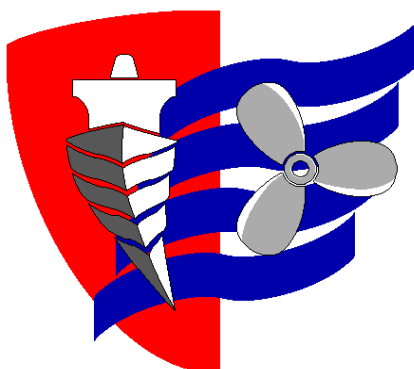


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE LA UNIÓN ADHESIVA
ESTRUCTURAL PARA ÁMBITO
NAVAL**

**Design of a structural adhesive joint
for naval applications**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Autor: Carlos Aparicio del Corral

Director: M^a Victoria Biezma Moraleda

Co-Director: Juan Carlos Suárez Bermejo

Octubre - 2016

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE LA UNIÓN ADHESIVA
ESTRUCTURAL PARA ÁMBITO
NAVAL**

**Design of a structural adhesive joint
for naval applications**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Octubre – 2016

INDICE

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	7
2. ESTADO DEL ARTE	7
2.1. INTRODUCCIÓN A LOS ADHESIVOS.....	8
2.2. FUNDAMENTOS DE LA UNIÓN ADHESIVA	9
2.3. TIPOS DE ADHESIVOS	10
2.4. VENTAJAS DE LOS ADHESIVOS	12
2.5. DESVENTAJAS DE LOS ADHESIVOS	13
3. PREPARACIÓN DEL MATERIAL PREVIA A LOS ENSAYOS.....	14
3.1. PROBETAS	15
3.2. ACERO	17
3.3. ADHESIVO	19
3.3.1. RECAPOLI 955 DCPD	20
3.4. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.....	21
4. METODOLOGÍA DE ENSAYOS	22
4.1. PARTES BÁSICAS DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS.....	22
4.2. PASOS A SEGUIR PARA REALIZAR UN ENSAYO	25
4.3. PROBETAS	33
4.3.1. SUJECION DE LAS PROBETAS	36
4.4. PARÁMETROS DE ENSAYO	39
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	40
5.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	64
6. CONCLUSIONES	69
7. BIBLIOGRAFÍA	70
8. ANEXOS	72

RESUMEN

El propósito de éste trabajo es seguir la línea de estudio que comenzó en su día el profesor Manuel A. Andrés Roiz en su Trabajo de Fin de Máster “Comportamiento a impacto de uniones adhesivas estructurales en materiales híbridos para construcción naval”, siendo parte de un Grupo de Investigación, formado este por los dos directores de este Trabajo de Fin de Grado.

En el presente Trabajo de Fin de Grado, se someterán a ensayos de impacto una serie de vigas de doble voladizo, unidas entre sí mediante un adhesivo estructural. El estudio de la resistencia a cargas externas que ofrecen éstas uniones adhesivas, además, teniendo en cuenta tanto la degradación de los materiales en agua de mar, como los distintos ángulos de impacto que puedan recibir.

Así pues, los ensayos se realizarán, tanto en las condiciones más exigentes de impacto (0° y 90°), como en una intermedia (45°).

Antes de comenzar con los ensayos y analizarlos, presentamos una introducción a los adhesivos y una breve explicación de los estudios realizados anteriormente por el grupo de investigación, que son la base de este trabajo.

Además se describirá detalladamente la máquina de ensayos, así como los pasos a seguir para utilizarla correctamente.

PALABRAS CLAVE:

Diseño, Adhesivo estructural, Sector naval, Construcción naval, Resistencia a impacto, Agua de mar.

ABSTRACT

The purpose of this project is to continue the study that Professor Manuel A. Andrés Roiz began with his Master's Research Project "Impact performance of structural adhesive bonds in shipbuilding's hybrid materials" being part of a Research Group, formed by the directors of this Final Degree Project.

In this project, there are tested some double cantilever beams joined together by a structural adhesive. The study of resistance to external loads that offer these adhesive bonds, I will also do considering the degradation of materials in seawater, such as different angles of impact that they can receive. Thus, the tests are performed, both in the most demanding impact conditions (0° and 90°), and intermediate (45°).

Before starting the tests and analysis, I show an introduction to the adhesives and a brief explanation of previous studies by the research group, which are the basis of this work.

Further, I describe in details the testing machine and the steps to use it properly.

KEYWORDS:

Design, Structural adhesive, Naval sector, Shipbuilding, Impact performance, Seawater.

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Lo que se pretende en éste Trabajo de Fin de Grado es continuar con la investigación que hace unos años comenzaron los directores del mismo junto con Manuel Andrés Roiz, encargado de ponerlo en marcha y plasmarlo en su Trabajo de Fin de Máster “Comportamiento a impacto de uniones adhesivas estructurales, en materiales híbridos para construcción naval”.

El objetivo fundamental que nos marcamos con la realización de este Trabajo es el estudio de la resistencia a cargas externas que ofrecen estas uniones adhesivas, sumergidas en agua de mar durante diferentes tiempos de envejecimiento. Otros de los objetivos serán además, relacionar los resultados, teniendo en cuenta tanto la degradación de los materiales en agua de mar, como los distintos ángulos de impacto que puedan recibir, por lo que, los ensayos se realizarán, tanto en las condiciones más exigentes de impacto (0° y 90°), como en una intermedia (45°).

2. ESTADO DEL ARTE

Siguiendo la línea de los antecedentes estudiados, este Trabajo se ha desarrollado a partir de los estudios y conclusiones que entonces se realizaron, para posteriormente ir un poco más allá, y profundizar en las ideas básicas que llevaron a poner en marcha este y otros Trabajos:

- Rotura de uniones adhesivas.
- Comportamiento dinámico de uniones adhesivas.
- Uniones adhesivas y su degradación.
- Análisis por el Modelo de Elementos Finitos (MEF) de uniones adhesivas.

Además de servir éste Trabajo como una ampliación de lo entonces estudiado, en él también se llevarán a cabo las modificaciones pertinentes

en la máquina de ensayos, la modificación y preparación de las probetas, así como los propios ensayos que a continuación se describen.

Para poder adentrarnos más, y que se pueda comprender mejor nuestro estudio, éste comenzará con una introducción a los adhesivos, que es el principal campo a estudiar.

2.1. INTRODUCCIÓN A LOS ADHESIVOS

No es posible indicar exactamente cuando comenzaron a utilizarse los adhesivos, ya que han sido empleados extensamente a lo largo de la historia hasta la actualidad: Existen ejemplos naturales de adhesión, como es el caso de las telas de araña, e incluso se han hallado pruebas del uso de la sangre animal como adhesivo durante la Prehistoria, o de que los egipcios preparaban adhesivos mediante la cocción de huesos de animales para la adhesión de láminas de madera hacia el 1800 A.C. [1].

El sector de los adhesivos está en pleno crecimiento y su desarrollo será muy importante en los próximos años, dado que ofrece rendimientos similares y en ocasiones superiores a los de otras soluciones para el ensamblaje y el sellado con numerosas ventajas.

Se puede definir adhesivo como aquella sustancia que aplicada entre las superficies de dos materiales permite una unión resistente a la separación. Denominamos sustratos o adherentes a los materiales que pretendemos unir por mediación del adhesivo (Figura 1), y que serán en nuestro caso, como explicaremos más adelante, las probetas a estudiar (Vigas de Doble Voladizo) [2].

El conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interfase adhesivo/adherente recibe el nombre de adhesión.



Figura 1: Esquema de dos Sustratos adheridos [1]

2.2. FUNDAMENTOS DE LA UNIÓN ADHESIVA

Las uniones adhesivas se fundamentan en los dos tipos de fuerzas que a continuación se describen, y que están representadas en la Figura 2:

- a) **Fuerza de adhesión:** Corresponde a todas las fuerzas o mecanismos que mantiene unido el adhesivo con cada sustrato. El término de adhesión hace referencia al conjunto de los mecanismos y fuerzas situadas en una fina capa (capa límite) existente entre el sustrato y el propio adhesivo.
- b) **Fuerza de cohesión** - Corresponde a todas las fuerzas o mecanismos que mantiene unido el propio adhesivo.

