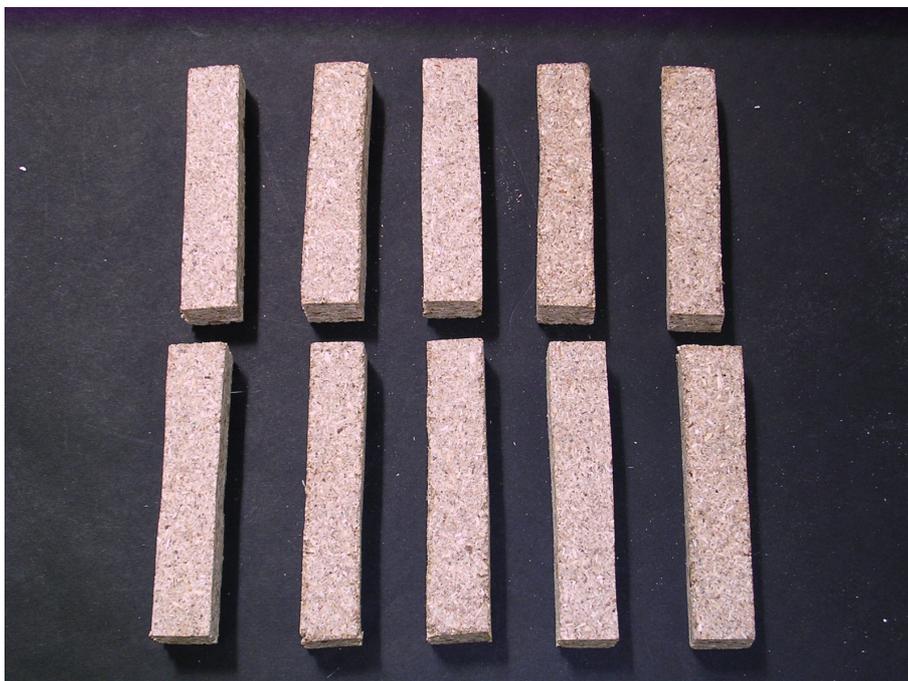


Fig. 9.2.9. Probetas realizadas del aglomerado actual, de espesor 16mm y codificadas del M0 al M9.

Muestra	Peso total (g)
M0	23
M1	21
M2	22
M3	22
M4	22
M5	22
M6	22
M7	21
M8	21
M9	20
Media	21,6±0,8

Tabla. 9.2.10. Valores de peso en gramos para las probetas de aglomerado.



10. Realización de ensayos

A continuación se procedió a realizar los ensayos que nos permitieran determinar las propiedades del nuevo material.

El primer ensayo que se realizó fue una calcinación que nos caracterizara correctamente el residuo, de esta manera, sabremos concretamente los porcentajes y composición en acrílico, resina y fibra de vidrio que posee el residuo.

Para poder caracterizar el residuo se decidió hacer una calcinación de 5 muestras de bañera y otras 5 de plato de ducha.

Esta clasificación se escogió principalmente debido a que existen ligeras diferencias entre ambos productos. Por ejemplo el espesor de placa es mayor en una bañera debido a que debe deformar más, ya que son mucho más profundas. También se debe tener en cuenta que la realización de estos artículos suele ser bastante artesanal y no se puede determinar una cantidad estequiométrica de placa y refuerzo (resina + fibra de vidrio).

Así con la realización de esta calcinación se intenta establecer unos parámetros medios de porcentaje de cada componente en el residuo.

A continuación se realizaron ensayos mecánicos a ambos materiales (actual y nuevo), para obtener datos comparativos entre ambos materiales. Así, se podrá determinar si el nuevo material creado a partir de los residuos generados en la obtención de bañeras y platos de ducha sería capaz de mejorar o al menos igualar las propiedades actuales de la madera aglomerada. Se escogieron dos ensayos que simbolizaban de mejor manera la interacción actual de la madera aglomerada con el producto.

El primer ensayo a realizar fue un ensayo a flexión. Este ensayo vino determinado por la normativa actual de bañeras (EN 198) [11], en la que se debe medir la deformación en el fondo de una bañera y esta no debe superar unos valores determinados. La deformación en el fondo de las bañeras viene dada por dos ensayos diferentes.

En el primero se coge una bañera con patas y se le colocan 150 Kg. en el fondo de ésta, a continuación se deja actuar este peso durante 15 minutos y se toma con un comparador (medidor de deformaciones) la variación de altura del punto central en el fondo de la bañera, este valor nunca debe ser superior a 2mm. En el segundo tipo de ensayo de deformación se realiza un proceso similar, pero la carga en lugar de colocarse de manera distribuida se coloca concentrada y el valor no debe superar 3mm. Para llevar esto a cabo se utilizan unos sacos normalizados de 12,5Kg cada uno y de unas dimensiones determinadas.



Realmente si nos ponemos a analizar estos ensayos, observamos que se trata de un ensayo de flexión en el cual estamos midiendo la flecha de nuestra viga. Por tanto, tal como se comentado anteriormente lo más interesante es realizar un ensayo de flexión a nuestra probetas para determinar su comportamiento.

En siguiente ensayo a realizar para comparar los dos materiales fue un ensayo de adhesión. Esto es debido, a que uno de los principales problemas y que más se intentan controlar durante el proceso de fabricación de bañeras y platos de ducha es la interacción entre el acrílico y el refuerzo de madera aglomerada que se suele aplicar. Si la adhesión no es correcta entre ambos materiales se producen deslaminados y por tanto se observan como una especie de burbujas de aire en el fondo del producto que indica que no todo el firme es plano.

Debido a esto se desarrollo un ensayo en el cual se pudiera observar como se adherían los dos materiales a la placa acrílica y determinar si el nuevo material a base de residuo presentaría deslaminados o algún tipo de incompatibilidad con el acrílico. Este hecho se pensó porque uno de las principales propiedades del aglomerado (que normalmente se suele considerar negativa) es su capacidad de absorber humedad, en el caso de las bañeras y platos de ducha de absorber resina y por tanto presentar una buena adhesión con este elemento.

El siguiente paso fue por tanto, preparar las probetas y realizar los ensayos descritos con anterioridad.

10.1. Ensayo de calcinación

Con este proceso se ha intentado caracterizar el residuo obteniendo unos valores medios, de esta manera se intento establecer el porcentaje de materia orgánica (polímeros en uso, acrílico y resina de poliéster) y la inorgánica (fibra de vidrio). También se ha desglosado los valores de resina de poliéster y acrílico.

Tal como se ha comentado con anterioridad se utilizaron 5 muestras de bañera y de plato de ducha, se escogieron muestras dentro de la variedad de productos que existen para poder determinar una media bastante general, ya que como se ha comentado con anterioridad, todo el proceso es bastante artesanal y una sola muestra no sería representativa del conjunto.

El ensayo consiste en coger una muestra determinada de residuo y pesarla, a continuación esta se coloca en crisol y este al fuego. La calcinación separa a los componentes volátiles de los no volátiles o de la ceniza inorgánica, de esta manera cada vez que uno de los materiales



orgánicos llega a su temperatura de evaporación, desaparece, permitiendo saber su porcentaje en masa dentro del conjunto.

Se sabe en cada momento cual es el material evaporado, ya que la temperatura de evaporación de los polímeros es un dato tabulado. Lo que queda de residuo en el crisol es la materia inorgánica (fibra de vidrio, cargas,...) de temperatura de evaporación muy superior a los otros dos compuestos.

A continuación se exponen los valores obtenidos del residuo por calcinación tanto para bañera como para platos de ducha.

10.1.1. Bañeras (nombradas de B1 a B5)

Muestras	% Acrílico	% Refuerzo
B1	44,32	55,68
B2	40,96	59,04
B3	54,63	45,37
B4	36,98	63,02
B5	54,41	45,59
Media	46,3±8,0	53,7±8,0

Tabla. 10.1.1.1 Porcentaje de material orgánico e inorgánico para las muestras de bañera.

Composición refuerzo	% Resina	% Carga	% Fibra de vidrio
B1	43,2	28,7	28,1
B2	45,2	29,4	25,4
B3	48	30,7	21,3
B4	47,9	29,7	22,4
B5	41,8	26,9	31,3
Media	45,2±2,8	29,1±1,4	25,7±4,1

Tabla. 10.1.1.2 Composición en porcentaje del refuerzo de las muestras de bañera (resina y fibra de vidrio).



	% Acrílico	% Resina+carga	% Fibra de vidrio
Composición final	46	40	14

Tabla. 10.1.1.3 Distribución final en porcentaje de los principales componentes de las muestras de bañera.

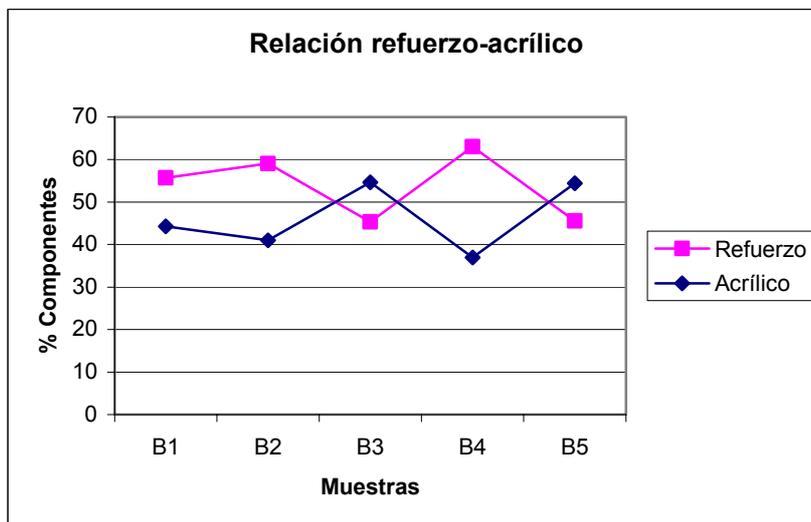


Fig. 10.1.1.4 Variación de la relación refuerzo-acrílico según las muestras de bañera.

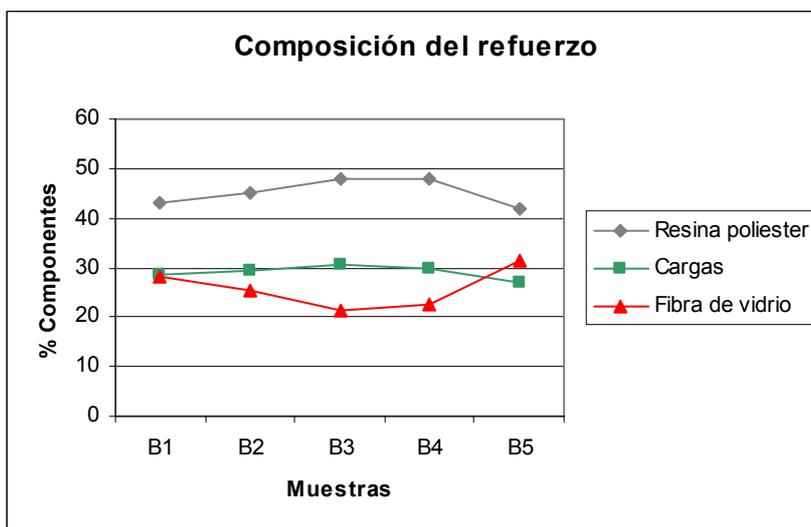


Fig. 10.1.1.5 Variación de los componentes del refuerzo según las muestras de bañera.



10.1.2. Platos (nombrados de P1 a P5)

Muestras	% Acrílico	% Refuerzo
P1	73,63	26,37
P2	45,9	54,1
P3	66,66	33,34
P4	68,34	31,66
P5	68,28	31,72
Media*	69,8±3,0	30,8±3,0

Tabla. 10.1.2.1 Porcentaje de material orgánico e inorgánico para las muestras de platos de ducha acrílicos.

Composición refuerzo	% Resina	% Carga	% Fibra de vidrio
P1	37,6	22,9	39,5
P2	39,2	24	36,8
P3	34,8	23,6	41,6
P4	31,4	20,5	48,1
P5	34,6	24,4	45
Media	35,5±3,0	23,1±1,5	42,2±4,5

Tabla. 10.1.2.2 Composición en porcentaje del refuerzo de las muestras de plato de ducha acrílico (resina y fibra de vidrio).

	% Acrílico	% Resina+carga	% Fibra de vidrio
Composición final	69	18	13

Tabla. 10.1.2.3 Distribución final en porcentaje de los principales componentes de las muestras de plato de ducha acrílico.



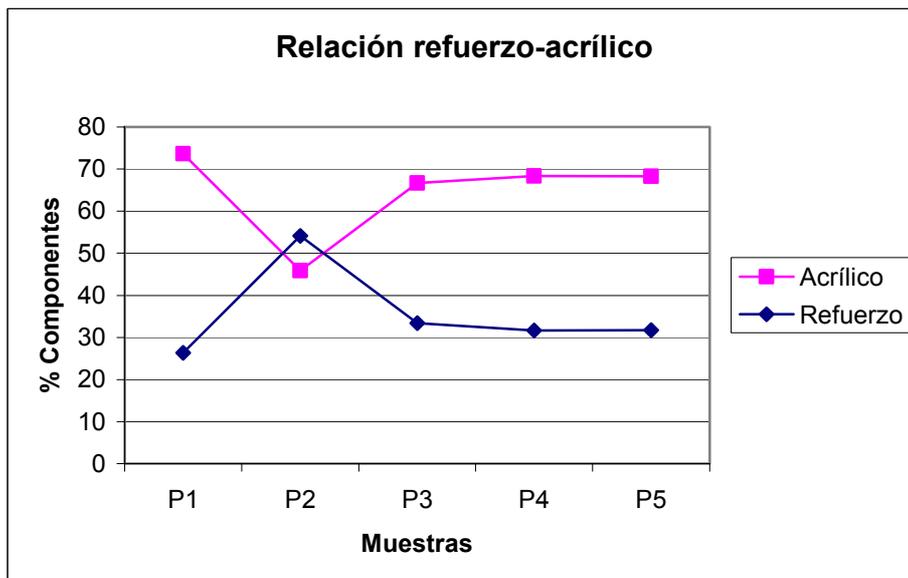


Fig. 10.1.2.4 Variación de la relación refuerzo-acrílico según las muestras de plato de ducha acrílico.