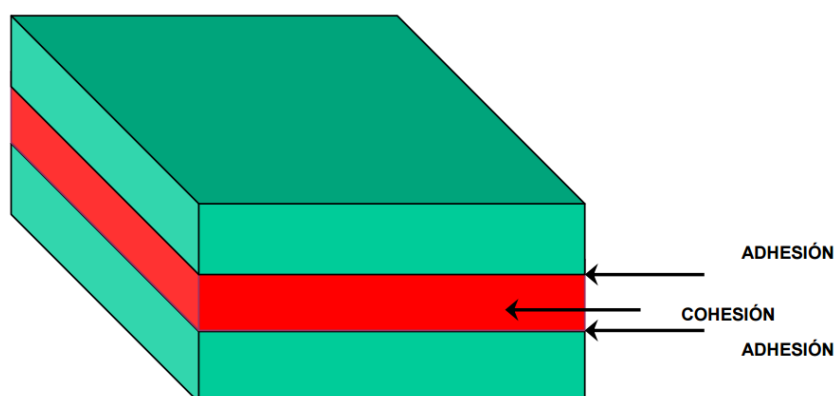


Figura 2: Fuerzas de adhesión y cohesión

Estas fuerzas que permiten mantener unidas el adhesivo con el sustrato (adhesión) y el propio adhesivo (cohesión), corresponden a:

- a) Los **enlaces químicos covalentes** que se desarrollan entre los átomos permitiendo la creación de moléculas y polímeros, así mismo, los enlaces químicos permiten unir diferentes cadenas poliméricas creando estructuras compactas y altamente reticuladas (materiales termoestables).
- b) Las **fuerzas intermoleculares** que ocurren entre moléculas, que permiten crear estructuras amorfas con una excelente elasticidad y deformabilidad [3].

2.3. TIPOS DE ADHESIVOS

Podemos hacer distintas clasificaciones de adhesivos según diferentes parámetros, pero en este caso nos centraremos en las más importantes, como el tipo de disolvente utilizado, sus requerimientos de uso, su composición química, y los métodos de curado empleados [4]:

a) Según el tipo de disolvente:

- Adhesivos solubles en agua: Estos adhesivos están basados en polímeros naturales como almidones y dextrinas o sintéticos como las emulsiones de poliacetato de vinilo (PVAc). La película de adhesivo se origina por evaporación del agua, utilizada como solvente.
- Adhesivos vehiculizados en disolventes orgánicos: El disolvente facilita la distribución uniforme del adhesivo en las superficies a unir y al evaporarse permite obtener la película fijada a las mismas.
- Adhesivos sin solventes: Este tipo de adhesivos surge como respuesta al aporte de energía que requieren los adhesivos que

utilizan un solvente (orgánico o acuoso), para la evaporación de éstos y por los problemas medioambientales que conllevan. Estos adhesivos, también pueden incluirse dentro del concepto de adhesivos reactivos. Otro tipo a considerar son las resinas epoxi bicomponente formadas por una resina epoxi fluida y un reactivo como una poliamida que contenga grupos amina libres.

b) Según los requerimientos de uso [5]:

- Adhesivos Estructurales: aquellos que deben soportar una carga mayor que el peso del adherente.
- Adhesivos de sostén: deben soportar solamente el peso de los adherentes.
- Adhesivos selladores: prevenir el pasaje de fluidos a través de una junta.
- Adhesivos termoplásticos: aquellos que se ablandan y fluyen cuando son calentados, y solidifican al enfriarse.
- Adhesivos termoendurecibles: no se ablandan cuando son calentados, pueden carbonizarse si son calentados a temperaturas elevadas, pero no fluyen.

c) Según la composición química:

- Fuentes animales
- Fuentes vegetales
- Sintéticos: basados en materiales desarrollados por la industria química.

d) Según los métodos de curado:

- Por Solidificación
- Por Evaporación de solvent
- Por Reacción química
- Reacción anaeróbica
- Exposición a la luz ultravioleta
- Reacción aniónica
- Sistemas de activación
- Curado húmedo

2.4. VENTAJAS DE LOS ADHESIVOS

La utilización de adhesivos para realizar uniones entre materiales, presenta múltiples ventajas [5] frente a otros métodos de unión como pueden ser la soldadura, remachado, atornillado, etc. A continuación, las describimos:

- El uso de los adhesivos elimina la corrosión asociada a la unión de metales diferentes con distinto potencial galvánico, por ejemplo, la unión de acero con aluminio.
- El uso de adhesivos no produce ninguna deformación en las piezas o sustratos donde se aplica, eliminando los procesos de rectificado de chapa, reduciendo el coste de fabricación y mejorando la estética del producto final.
- No produce ningún tipo de agresión mecánica al sustrato, evitando cualquier daño a la estructura del material.
- Gran flexibilidad en el diseño de los productos, permitiendo realizar construcciones estéticamente muy atractivas.

- Reducción del peso del producto: en el caso de productos de tracción la reducción de peso está directamente ligada a la reducción de consumo de energía y emisión de contaminantes al ambiente.
- Incremento de la resistencia frente a impactos y resistencia a fatiga mediante el uso de adhesivos elásticos, aumentando la fiabilidad y ciclo de vida del producto.
- Distribución homogénea de las tensiones a lo largo de toda la unión permitiendo la eliminación de concentraciones de tensiones que pueden producir la fractura de la unión.
- Disminución de ruido y vibraciones.
- Reducción del número de componentes (tornillos, tuercas, arandelas, remaches...) necesarios para realizar la unión permitiendo reducir el coste de la fabricación.
- Función de sellado y protección frente a la corrosión.
- Adhesivos especiales preparados para conducir electricidad o como aislante eléctrico, generalmente utilizados en el campo de la electrónica.

2.5. DESVENTAJAS DE LOS ADHESIVOS

Como es lógico, no todo son ventajas en la unión de materiales mediante adhesivos, sino que estos también presentan alguna desventaja [3] respecto a otros métodos de unión:

- Tiempo de espera para lograr la adhesividad o unión del adhesivo: La resistencia de la unión adhesiva no se obtiene de inmediato, al contrario que ocurre por ejemplo con un atornillado, sino que es necesario esperar un tiempo para que se solidifique o cure el adhesivo. Este tiempo dependerá de la selección del adhesivo a utilizar, así como en muchas ocasiones de las condiciones ambientales donde se realiza el proceso de unión.

- Resistencia a las temperaturas: Los adhesivos, al ser materiales basados en polímeros, disponen de una resistencia media a la temperatura.
- Envejecimiento: La resistencia a largo plazo de la unión adhesiva se encuentra afectada por diversas acciones físicas y químicas que se encuentran en el ambiente (como el agua de mar, en nuestro caso).
- Preparación superficial: Al igual que ocurre en el proceso de pintura y soldadura, es necesario realizar una preparación superficial previo al proceso de aplicación de adhesivos con el objetivo de conseguir una buena adhesión entre el adhesivo y el sustrato, dicha preparación superficial variará en función de los materiales a unir, el adhesivo seleccionado y los requerimientos funcionales que necesite cumplir la unión adhesiva.
- Desmontaje: El proceso de desmontaje de uniones adhesivas puede llegar a destruir o deformar los sustratos unidos, siendo un proceso costoso de realizar, hecho que no ocurre cuando se utiliza técnicas como el atornillado.
- Seguridad y medioambiente: Dado que la base de los adhesivos son compuestos químicos, es necesario definir las acciones necesarias para evitar la exposición de personas a estos productos durante el momento de aplicación, que dependerán de la cantidad y del tipo de adhesivo a utilizar.

3. PREPARACIÓN DEL MATERIAL PREVIA A LOS ENSAYOS

Como anticipábamos anteriormente, realizamos un breve resumen de los procesos de elaboración y ajuste de las probetas, centrándonos sobre todo en el acero y adhesivo empleados.

3.1. PROBETAS

La máquina de ensayos con la que realizaremos el estudio, está diseñada, como veremos más adelante, para poder dar respuesta a diferentes sollicitaciones, como son:

- a) Estudiar el comportamiento a impacto en mamparos con forma de papel de abeja, en los que el alma se une a las planchas mediante un adhesivo, tal y como muestra la Figura 3.

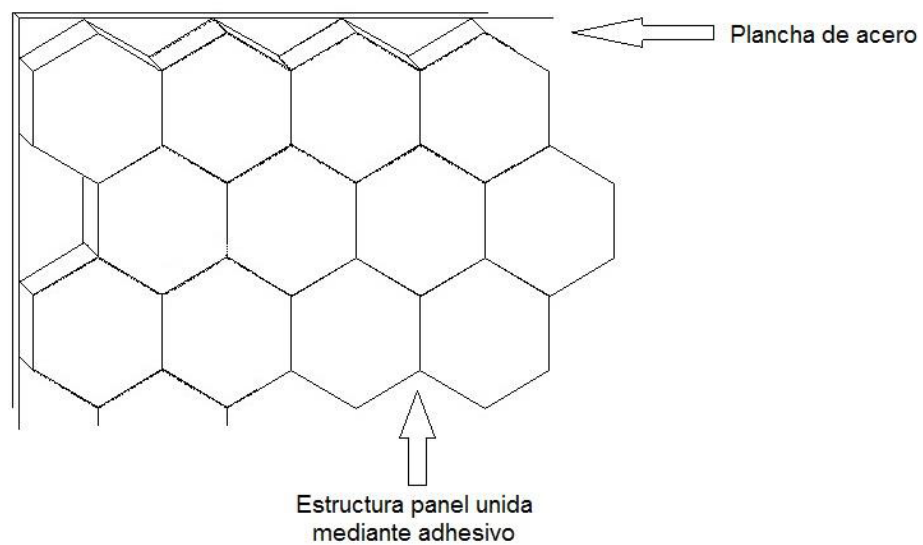


Figura 3: Mamparo unido a una plancha de acero mediante adhesivo

- b) Estudiar el comportamiento de probetas formadas por planchas de acero de pequeño espesor y en forma de Y, tal y como se aprecia en la Figura 4:

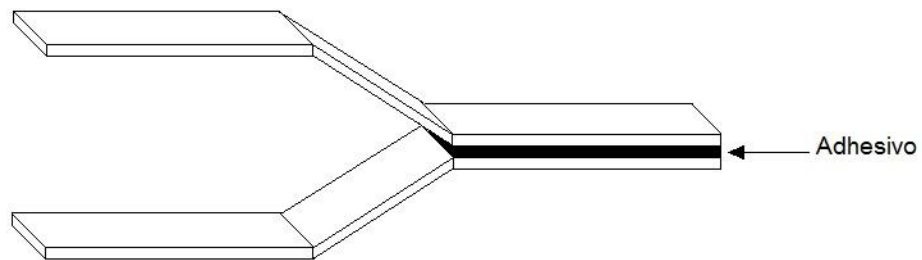


Figura 4: Probetas en forma de Y

- c) Estudiar el comportamiento de Vigas de Doble Voladizo o Double Cantilever Beam (DCB), las cuales serán objeto de estudio en nuestro trabajo. En las Figuras 5 y 6 podemos ver un esquema de este tipo de vigas, así como un caso real de los sustratos que se utilizará en el presente Trabajo, respectivamente:

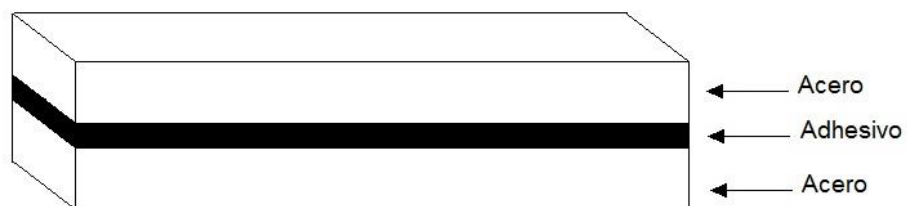


Figura 5: Viga de doble voladizo. Esquema de nuestra probeta a estudiar



Figura 6: Alzado y Perfil de dos sustratos.

3.2. ACERO

Estos sustratos o adherentes de acero fueron cortados de unas planchas de acero facilitadas por Astilleros Santander S.A. (Astander) [8], como la de la Figura 7:

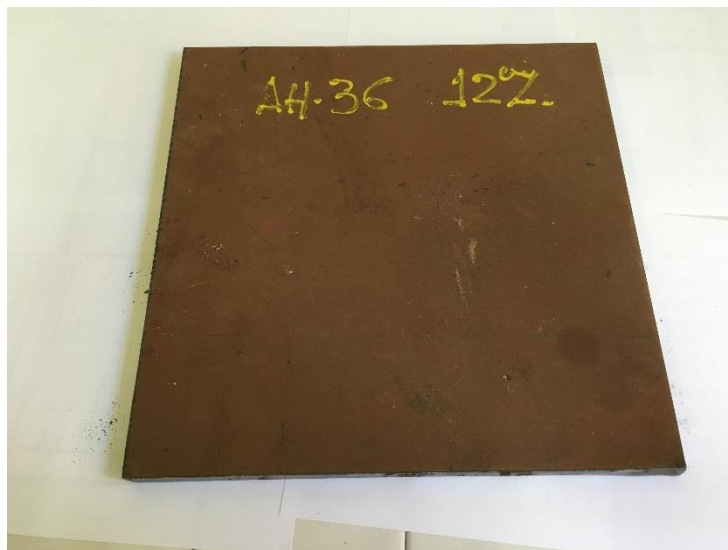


Figura 7: Plancha de acero suministrada por ASTANDER

En un principio se comenzó cortando las piezas en la ETS Náutica (Universidad de Cantabria) a mano, con una sierra de corte para metales. Pero al ser tantas las probetas necesarias, el propio Astillero las facilitó ya cortadas mediante oxicorte (Figuras 8a. y 8b).



a



b

Figuras 8a y 8b: Proceso de oxicorte

A continuación se muestran una serie de Talas con la composición química y las propiedades del acero (Tablas 1 y 2 respectivamente). Datos que podemos observar en el certificado del acero facilitado por Astander (Anexo).

Tabla 1: Composición química del acero [8]

Composición Química (wt % Fe Balance)				
C	Mn	Si	S	P
0,16	0,69	0,17	0,019	0,013
Cr	Ni	Cu	Ti	Al
0,03	0,03	0,03	0,003	0,039
N	Mo	V	Nb	Ceq
0,007	0,002	0,003	0,002	0,28

Tabla 2: Propiedades mecánicas del acero [8]

Propiedades mecánicas						
Y.S. (MPa)		U.T.S. (MPa)			e (%)	
363		477			30	

3.3. ADHESIVO

Para unir estas piezas se decidió utilizar una resina de poliéster insaturado (Recapoli 955 DCPD). Este adhesivo ya se empleó en otras investigaciones del grupo [9], por lo que esto facilitará una futura comparación de los resultados obtenidos en la máquina, con otros ensayos.

Las propiedades físicas y mecánicas de esta resina en su estado líquido y polimerizado, se muestran en las Tablas 3 y 4 respectivamente, y fueron en su día facilitadas por el suministrador del producto, junto con una breve descripción de la misma.

Tabla 3: Propiedades físicas de la resina en estado líquido a 25°C

Aspecto	Líquido amarillento
Viscosidad	100-150 mPas (cps) (ASTM D-2196)
Contenido en ESTIRENO	37-41 % (ASTM D-1644)
Índice de acidez	30 máx mg KOH/g resina (ASTM D-1639)
Tiempo de gel	(0,3% Co 6% y 1% PMEK 50%, 25°C): 40-50 min
Temperatura máxima	110 – 130 °C (MA-0303)
Tiempo de máxima	50-70 min (MA-0304)

Tabla 4: Propiedades mecánicas de la resina en estado polimerizado

HDT	60-70 °C (ASTM D-648)
Resistencia a la tracción	600 - 700 kg/cm ² ASTM D-638
Resistencia a la flexión	900 - 1000 kg/cm ² ASTM D-790
Alargamiento a la rotura	2,5 % ASTM D-638
Dureza BARCOL	40 mínimo. Barcol ASTM D-2583

3.3.1. RECAPOLI 955 DCPD

A continuación, la descripción de la resina que nos ofrece el fabricante:

***“Recapoli 955 DCPD** es una resina desarrollada para su uso en inyección en sus múltiples variantes; que se caracteriza por su baja viscosidad y por su rápido ciclo de curado, lo que permite un corto tiempo de desmoldeo. Destaca por su bajo contenido en estireno y está especialmente estabilizada para su uso en países con climas cálidos. Su campo de aplicación es amplio, pudiéndose utilizar para la fabricación de embarcaciones, depósitos, carrocerías, silos, etc. La presentación del adhesivo es en una lata de 5 litros y viene acompañada de un catalizador.”* [10]

3.4. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Antes de aplicar el adhesivo, se prepararon adecuadamente los adherentes:

- a) Primero pasaron una fase de lijado para eliminar restos de óxido e impurezas debidas al oxicorte en Astander.
- b) Una vez eliminado todo el óxido posible, se lavaron con agua corriente. Posteriormente se secaron con papel y calor.

En cuanto a la aplicación del adhesivo, se realizó en las dos caras de los adherentes con un pincel. Después de unirlos, se dejó secar a temperatura ambiente entre 3 y 48 horas, dependiendo del porcentaje de catalizador utilizado, ya que se realizaron varias pruebas para conocer la rapidez de reacción del mismo.

En la Figura 9 se muestran las probetas en su proceso de secado:



Figura 9: Probetas en proceso de secado una vez se ha aplicado el adhesivo

4. METODOLOGÍA DE ENSAYOS

En este capítulo conoceremos más a fondo la máquina de ensayos diseñada por el grupo de investigación, así como los pasos a seguir para realizar estas pruebas.

4.1. PARTES BÁSICAS DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS

Nuestra máquina está diseñada para realizar los ensayos de impacto en uniones adhesivas, y se basa en los fundamentos de la guillotina. Así, consta de dos soportes verticales y una traviesa horizontal (que constituye el elemento móvil), que es la que impacta sobre las probetas de acero, sujetas a la base mediante un sistema de utillaje que posteriormente se describe.