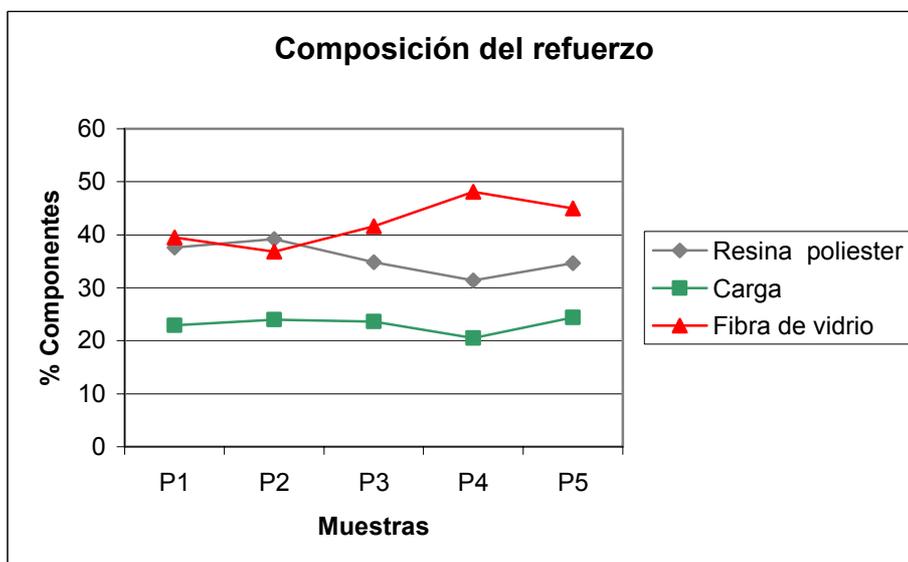


Fig. 10.1.2.5 Variación de los componentes del refuerzo según las muestras de plato de ducha acrílico.



10.2. Ensayo de flexión

Para realizar el ensayo de flexión se aplicó un ensayo normalizado de flexión por tres puntos siguiendo la norma ASTM D 790 o ISO 178 (ensayo de flexión para polímeros), utilizando el aparato determinado para flexión por tres puntos.



Fig. 10.2.1. Detalle de un ensayo según normativa [12]

Tal como se observa en la imagen la probeta se coloca entre los dos soportes a una distancia determinada, a continuación en el centro y de manera simétrica se coloca el aplicador de carga.

Los valores más importantes de este ensayo son, la deflexión máxima que aguanta nuestra probeta antes de la rotura y el valor máximo de la carga aplicada antes de romper. Estos valores vienen dados por dos elementos que se utilizan durante el ensayo.

La deflexión máxima se obtiene de un deflector o medidor de deformaciones que va obteniendo datos en función de la carga y el tiempo de aplicación del valor máximo de deformación antes de rotura, es decir lo que se curva la probeta por su parte inferior antes de romper.

El valor máximo de la carga viene determinado por la célula de carga, ésta se encarga de aplicar una carga determinada a velocidad de deformación indicada, registrando en cada momento los valores obtenidos.





Fig. 10.2.2. Imagen del instrumental necesario para realizar el ensayo de flexión [12]

Resumiendo, el ensayo es muy sencillo y consiste en aplicar una carga controlada a la misma distancia de dos puntos de apoyo, y mientras, se van obteniendo datos de deformación y carga soportada en función de una velocidad de deformación.

Las probetas deben tener una forma ortoédrica siendo siempre más largas que anchas y gruesas, aunque dentro de este requisito cualquier tipo de medida puede ser analizada mediante este ensayo. Las medidas normalizadas según ASTM D 790 la longitud de la probeta debería ser 64mm por 12,7mm de ancho por 3,2mm de espesor [13] y estos valores según ISO 178 deberían ser 80x10x4mm [14].

Antes de pasar a realizar los ensayos a cada tipo de probeta cabe destacar que las dimensiones de éstas no estaban según normativa. Pero al tener todas las probetas del análisis las mismas dimensiones (exceptuando el grosor), los resultados serán válidos para realizar una comparativa entre ellas y no lo serán en el caso de que se intentaran comparar con elementos ya tabulados.

Después de explicar como se realiza el ensayo, los elementos que intervienen y características de él, se procede a obtener los resultados.

En cada ensayo se testaron 5 probetas para poder obtener un valor orientativo, así de las probetas del nuevo material de espesor de 10mm se escogieron las codificadas del 100 al 104; las de aglomerado de bañera y plato de 15 mm, las del 150 al 154 y de las de madera aglomerada se escogieron las del M0 al M4.



Antes de mostrar los resultados se explicarán las diferentes variables que participan en el ensayo y así determinar como se obtiene los valores de tensiones máximas y deflexión máxima. Tal como se ha comentado anteriormente la deflexión máxima (δ) viene dada por un comparador o medidor de deformaciones y la tensión viene determinada por la carga máxima aplicada y la geometría de la probeta.

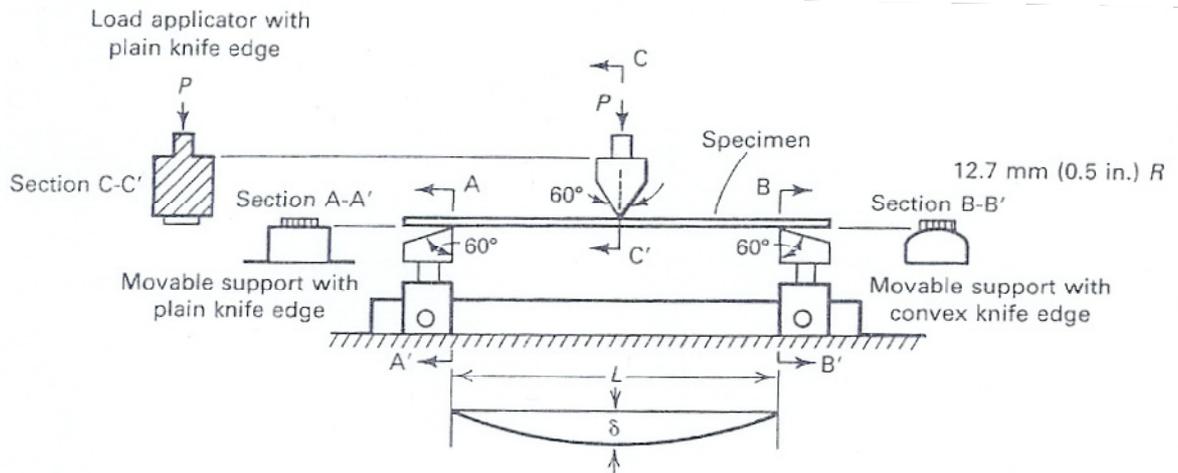


Fig. 10.2.3. Esquema del ensayo según ASTM D 790 [13]

Donde L es la distancia entre los dos puntos en que se apoya la probeta, h es el espesor y b es el ancho de la probeta. La carga máxima viene dada por el propio ensayo. Una vez tenemos todos estos datos se puede calcular mediante las siguientes fórmulas los valores de esfuerzo máximo por flexión.