En la Figura 10, se señalan sus partes más importantes:

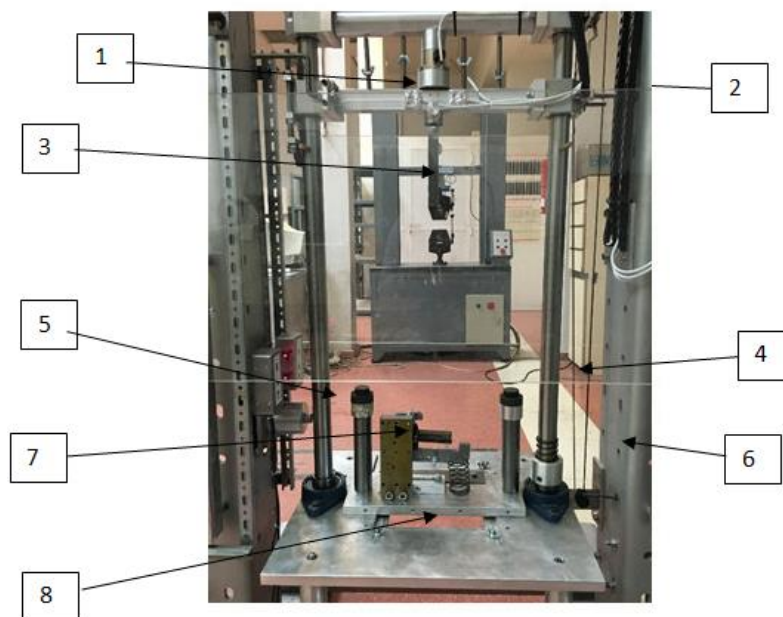


Figura 10: Máquina de ensayo

1.- Soporte con un electroimán diseñado para sujetar la parte móvil (Figura 11). Se puede variar su posición en altura, como posteriormente veremos, lo que afectará a su disipación en las probetas objeto de estudio.



Figura 11: Soporte con electroimán

2.- Traviesa móvil que genera la energía de impacto al caer (5.549 g).

3.- Impactador en forma de horquilla: Hubo que modificarlo, ya que las probetas a ensayar en este estudio eran más anchas que las del estudio más reciente. La horquilla pasaba demasiado justa y corría el riesgo de tocar en la pieza en cuestión. Aun habiéndolo modificado una primera vez, y asegurándonos que todos los útiles se encontraban correctamente sujetos, éste seguía rozando los tornillos de sujeción, así que la decisión final fue ensanchar la horquilla, de tal forma que golpee la varilla sin perder energía. En la Figura 12 se muestra el impactador una vez modificado.

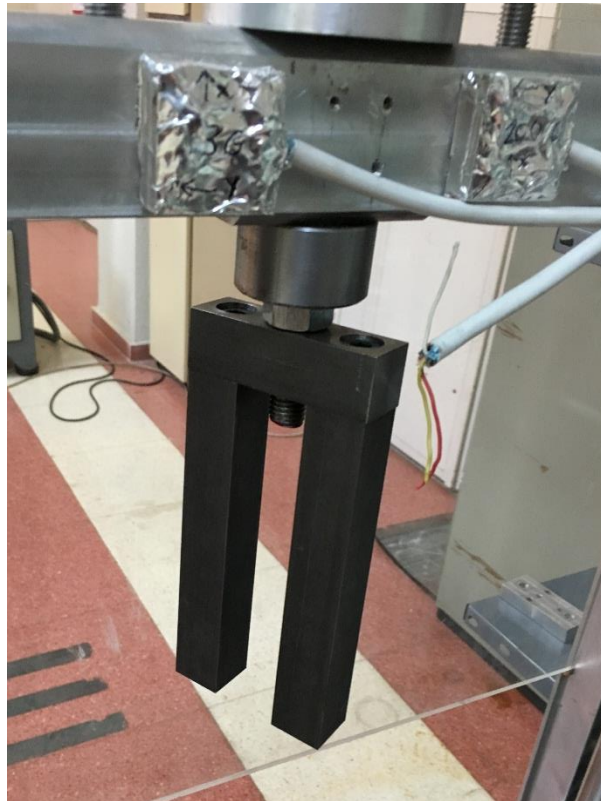


Figura 12: Impactador en forma de horquilla

- 4.- Mamparo de seguridad de metacrilato: impedirá golpes que puedan ocasionar las piezas sueltas tras el impacto del golpeador.
- 5.- Topes para frenar la traviesa móvil en su caída después de golpear la probeta, y que generarán un rebote.
- 6.- Motor eléctrico que permite modificar la altura del soporte 1.
- 7.- Soporte vertical en el que se ha fijado una escala graduada para determinar la altura a la que se sitúa el elemento de impacto.
- 8.- Base donde se ubica la probeta con el utillaje de sujeción.

4.2. PASOS A SEGUIR PARA REALIZAR UN ENSAYO

A continuación, se detallan los pasos a seguir para realizar un ensayo de impacto (caída de peso libre) con el equipo situado en el laboratorio de Materiales de Unión y Ensayos No Destructivos de la E.T.S.I. Navales (UPM), y que muestra la Figura 13.



Figura 13: Equipo completo con el que realizaremos los ensayos

El primer paso es encender el ordenador y el resto de dispositivos que van a medir y recoger los datos del ensayo.

El siguiente dispositivo con pantalla táctil (Figura 14), permite el control de la máquina de ensayo. En la pantalla inicial se puede ver la información de fecha y hora, así como la temperatura.



Figura 14: Pantalla inicial

Para que aparezca el MENÚ PRINCIPAL (Figura 15), tan sólo es necesario tocar la pantalla.

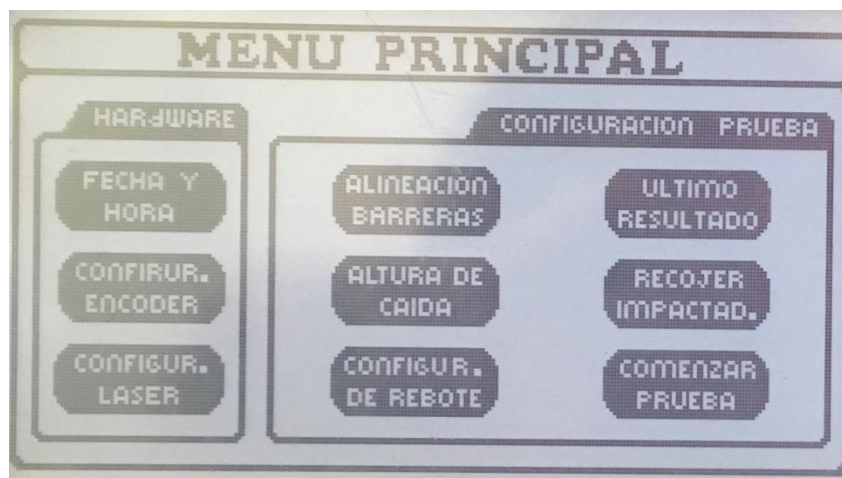


Figura 15: Menú Principal

En el cuadro de la izquierda aparece el HARDWARE que permite configurar la fecha y la hora, entre otras (el resto de configuraciones no se han modificado). A la derecha aparecen las distintas opciones de

CONFIGURACIÓN DE LA PRUEBA, que son las siguientes:

- **ALINEACIÓN BARRERAS:** Para una máxima precisión de la velocidad de impacto, el valor de la alineación de las barreras, tarea que realizamos mediante un láser (Figura 16), no debe ser inferior al 95%. Dado que los valores A y B (Figura 17) marcan 99%, está bien y no es necesario tocar nada. Para volver a la pantalla de MENÚ PRINCIPAL, tocar la fecha de retorno:



Figura 16: Láser utilizado para la alineación de las barreras

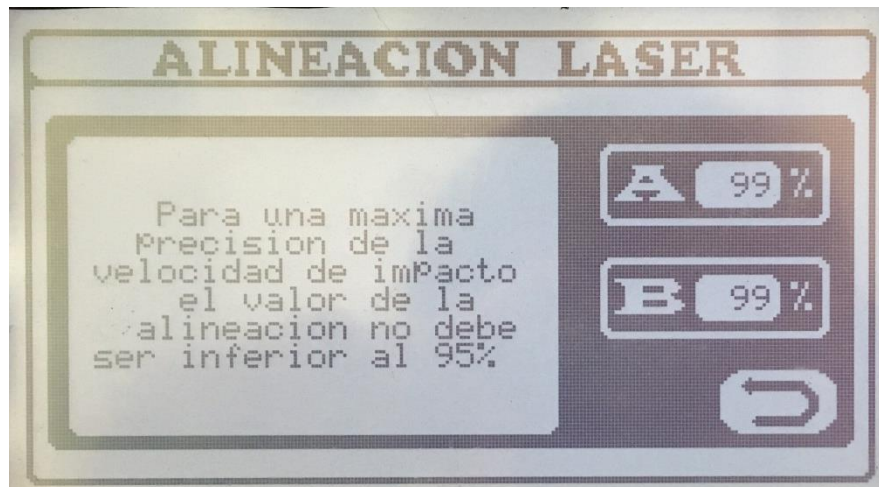


Figura 17: Precisión del láser

- **ALTURA DE CAÍDA:** Para fijar la altura de la caída, o altura de lanzamiento, se recomienda bajar el impactador hasta que esté casi en contacto con la probeta a ensayar (MANUAL-BAJAR) y pulsar MANUAL-CERO.