Esfuerzo máximo por flexión para una sección rectangular y flexión por tres puntos:

$$\sigma_f = 6M/bh^2 ; M = \frac{1}{4}FL \quad (\text{Ec. 10.2.4 [15]})$$

σ_f = Tensión máxima por flexión

M = Momento flector

F = Carga aplicada en N



10.2.1. Resultado para probetas 100 – 104

Probeta	l (longitud mm)	b (ancho mm)	h (espesor mm)	L (tramo mm)
100	99,66	19,55	11,63	51,00
101	99,53	20,22	10,01	51,00
102	99,28	21,07	11,03	51,00
103	99,37	19,61	12,55	51,00
104	98,66	18,86	10,92	51,00
Media	99,30±0,39	19,86±0,83	11,23±0,94	51,00

Tabla. 10.2.1.1 Dimensiones de las probetas de espesor 10mm.

Probeta	Velocidad (mm/min)	Carga (Kg.)	δ (mm)	σ_f (MPa)
100	5,00	57,72	1,13	16,37
101	5,00	57,50	1,25	21,27
102	5,00	78,02	0,74	22,83
103	5,00			
104	5,00	81,04	1,13	27,05
Media	5,00	68,6±12,7	1,06±0,22	21,9±4,4

Tabla. 10.2.1.2 Resultados de deflexión y tensión máxima por flexión para probetas de espesor 10mm.



10.2.2. Resultados para probetas 150 – 154

Probeta	<i>l</i> (longitud mm)	<i>b</i> (ancho mm)	<i>h</i> (espesor mm)	<i>L</i> (tramo mm)
150	100,67	23,80	15,90	51,00
151	101,02	19,20	17,45	51,00
152	101,08	19,43	16,10	51,00
153	101,36	24,17	15,06	51,00
154	101,32	19,35	15,47	51,00
Media	101,09±0,28	21,19±2,56	16,00±0,91	51,00

Tabla. 10.2.2.1 Dimensiones de las probetas de espesor 15mm.

Probeta	Velocidad (mm/min)	Carga (Kg.)	δ (mm)	σ_f (MPa)
150	5,00	176,60		22,05
151	5,00	106,00	0,64	13,62
152	5,00	172,00	0,90	25,60
153	5,00			
154	5,00	119,60	1,62	19,40
Media	5,00	143,6±36	1,05±0,51	20,2±5

Tabla. 10.2.2.2 Resultados de deflexión y tensión máxima por flexión para probetas de espesor 15mm.



10.2.3. Resultado para las probetas de M0 – M4

Probeta	l (longitud mm)	b (ancho mm)	h (espesor mm)	L (tramo mm)
M0	102,66	21,33	16,00	51,00
M1	102,81	19,00	15,99	51,00
M2	102,76	19,45	16,04	51,00
M3	101,83	19,54	16,04	51,00
M4	102,43	19,99	16,00	51,00
Media	102,50±0,40	19,86±0,89	16,01±0,02	51,00

Tabla. 10.2.3.1 Dimensiones de las probetas de aglomerado

Probeta	Velocidad (mm/min)	Carga (Kg.)	δ (mm)	σ_f (MPa)
100	5,00	101,60	1,71	13,93
101	5,00	82,54	1,37	12,74
102	5,00			
103	5,00	86,08	1,68	12,84
104	5,00			
Media	5,00	90,1±10,1	1,59±0,18	13,2±0,7

Tabla. 10.2.3.2 Resultados de deflexión y tensión máxima por flexión para probetas de aglomerado.



10.3. Ensayo de adhesión

Anteriormente se ha comentado que lo que se buscaba con este ensayo era la interacción entre el refuerzo del fondo del producto y la placa de acrílico, es decir asegurar que la adhesión entre estos elementos es como mínimo similar a la actual con madera aglomerada.

Como no existía ningún ensayo standard o normalizado al cual pudiéramos referenciamos, se tuvo que ingeniar uno nuevo de similares características para ambos materiales que nos permitiera realizar una comparativa entre ellos.

Uno de los peores funcionamientos de una unión adhesiva es su comportamiento a cizalla [3], para ello se realizaron unas probetas que permitieran realizar un ensayo en el cual la unión se comportara a cizalla y observar el pelado de la unión.

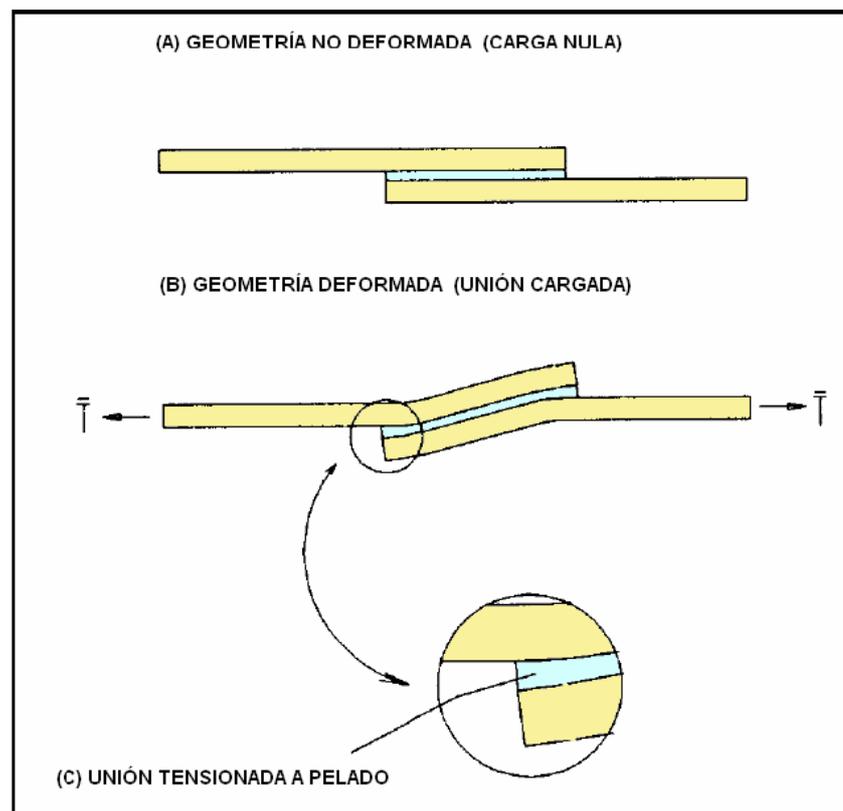


Fig. 10.3.1. Esquema de una zona adhesivada sometida a tracción [16]



En la fabricación de estas probetas para comprobar la adhesión se aprovecharon las cinco muestras no utilizadas que se habían fabricado anteriormente, de esta forma se usaron las probetas de 10mm de espesor clasificadas del 105 al 109, las de 15mm del 155 al 159 y las realizadas en madera aglomerada del M5 al M9.

Se prepararon las probetas creando una unión que simulara la adhesión con la placa, es decir, tal como se adhesivan actualmente las maderas del fondo. Se cogió un trozo de placa acrílica y se recubrió con un poco de resina, después se puso una lámina de mat de fibra de vidrio y por último se adhirieron las distintas muestras.

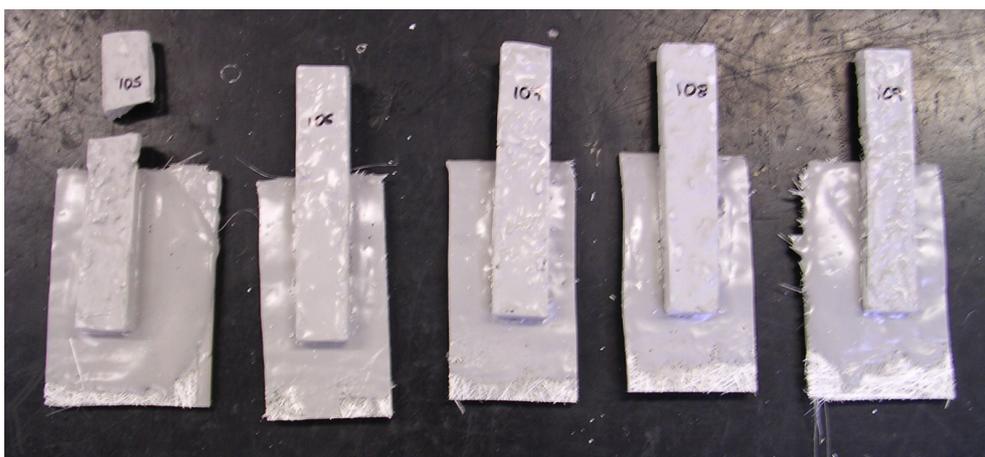


Fig. 10.3.2. Probetas de espesor 10mm para el ensayo de adhesión

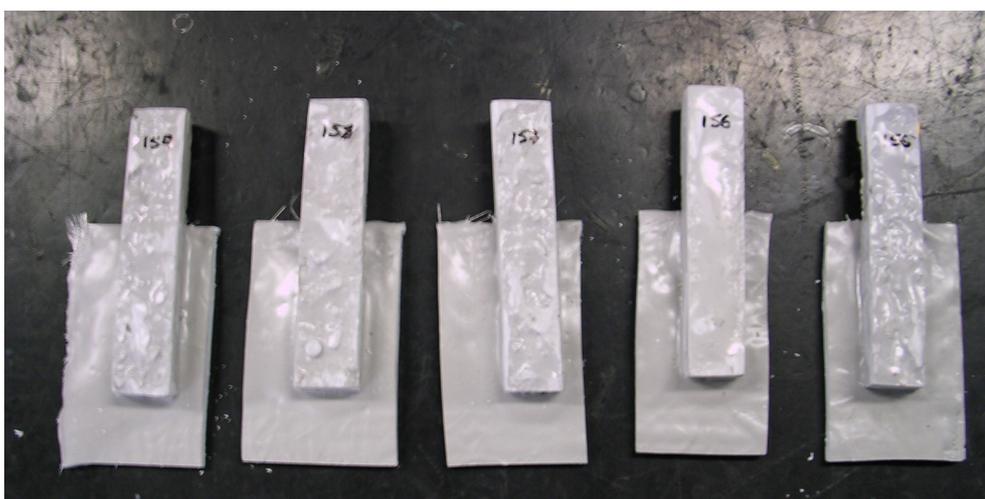


Fig. 10.3.3. Probetas de espesor 15mm para el ensayo de adhesión





Fig. 10.3.3. Probetas de aglomerado para el ensayo de adhesión

El siguiente paso fue desarrollar un sistema que permitiera aplicar la carga axial a las probetas y observar el comportamiento a cizalla de la unión adhesiva. Para esto se decidió realizar un ensayo de tracción pero ligeramente modificado para que las mordazas no destrozaran las muestras.

La idea fue comparar la adhesión entre los materiales a probar y un adhesivo bastante fuerte que sirviera para unir cualquier tipo de material, en este caso fue el Araldit®. Es un adhesivo epoxi de dos componentes, ideal para trabajos complicados que precisan ajuste, para unir superficies grandes o cuando la junta está sometida a grandes esfuerzos. Se caracteriza por resistir hasta 350 Kg. /cm² y seca a temperatura ambiente.

La preparación del ensayo consistió en utilizar unas mordazas planas, es decir ni unas con forma de pinza, ni unas roscadas; sino unas con la superficie lisa. A continuación se aplicó una capa de Araldit® y adhesivado a este la probeta (en cada caso lo que tocara, ya fuera el nuevo material de reciclado de bañeras y platos de ducha o el aglomerado). En la mordaza inferior se realizó lo mismo pero adhesivando la placa acrílica a ésta.

A continuación se realizó un ensayo de tracción normal y corriente, con una velocidad de aplicación de 5mm/min. Observando el comportamiento de las dos uniones adhesivas y determinando cual fallaba antes. También se dan los datos de resistencia a la tracción que arrojaron los ensayos (σ_T). Los resultados obtenidos de este para las diferentes probetas testadas fueron los siguientes.

10.3.1. Adhesivado de probetas de espesor 10mm



Probeta	Resultado	σ_T (Kg./cm ²)
105		
106	Rompe Araldit/acrílico	30
107	Rompe Araldit/acrílico	62
108	Rompe Araldit/resina	60
109	Rompe Araldit/acrílico	40
Media		43±15,6

Tabla. 10.3.1.1 Resultados de la adhesión y tensión máxima antes de romper la zona adhesivada para probetas de 10mm de espesor.

10.3.2. Adhesivado de probetas de espesor 15mm

Probeta	Resultado	σ_T (Kg./cm ²)
155	Rompe Araldit/acrílico	43
156	Rompe Araldit/acrílico	55
157	Rompe Araldit/acrílico	34
158	Rompe Araldit/acrílico	36
159	Rompe Araldit/resina	37
Media		41±8,5

Tabla. 10.3.2.1 Resultados de la adhesión y tensión máxima antes de romper la zona adhesivaza para probetas de 15mm de espesor.

10.3.3. Adhesivado probetas de aglomerado



Probeta	Resultado	σ_T (Kg./cm ²)
M5	Rotura cohesiva por la	
M6	Rotura cohesiva por la	6
M7	Rotura cohesiva por la	5
M8	Rotura cohesiva por la	6
M9	Rotura cohesiva por la	5
Media		6±0,6

Tabla. 10.3.3.1 Resultados de la adhesión y tensión máxima antes de romper la zona adhesivaza para probetas de aglomerado.



11. Discusión resultado de los ensayos

En este apartado se discute los resultados obtenidos en cada ensayo y las posibles razones de los valores obtenidos en cada caso.

11.1. Discusión de la calcinación

En este subapartado en primer término se realizará una valoración de cada una de las muestras por separado, analizando que sucede con el residuo que proviene de las bañeras y que es lo que sucede con el proveniente de los platos de duchas. Seguidamente se estudia una valoración conjunta de ambos resultados, ya que a la hora de tratar este residuo para su posterior transformación, no se va a hacer distinción entre uno y otro.