Una vez puesto a cero el valor, para indicar la ALTURA ELEGIDA (que será la altura desde la cual se quiere que caiga el impactador) y que marcaremos con un láser (Figura 18), basta con pulsar los círculos que aparecen a la izquierda de la pantalla y subir (+10, +1) o bajar (-10, -1) los valores en la pantalla que vemos en la Figura 19.

La ALTURA ACTUAL marca el valor del carro impactador en cada instante tomando como referencia el punto que se haya considerado como cero en este caso, marcaría la distancia del carro impactador a la probeta. Los valores de las alturas están indicados en cm, y nuestros ensayos los realizaremos a 80 cm.

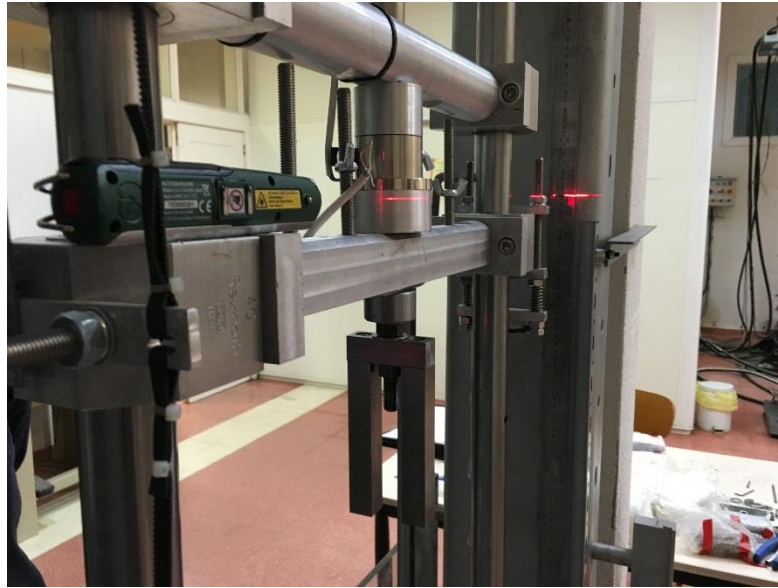


Figura 18: Láser para medir la altura de caída de forma manual

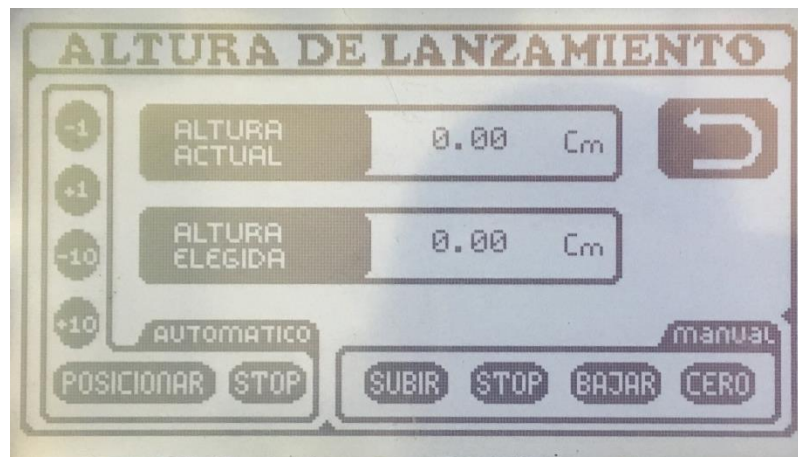


Figura 19: Pantalla que muestra la altura de lanzamiento

CONFIGURACIÓN DEL REBOTE: En la pantalla de configuración del rebote (Figura 20) se ha seleccionado como número de REBOTES: 1. Para que sea efectivo, debe estar configurado el ESTADO: ON. Destacar que, configurado de esta manera, el mecanismo de rebote salta automáticamente al impactar la probeta; no obstante, si previamente o a posteriori se baja el carro impactador y se quiere sobrepasar este límite, el mecanismo ha de introducirse manualmente.

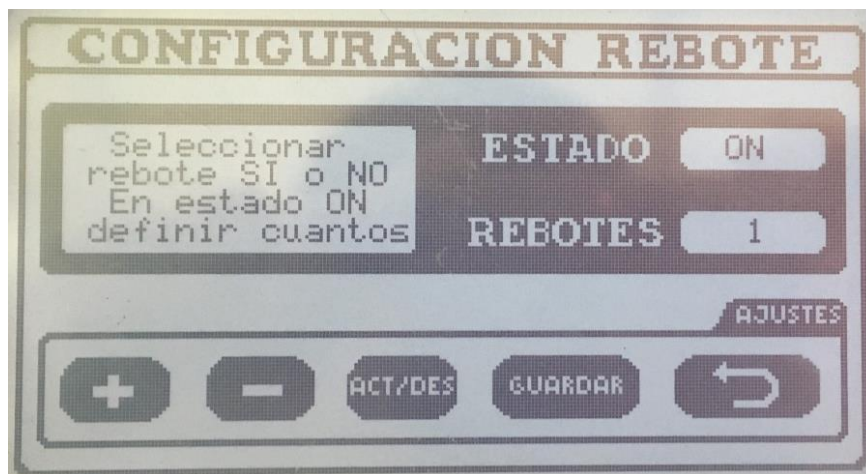


Figura 20: Pantalla para configurar el rebote del impactador

ÚLTIMO RESULTADO: En la ventana RESULTADOS DE PRUEBA (Figura 21), aparecen los datos del último ensayo realizado: altura de caída, altura de rebote, profundidad impacto, velocidad de impacto, temperatura y número de impactos.

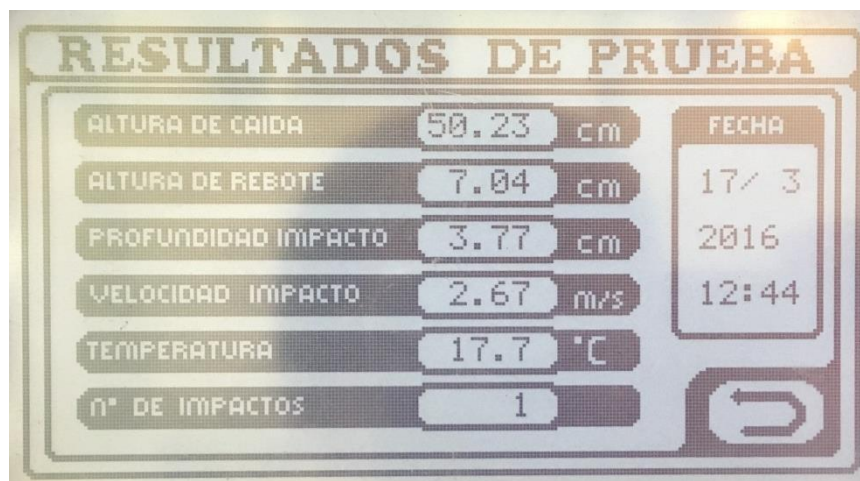


Figura 21: Resultados del ensayo

RECOGER IMPACTADOR: Es una opción automática en la que, tras el impacto, el carro impactador se aproxima al impactador, y cuando están suficiente cerca, se unen mediante un imán, quedando el carro listo para el siguiente ensayo.

COMENZAR PRUEBA: En el momento en que está todo correctamente configurado, ya se puede comenzar la prueba. Cuando se pulsa este “botón”, aparecen los parámetros de la prueba que permiten comprobar que, efectivamente, todo está en orden. Si es así, pulsar COMENZAR; en caso en que sea necesario rectificar algún valor o no se pueda realizar el ensayo por algún otro motivo, se puede pulsar la fecha para retroceder.

Aún así, antes de que caiga el impactador, aparece una pantalla en la que se mencionan una serie precauciones muy importantes:

- Asegúrese de introducir el tope del retenedor.
- Asegúrese de retirar los pasadores de seguridad.
- Asegúrese de poner en modo grabación el software del PC: Muy importante antes de realizar el ensayo; en caso de que no se ponga el modo grabación, no quedarán registrados los valores del ensayo y se habrá destrozado una probeta sin obtener información, hecho que obligaría a dilatar en el tiempo la investigación que se está llevando a cabo, y pérdida de información muy útil para la misma.