11.1.1. Calcinación del residuo de bañeras

Después de analizar los resultados se observa que en el residuo que proviene de las bañeras la relación entre acrílico y refuerzo es bastante variable, ya que entre unas muestras y otras la cantidad de resina depositada dependerá del operario que realiza esta operación, llegando a alcanzar una desviación standard de $\pm 8\%$ entre las bañeras, observar tabla 10.1.1.1. Respecto el refuerzo y su composición este caso, tal y como muestra el gráfico 10.1.1.5, no se da y las variaciones entre unos valores y otros no llegan a superar el 10%. Esto es debido a que la mezcla de resina y fibra de vidrio la realiza una pistola que la mezcla (reforzado por spray-up) previamente a ser depositada sobre la superficie de la bañera. También cabe destacar la relación paralela entre la resina y su carga, la razón de esto es que es una composición estequiométrica. De esta manera cuando la resina baja su composición en el refuerzo, la carga experimenta el mismo resultado.

Por tanto y aún siendo una composición bastante variable la composición del residuo de una bañera se caracteriza por: un 46% de acrílico, un 40% de resina de poliéster más carga y un 14% de fibra de vidrio.

11.1.2. Calcinación del residuo de platos de ducha

En el caso de los platos de ducha para caracterizar el residuo se ha desestimado los valores de la muestra P2 debido a que seguramente se trate de un trozo de pieza defectuosa, ya que su contenido en resina respecto las otras muestras llega a ser de un 80% más, ver tabla 10.1.2.1. Teniendo en cuenta estas consideraciones en los valores obtenidos, se observa que la relación entre acrílico y resina se muestra bastante estable. La variación entre unas muestras y otras es inferior al $\pm 3\%$. Esto es debido a que el reforzado de los platos se realiza



de manera automática y por tanto los parámetros están mucho más controlados. Hay que destacar tres puntos respecto las bañeras, el primero es que se observa que la cantidad de fibra de vidrio se mantiene sin variaciones entre ambos artículos, el segundo destacar que el refuerzo presenta una disminución de la cantidad de resina con carga y por último que la relación acrílico-refuerzo también varía, en los platos la cantidad de acrílico se incrementa.

11.1.3. Caracterización conjunta

Tal como se ha observado realmente se obtienen dos tipos de residuos, uno proveniente de las bañeras y otro de los platos de ducha, pero como ambos poseen los mismos componentes, se ha establecido una media entre ambos en función del volumen de residuos generado por cada artículo.

Siguiendo datos de fabricación el volumen de residuo generado en la creación de bañeras supone un 79% del total mientras los platos solamente son el 21% restante. Por tanto el residuo queda repartido de la siguiente manera:

	% Acrílico	% Resina+carga	% Fibra de vidrio
Composición bañera (79%)	46	40	14
Composición plato (21%)	69	18	13
Composición final	50,8	35,4	13,8

Tabla. 11.1.3.1 Caracterización final de los porcentajes de componentes en función de valores productivos.

11.2. Discusión del ensayo de flexión

Tal como se esperaba los resultados obtenidos por la flexión del nuevo material son mejores que los obtenidos por la madera aglomerada, incluso teniendo menor espesor que ésta. Esto es debido a que la unión que utiliza el nuevo material es mucho más fuerte que la de la madera aglomerada, ya que ésta no destaca principalmente por sus propiedades mecánicas.

La resina de poliéster que es la que se ha utilizado en este caso, por si sola puede llegar a valores cercanos a los 100 MPa a flexión (teniendo en cuenta la utilización de las resinas más viscosas y de mejores propiedades, las de peores características se quedan entorno los 90MPa), en contra una madera aglomerada según datos del propio fabricante que



actualmente las suministra tiene un valor cercano a los 12 MPa. Por tanto no es de extrañar que el nuevo material de base resina de poliéster tenga mejores propiedades a flexión que no la madera aglomerada.

Lo que si es de extrañar es que el nuevo compuesto a base de residuo de bañera y plato de ducha y fibra de poliéster arroje unos valores que se pueden considerar bajos para este tipo de materiales reforzados. Debemos considerar que una pieza realizada en resina de poliéster y reforzada con fibra de vidrio puede llegar a valores cercanos a los 200 MPa, considerándolo hoy en día uno de los mejores materiales por relación densidad-propiedades mecánicas.

Todo esto es debido a que tenemos que considerar dos factores que han influido en la obtención de nuestras muestras.

El primer factor a considerar es que el refuerzo que en este caso posee la muestra no es fibra de vidrio de determinada longitud. Aquellos valores tan elevados de resistencia a flexión que se han comentado anteriormente se corresponde a piezas realizadas únicamente con fibra de vidrio como refuerzo, de una longitud considerable y aplicando la carga de forma perpendicular a la fibra. En nuestro caso, no es un refuerzo uniforme y que contiene siempre las mismas características, ya que en algunas zonas se encuentran partículas de acrílico, en otras fibras de vidrio bastante pequeñas y también polvo o pequeñas partículas de resina.

El segundo factor y el más importante, es la fabricación artesanal de las probetas. Para obtener la mejor mezcla posible de la resina con el residuo, esto se debería realizar en un tanque especial que fuera removiendo correctamente el material y asegurando su correcta mezcla. La manera menos correcta es tal y como se fabricaron las muestras, es decir, cogiendo resina que ya estaba comenzando a reticular (y por tanto a endurecer) e intentar mezclarla con la partícula dentro del molde de manera manual. Lo sucedido fue que no todas las partículas quedaron bien recubiertas de resina y en el interior del material quedaron poros muy considerables. Por tanto, al realizar el ensayo cualquier fisura que se produjese en la superficie traccionada de la probeta, al encontrar un poro de estos propagó catastróficamente hasta su rotura y peor si consideramos que la propia grieta podía estar en la superficie.

Este efecto se puede observar en los datos de la tabla 10.2.1.2 donde existían variaciones entre unas muestras y otras cercanas a 10 MPa, mientras que en el aglomerado que era una pieza industrial esta diferencia se reduce a 1,5 MPa entre las diferentes probetas ensayadas.

Otro dato a comentar es que los resultados de los ensayos se pueden considerar bastante fiable en cuanto a valor, ya que si observamos los datos obtenidos para la madera



aglomerada se obtiene un valor de 13 MPa aproximadamente y según los datos del propio fabricante, como se ha comentado antes, esta entorno a los 12MPa.

También se debe hacer referencia a que el valor de las muestras realizadas a partir de residuo de bañera y plato de ducha de espesor 15mm, presentan unos valores inferiores a las de menor espesor. Tal resultado es debido a que si ya estaban mal realizadas las probetas de espesor de 10mm, las de 15mm estaban aun peor. Al intentar hacer llegar la resina hasta el fondo removiendo de manera manual, muchas zonas no quedaron lo suficientemente impregnadas debido al espesor, obteniendo tal y como se observa en la tabla 10.2.2.2, valores muy dispersos.

Por último cabe destacar que las probetas que no presentan ningún valor, fue porque resultaron defectuosas para el ensayo y no se pudieron ni testar (la mayoría de ellas rompieron con la precarga).

Resumiendo, los valores obtenidos de resistencia a flexión con el nuevo material mejoran con creces los de la madera aglomerada, llegando a ser un 60% superior para las nuevas probetas de menor espesor. Además también cabe destacar que la deflexión producida por el material también es menor, reduciéndose en este caso un 33% (de 1,59mm pasa a 1,06mm). Por tanto el nuevo material mejora las propiedades mecánicas en todos los aspectos del aglomerado y además permitirá mejores valores de deformación en el fondo de la bañera, ayudando así a superar más fácilmente los ensayos que aparecen en la norma EN -198.