Cuando se pulse COMENZAR ya en esta última pantalla, que muestra la Figura 22, comienza el ensayo.

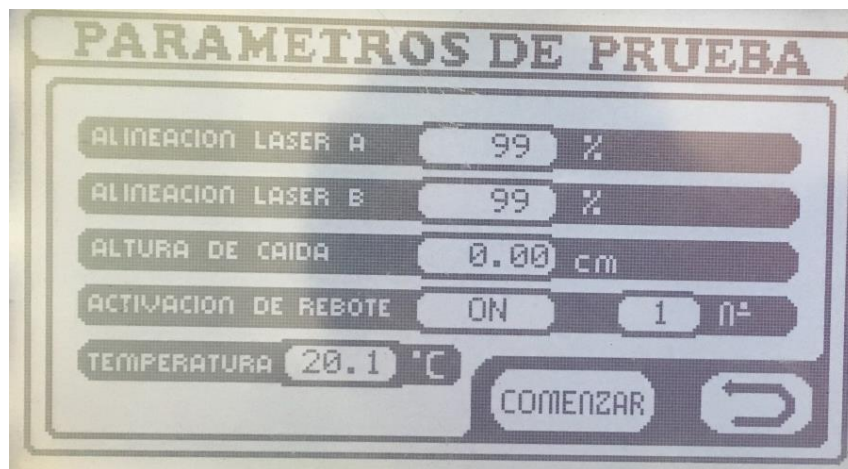


Figura 22: Parámetros de la prueba

Debemos tener mucho cuidado con esta máquina, especialmente al desconectar los dispositivos, ya que al hacer esto, el imán cae junto con todo el elemento móvil que lo sujeta, pudiendo ocasionarnos lesiones muy graves.

Una vez realizado el ensayo, procedemos a recopilar los datos que nos ha proporcionado, mediante el Software Quick DAQ 2014, que nos mostrará dos gráficas en función de la aceleración y de la velocidad respectivamente (Figura 23), y que posteriormente exportaremos a Excel para poder analizar los resultados [11].

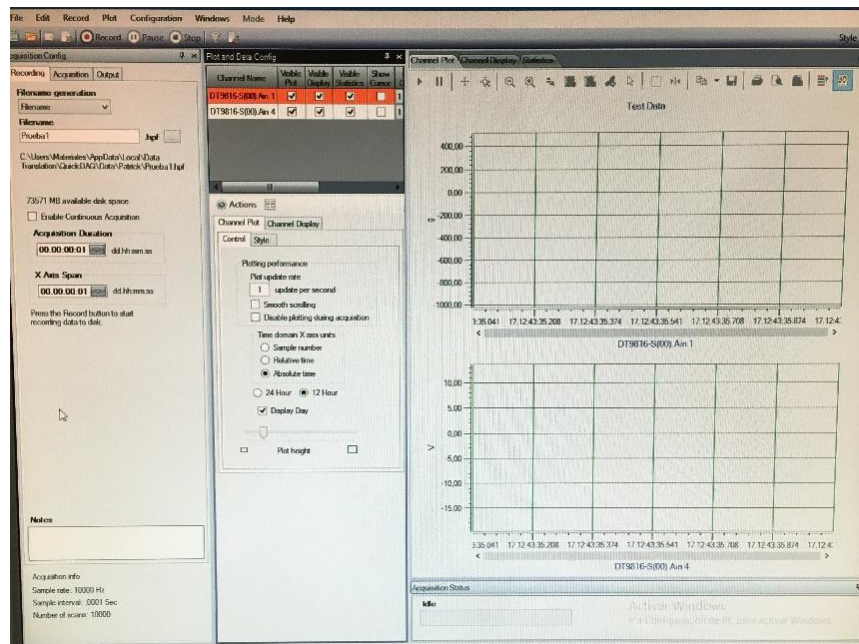


Figura 23: Resultados en la pantalla del PC

4.3. PROBETAS

Estos procedimientos del ensayo anteriormente descritos, no serían posibles sin las probetas que vamos a analizar, y que en el apartado 2 de nuestro trabajo hemos descrito [6].

Ya que en estos ensayos estudiaremos la resistencia a cargas externas que ofrecen las uniones adhesivas teniendo en cuenta la degradación de los materiales en agua de mar, se decidió elaborar cada tipo de probeta por triplicado, teniendo en cuenta tres factores para la obtención de un número total de estas:

- 1.- Ángulos diferentes de solicitación. Realizaremos los ensayos en las condiciones más exigentes, 0° y 90° y una intermedia de 45°.

2.- Tiempos de envejecimiento: Se han establecido los siguientes períodos de envejecimiento a través de la inmersión de las probetas en agua de mar obtenido en la Bahía de Santander (pH= 7,8):

- Sin envejecer
- 1 día
- 3 días
- 7 días
- 15 días
- 30 días
- 60 días

3.- En cuanto al tipo de adhesivo se establecen dos tipos diferentes:

- Sin ninguna carga o refuerzo adicional (que serán objeto de este estudio)
- Con una carga o refuerzo de polvo de vidrio al 10% (realizadas para estudios futuros).

En la Tabla 5 se muestra la forma en la que nos referiremos a cada tipo de probeta sometida a ensayo a partir de ahora:

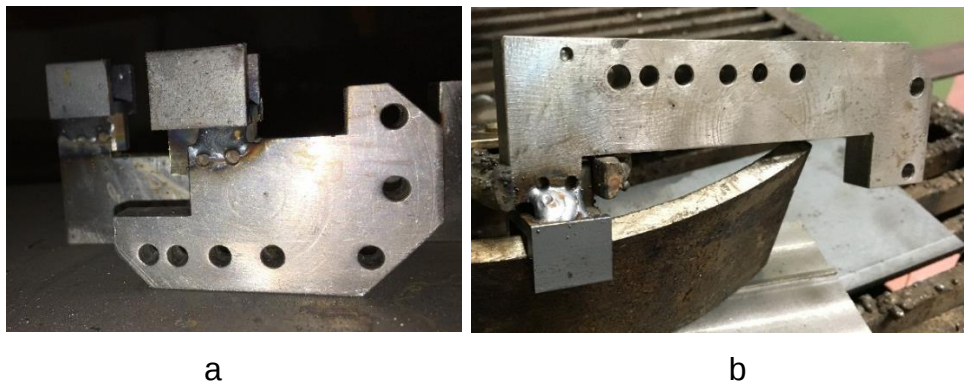
Tabla 5: Tipos y número de probetas fabricadas

Sin Carga de vidrio							
	sin envejecer	1 día	3 días	7 días	15 días	30 días	60 días
solicitud 0°	S0A	S1A	S3A	S7A	S15A	S30A	S60A
	S0B	S1B	S3B	S7B	S15B	S30B	S60B
	S0C	S1C	S3C	S7C	S15C	S30C	S60C
solicitud 45°	S0D	S1D	S3D	S7D	S15D	S30D	S60D
	S0E	S1E	S3E	S7E	S15E	S30E	S60E
	S0F	S1F	S3F	S7F	S15F	S30F	S60F
solicitud 90°	S0G	S1G	S3G	S7G	S15G	S30G	S60G
	S0H	S1H	S3H	S7H	S15H	S30H	S60H
	S0I	S1I	S3I	S7I	S15I	S30I	S60I
Con Carga de vidrio							
	sin envejecer	1 día	3 días	7 días	15 días	30 días	60 días
solicitud 0°	C0A	C1A	C3A	C7A	C15A	C30A	C60A
	C0B	C1B	C3B	C7B	C15B	C30B	C60B
	C0C	C1C	C3C	C7C	C15C	C30C	C60C
solicitud 45°	C0D	C1D	C3D	C7D	C15D	C30D	C60D
	C0E	C1E	C3E	C7E	C15E	C30E	C60E
	C0F	C1F	C3F	C7F	C15F	C30F	C60F
solicitud 90°	C0G	C1G	C3G	C7G	C15G	C30G	C60G
	C0H	C1H	C3H	C7H	C15H	C30H	C60H
	C0I	C1I	C3I	C7I	C15I	C30I	C60I

4.3.1. SUJECIÓN DE LAS PROBETAS

La sujeción de las probetas a la máquina de ensayos, fue sin lugar a dudas el proceso más laborioso de todo el proyecto.

A continuación, en las Figuras 24a y 24 b, se muestra el utillaje de sujeción de las probetas. Las dos piezas centrales fueron soldadas para este nuevo estudio, debido a que, en estudios anteriores, éstas iban atornilladas a los útiles de sujeción, y al producirse el impacto, los tornillos se doblaban, falseando así los resultados.



Figuras 24a y 24b: Utillaje de sujeción de las probetas

Las probetas van ancladas a los útiles de sujeción de la máquina mediante cuatro tornillos pasantes de 4mm de diámetro, por lo que hubo que taladrar una a una. En la Figura 25 observamos el modo en que se taladraron las primeras en la ETSI Navales de la Universidad Politécnica de Madrid, a la que me desplazé con las piezas para someterlas a ensayo.

Además, fabricamos una plantilla para que los agujeros pasantes estuviesen todos alineados de la misma forma. Esta plantilla inicialmente era de aluminio, pero sufría graves deterioros debidos a la fricción y al calor de la broca.

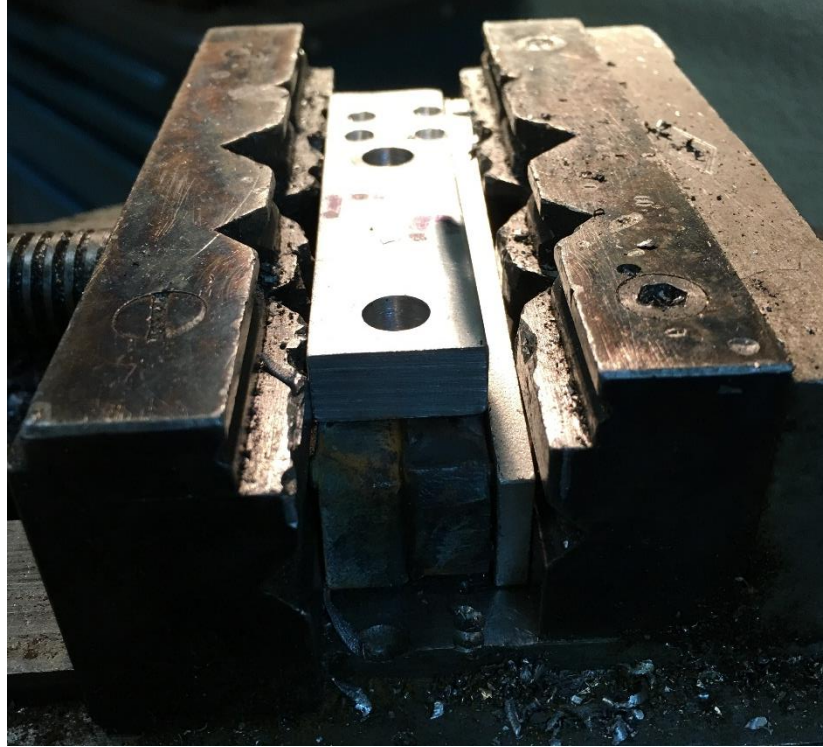


Figura 25: Probeta y su plantilla, listas para ser taladradas

Esta forma de sujetar las probetas, además de una incorrecta aplicación del adhesivo en las caras de los adherentes, ocasionó que varias de las probetas se despegaran antes incluso de empezar a ser taladradas. Este contratiempo nos ha servido también para estudiar posibles fallos en los adhesivos, tal y como muestra la Figura 26, y que relacionamos con nuestro caso su caso real en las Figuras 27 y 28:

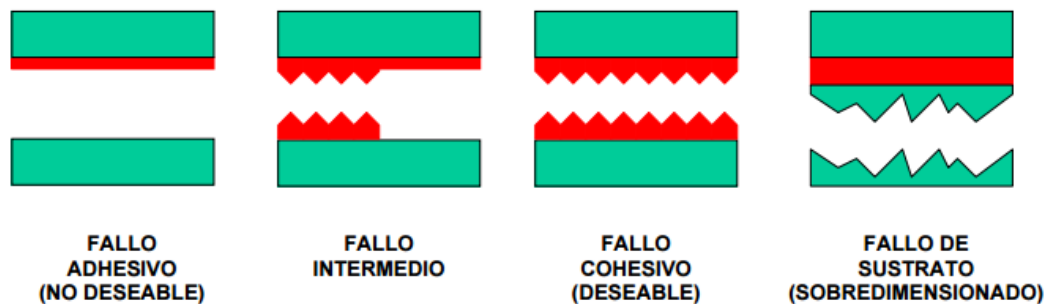


Figura 26: Distintos tipos de fallo de la unión adhesiva



Figura 27: Fallo adhesivo no deseable



Figura 28: Fallo adhesivo intermedio

Debido a que este proceso resultó llevar más tiempo de lo que en principio se había calculado, ya que conseguir una alineación correcta de la probeta era algo complicado, el resto de piezas fueron preparadas en la ETS Náutica de la Universidad de Cantabria.

Finalmente, tras taladrar todas las probetas, en la Figura 29 vemos el resultado de una de ellas anclada correctamente al utillaje de sujeción:

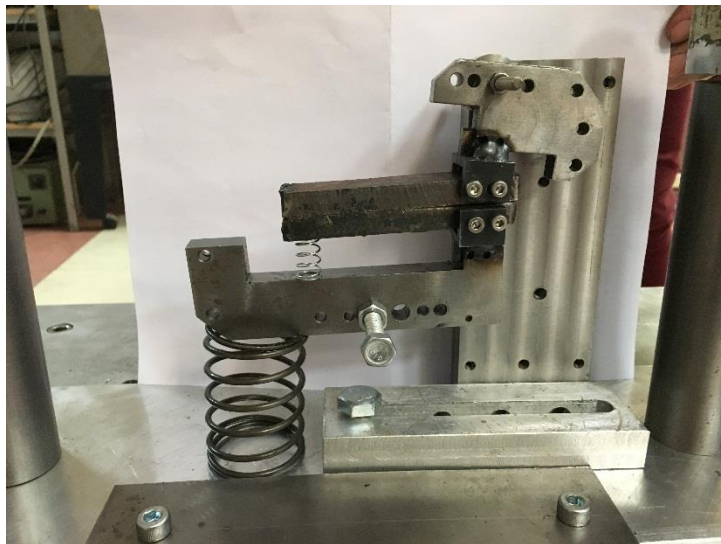


Figura 29: Probeta finalmente sujeta a la máquina de ensayos

4.4. PARÁMETROS DE ENSAYO

Para una correcta realización de los ensayos, hemos determinado los siguientes parámetros:

- Frecuencia de recogida de datos: 20.000 Hz
- Tiempo durante el cual la máquina adquiere datos del ensayo: 1 segundo.
- Altura de caída: 80 cm.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Finalmente, después de muchas horas de trabajo y estudio, procedimos a la realización de los ensayos de impacto. Los resultados obtenidos se traducen en las gráficas que se muestran a continuación (Figuras 30 a 75), acompañadas de una breve descripción de las mismas. Estas gráficas vienen nombradas por un código, que corresponde al tipo de probeta ensayada.

Este código esta formado por:

- Una letra: que nos dice si esta probeta lleva (C) o no lleva (S) carga de vidrio.
- Un primer número: que nos informa del tiempo que ha sido envejecida en agua de mar (60 días, 30, 15, 7, 3, 1 o 0)
- Un segundo número: que nos informa del grado de inclinación en el que se colocó la pieza para el ensayo (90°, 45° o 0°)
- Un tercer número: que simplemente nos dice el número de pieza ensayada, dentro del mismo ángulo y envejecimiento (1, 2 o 3).

A modo de ejemplo, el código S30_45_1 indicará que la probeta ha estado sumergida en agua de mar durante 30 días, que se ha realizado el impacto a 45°, y que es la primera pieza ensayada de éste tipo.

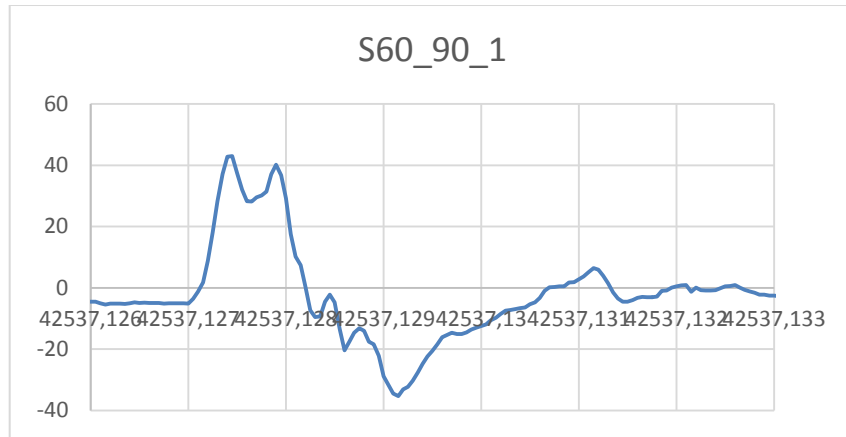


Figura 30

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 60 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 35uds.