11.3. Discusión del ensayo de adhesión

Este ensayo no se puede considerar del todo fiable ya que no sigue ninguna normativa, ni es standard, pero nos sirve para hacernos una idea de la adhesión que se crea entre el nuevo material y la placa acrílica.

Ha sido un verdadera lástima que la capacidad adhesiva entre el formaldehído y las virutas de madera sea tan extremadamente baja, de manera que no se ha podido llegar a hacer una comparación en toda regla entre ambos materiales. Este tipo de materiales son muy débiles para ensayar a tracción y normalmente se suelen dar en las tablas de propiedades su resistencia a la flexión por este motivo.

Lo sucedido en este caso es que de los tres tipos de adhesivos que se daban cita al mismo tiempo en estas probetas (unión formaldehído entre partículas, Araldit® entre mordaza y madera y Araldit® entre placa acrílica y mordaza) la probeta ha ido a romper por el enlace que ofrecía menor resistencia, mostrando una fractura cohesiva entre virutas similar a lo que se observa en la figura 11.3.1.





Fig. 11.3.1. Esquema de la rotura del aglomerado [16]

De todas formas lo importante de este ensayo era comprobar la adhesión con la placa acrílica del nuevo material y haciendo un valor estimativo se puede considerar que esta es buena, ya que ha superado el valor de adhesión del Araldit®, un adhesivo muy usado.

Este resultado no era difícil de suponer, ya que la adhesión entre los tres materiales que componen el residuo de una bañera o plato de ducha acrílico es de sobra conocido y bastante bueno, por tanto adhesivar un componente realizado con ellos mismos debía garantizar el agarre entre piezas.

Uno de los puntos fuertes de esta adhesión es que la resina que se coloca entre placa acrílica y refuerzo del fondo, aprovecha las cadenas y radicales libres de la pieza realizada a base de residuo para que formen parte de la reticulación de la resina (proceso de curado) y hacer una unión entre piezas muy fuerte. Por el contrario, la madera aglomerada depende completamente de la capacidad que tiene de empaparse de resina para que cuando esta reticula, se adhiera lo máximo posible. Cabe destacar que muchos de los aditivos que actualmente se utilizan en la obtención de refuerzos aglomerados, como la parafina, resultan perjudiciales para llevar a cabo esta unión.



12. Viabilidad económica

En este apartado se va a determinar todos los costes que se implican en este proyecto, desde un análisis de los costes actuales, hasta un análisis de la nueva propuesta que incluye los gastos de realización de este proyecto.

En primer término se hará un coste estimativo de los procesos actuales, considerando el coste de la eliminación del residuo actual, el coste de compra de las maderas actuales y añadiremos el coste de las bañeras que hoy en día salen defectuosas y se tiran a la basura, se debe considerar que con la nueva propuesta estas bañeras podrían ser trituradas y reutilizadas para la obtención de fondos. Todos los datos analizados a continuación son datos del propio fabricante.

Dato	Coste medio unitario (€)	Unidades	Coste Total (€)
Eliminación residuos*			95513,4
Madera	1,8	158546	285382,8
Total residuo + madera			380896,2
Perdida bañera	120	2442	293040
Perdida plato de ducha	90	2346	211140
Total costes			885076,2

Tabla. 12.1. Datos actuales de costes anuales

*Datos correspondientes al año 2004, resto de datos año 2005

A continuación se realizará un análisis exhaustivo de los costes que suponen el nuevo proyecto considerando todos los factores que intervienen en la obtención del nuevo material. Para la obtención de estos datos se habló con diferentes proveedores y se solicitaron ofertas de máquinas trituradoras específicas para estos residuos, cintas transportadoras y moldes para las diferentes formas de madera actual. También se ha considerado todo lo que supondría costes de mano de obra al necesitar a dos nuevas personas, una para la gestión del residuo y otra para la generación de las nuevas piezas. Además del personal, se considera una derrama extra la adaptación de una zona de la fábrica para dicho proceso (aunque muchos elementos ya existen, como por ejemplo los tanques mezcladores).



Respecto al cálculo del nuevo refuerzo fondo para bañeras se ha considerado y tomando los valores de peso actual, según las probetas de las tabla 9.2.6 y 9.2.10, que se utilizará una probeta de 8mm de espesor. Esto es debido a que según las muestras fabricadas, la probeta de 10 mm de espesor realizada con el nuevo material pesa más que la de aglomerado y no interesa aumentar de peso el artículo. Por tanto si rebajamos este espesor un 20%, los pesos se igualan y reducimos la cantidad de resina necesaria. Respecto a la pérdida de las propiedades mecánicas si reducimos el valor de esfuerzo máximo a flexión un 20% obtenemos un valor de 17,5 MPa, que sigue siendo muy superior a los 13 MPa de la madera actual.

Al coste de la puesta en marcha de todo este proyecto se adjunta un cargo por la realización y dedicación a dicho proyecto, que debe ser absorbido por la inversión inicial de dicho proyecto.

Dato	Coste medio unitario (€)	Unidades	Coste Total (€)
Cinta transportadora	5635,5	1	5635,5
Trituradora	53950	1	53950
Molde	250	65	16250
Derrama			42000
Honorarios proyecto			36000
Total costes			153835,5

Fig. 12.2. Costes de la inversión inicial del proyecto.

Peso medio aglomerado (Kg.)	Peso equivalente nuevo material (Kg.)	%Residuo	%Resina	Coste Kg. resina (€)	Coste resina (€)
3	3	25	75	1,333	3

Fig. 12.3. Coste medio de materia prima para nuevo refuerzo.



Dato	Coste medio unitario (€)	Unidades	Coste Total (€)
Refuerzo nuevo	3	158546	475638
Operarios	36000	2	72000
Varios (luz,...)	0,1	158546	15854,6
Total costes			563492,6

Fig. 12.4. Costes anuales de los nuevos refuerzos

Observando el estudio de costes realizado, a primera impresión parece que llevar a cabo dicho proyecto no aporte ningún beneficio económico ya que el coste de los nuevos refuerzos a base de desecho de la propia fábrica es prácticamente el doble de la actual (sin considerar el coste de eliminación del residuo).

Si profundizamos un poco más en el estudio observaremos varias cosas. La primera es que la inversión inicial no es exageradamente elevada, ya que con lo que cuesta eliminar los residuos en menos de dos años, ésta se amortizaría. Otro detalle que también se debe observar es la gran cantidad de dinero que se genera en pérdidas (500.000 € aprox.). Seguramente con los nuevos refuerzos se generarían la misma cantidad de pérdidas, pero al menos todo el coste de la materia prima no sería directamente enviado a la basura y podría ser reutilizado en el propio producto. También hay que destacar que tampoco pagaríamos por la eliminación de dichos artículos.

Resumiendo, aunque a primera impresión no se realiza un ahorro de coste respecto el actual refuerzo de madera aglomerada, entre el ahorro de la eliminación actual de los residuos y la reutilización de las pérdidas, se podría llegar a un equilibrio económico entre lo que aumentamos por un lado y lo que obtenemos por otro.



13. Conclusiones

Tal y como se espera de la realización de este proyecto, el nuevo material obtenido a base de residuo de bañera y platos de ducha mezclado con la resina que actualmente se utiliza en el propio proceso de fabricación de estos artículos, ha presentado mejor comportamiento que no el actual aglomerado de madera.

El nuevo material mejora con creces las propiedades mecánicas de la madera aglomerada, llegando a valores de esfuerzos a flexión máxima un 60% superior, teniendo además una reducción de espesor de un 37,5% (de 16mm pasa a 10mm). Además el valor de deflexión que ha padecido el material es un 33% menor. Todo esto considerando que las probetas testadas fueron realizadas de modo extremadamente artesanal y que presentaban una porosidad muy elevada. Seguramente unas probetas realizadas en mejores condiciones arrojarían unos datos mucho más elevados que las actuales.

Otro problema que podía surgir a la hora de utilizar este nuevo material era la interacción con la placa acrílica, es decir, que el refuerzo obtenido a base de residuo no se adhesivara correctamente con el fondo de la bañera o plato de ducha. Pero tal y como arrojan los ensayos realizados, tal problema no existe e incluso la adhesión llega a ser superior a un adhesivo bastante fuerte (Araldit®).

Respecto al proceso de obtención de estas nuevas piezas es sumamente sencillo, resumiendo lo descrito en el proyecto no es más que triturar este residuo, mezclarlo con la resina y colarlo en moldes. Además la inversión para poder llevar a cabo esto no es muy elevada para el fabricante y no supone grandes cambios ni un acopio de maquinaria excesivo (trituradora y moldes de colada). Eso si para poder optimizar al máximo este proceso productivo y obtener unas piezas de gran calidad se recomienda al fabricante una resina lo más líquida posible, para que recubra bien todas las partículas y fluya fácilmente.

Existen dos grandes factores a tener a cuenta por el fabricante de bañeras y platos de ducha que se llevan a cabo con la fabricación de estos nuevos refuerzos a base de residuo de sus propios productos.

El primero y muy importante, es la reducción del impacto medioambiental que supone reaprovechar su propio residuo. El fabricante deja de lanzar al vertedero cerca de 1500 t de material de difícil eliminación y muy contaminante. Además las propias pérdidas generadas en la fabricación (productos defectuosos) en lugar de ser lanzadas pueden ser aprovechadas de nuevo. También cabe destacar que se deja de consumir varias toneladas de madera, pensando un poco en la deforestación progresiva del planeta.



El otro y no menos importante factor que debe considerar el fabricante es la mejora en calidad que supone el nuevo material. Éste al flexionar menos, transmitirá al usuario una mayor calidad percibida y además tal como se ha comentado en el proyecto, le permitirá al producto superar con mayor facilidad la normativa de bañeras sobre deformación en el fondo de estas. También se debe hacer referencia a las muchas quejas que se le solventarán al fabricante por parte de los usuarios al ser el nuevo material completamente hidrófugo. Esto es debido a que hay bañeras que llevan jets de hidromasaje en el fondo y con el aglomerado actual si se produce una fuga, ésta se pudre acortando de esta manera la vida útil del producto. En cambio, esto con el nuevo material no sucedería.

En referencia al incremento de coste que supone esto para el producto, este queda mermado tal y como se ha comentado por el coste que suponía la gestión anterior del residuo y el aprovechamiento de las pérdidas. Además seguramente una gestión de residuos de este tipo tendrá una considerable subvención por parte del estado y no solamente esto, el exceso de residuo que se pueda producir puede ser vendido a otras empresas para que ellas también lo puedan utilizar como refuerzo.

En resumen, el nuevo material no sólo posee mejores propiedades mecánicas que el aglomerado actual, sino que además supone una reducción en el impacto medioambiental, una mejora en la gestión de los residuos actuales y una mejora de calidad por parte del producto.



14. Agradecimientos

Quería realizar un profundo agradecimiento al fabricante de bañeras y platos de ducha que me ha permitido realizar el proyecto sobre su producto, me ha facilitado todos los datos necesarios y ha colaborado en todo lo posible.

También quería mostrar mi agradecimiento a aquellas empresas que han colaborado en la realización de este proyecto, Lasentiu (fabricante de piezas de residuo), 3M (fabricante de adhesivos), Over Técnica Ambiental (fabricante de trituradoras), ICOMSA (proveedor de aglomerado), etc...



15. Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] OFFSHORE SOLUTIONS. *Thermoforming*. 2005.
[<http://www.offshoresolutions.com/products/plastic/thermoforming.htm>, 10 de noviembre de 2006].
- [2] BARLO PLASTICS. *Información técnica de producto Barlo Cast*. Bélgica, 1999.
- [3] CHARLES A. HARPER. *Handbook of plastics, elastomers, and composites*. McGraw-Hill (4th Edition), 2002.
- [4] SANGEETA NANGIA. *Behavior of Polyester Resin Composites (Mechanical properties) at Elevated Temperature*. [<http://www.tifac.org.in/news/poly.htm>, 02 de diciembre de 2006]
- [5] WIKIPEDIA. *Fibra de vidrio*. [http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_vidrio, 23 de enero del 2007]
- [6] SAINT GOBAIN VETROTEX. *Filamentos de vidrio*. 2001. [<http://www.saint-gobain-vetrotex.com.br/espanhol/gstrand2.html>, 14 de diciembre de 2006]
- [7] POLIMEROS COMPUESTOS LTDA. *Elementos para plásticos reforzados con fibra de vidrio*. [<http://www.polimeroscompuestos.cl/Page/prfv.htm>, 15 de diciembre de 2006]
- [8] LASENTIU. *Syntrewood*. [<http://www.lasentiu.com/#>, 25 de febrero de 2006]
- [9] WIKIPEDIA. *Moldeo por inyección*.
[http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n, 10 de septiembre del 2006]
- [10] AGLOMERADOS COTAPAXI. *Proceso de fabricación*.
[<http://www.cotopaxi.com.ec/paginas/aglomerados/proceso.htm>, 27 de diciembre 2006]
- [11] AENOR. EN 198. *Especificaciones de bañeras de materiales acrílicos para su uso doméstico*. 1989
- [12] PLASTICS TECHNOLOGIES LABORATORIES, INC. *Flexural properties*.
[<http://www.ptli.com/testlopedia/tests/Flex-D790.asp>, 11 de enero del 2007]
- [13] ASM INTERNATIONAL. *ASM Handbook, Volume 8 Mechanical Testing*. 2002



- [14] INTERNATIONAL STANDARD. ISO 178. *Determination of flexural properties of rigid plastics*. 1975
- [15] GIECK. *Manual de fórmulas técnicas*. Marcombo (30ª Edición). 2000
- [16] ROCA RAMON, XAVIER. *Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos en la construcción de edificios industriales*. Tesis UPC, 2005.
[http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0302106-123111/, 15 de enero de 2007]

Bibliografía complementaria

- [1] N.G.MCCRUM. *Principles of Polymer engineering*. Oxford (2nd Edition). 1989
- [2] J.A.BRYDSON. *Plastics materials*. Butterworth-Heinemann. 1989
- [3] PLASTIREF. *Producto. Resina de poliéster*.
[<http://www.plastiref.cl/productos/poliester.htm>, 16 de enero de 2007]
- [4] CARTONBEBIDAS. *Reciclado de tetrabricks*. [<http://www.cartonbebidas.com/>, marzo de 2006]