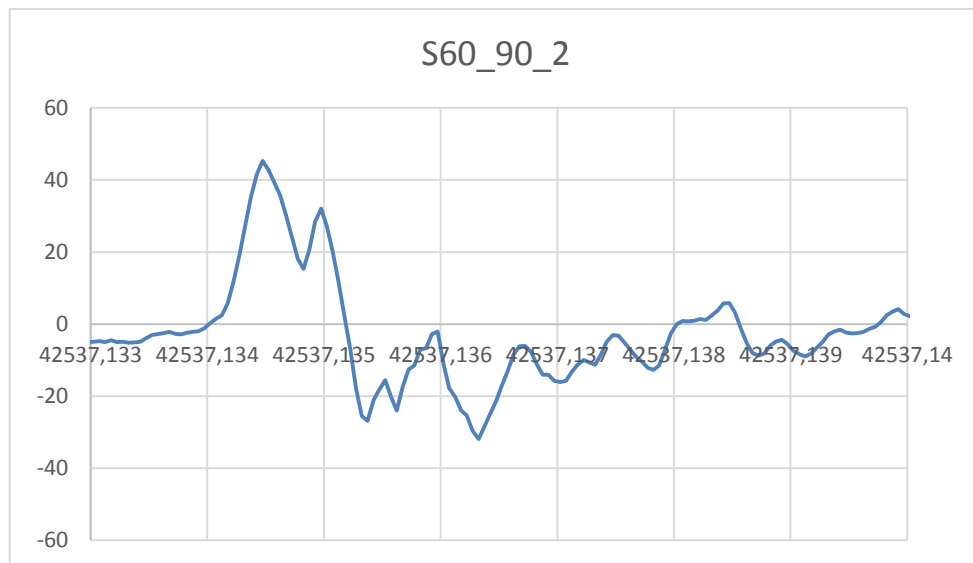


Figura 31

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 60 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 32uds, rompiendo esta vez de una forma más plástica a la anterior.

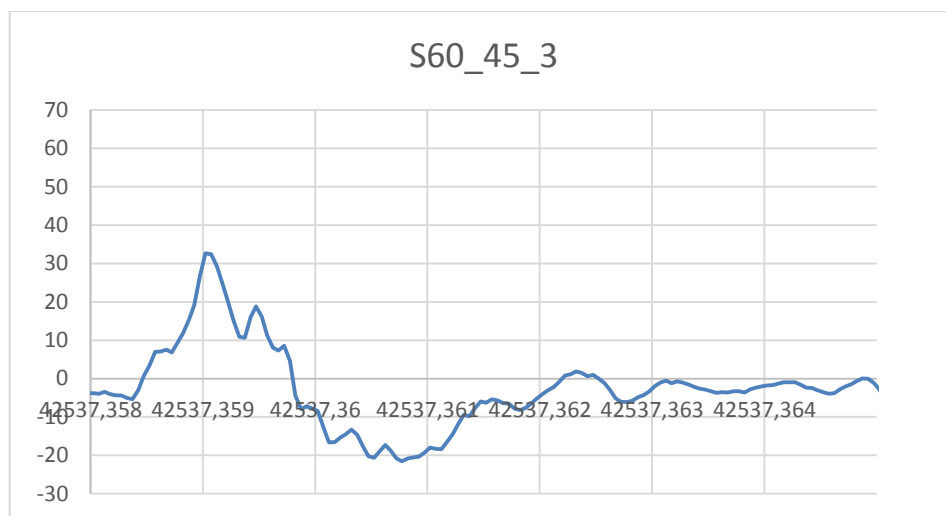


Figura 328

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 60 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 22uds, como vemos menor que realizando el impacto a 90°.



Figura 33

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 60 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 23uds, rompiendo de una forma muy similar a su gemela.

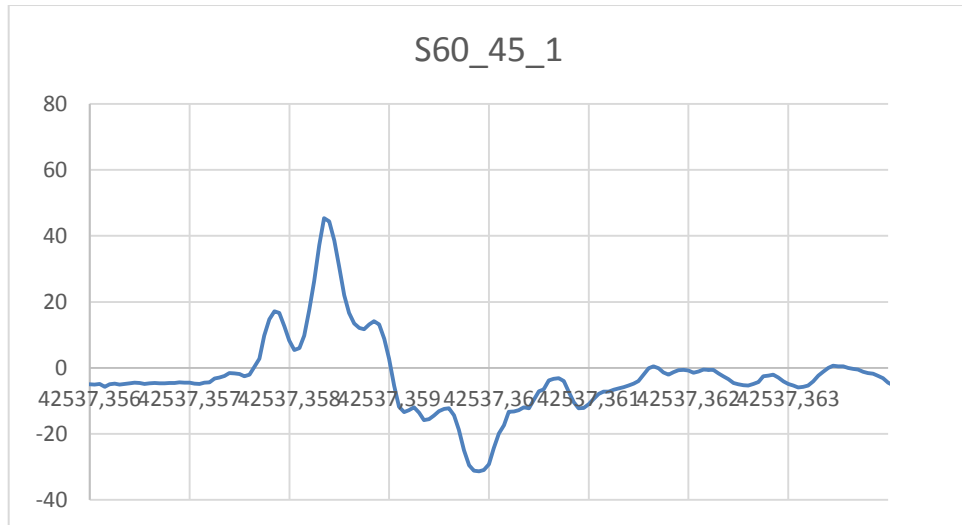


Figura 34

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 60 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 31uds, rompiendo esta vez de una forma menos plástica que las anteriores.

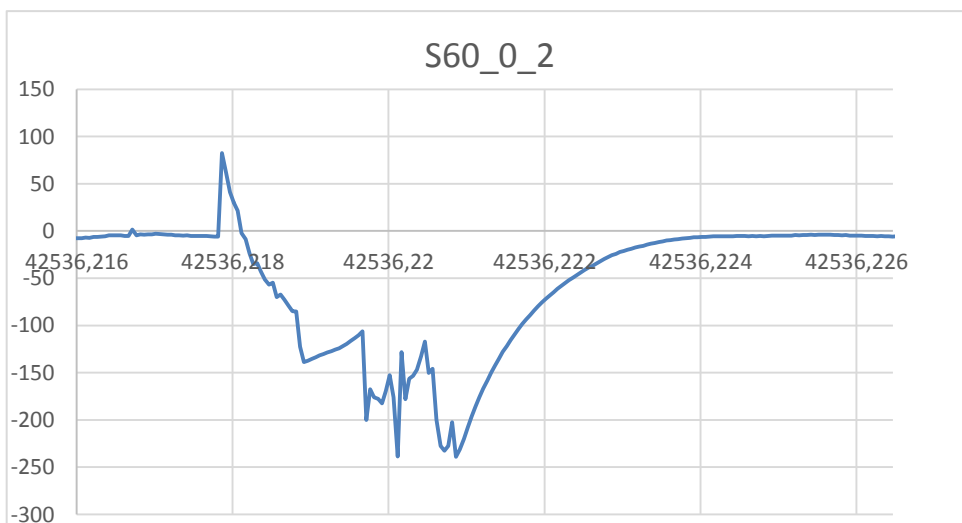


Figura 35

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 60 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 238uds, muchísimo mayor que en los ensayos anteriores con otros ángulos.

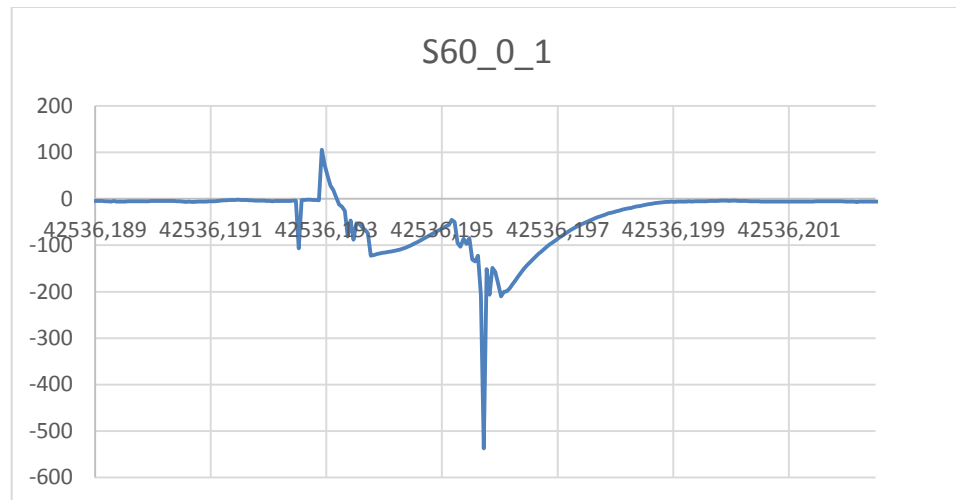


Figura 36

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 60 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 538uds, muchísimo mayor que en los ensayos anteriores con otros ángulos y más del doble que la primera en esta inclinación.

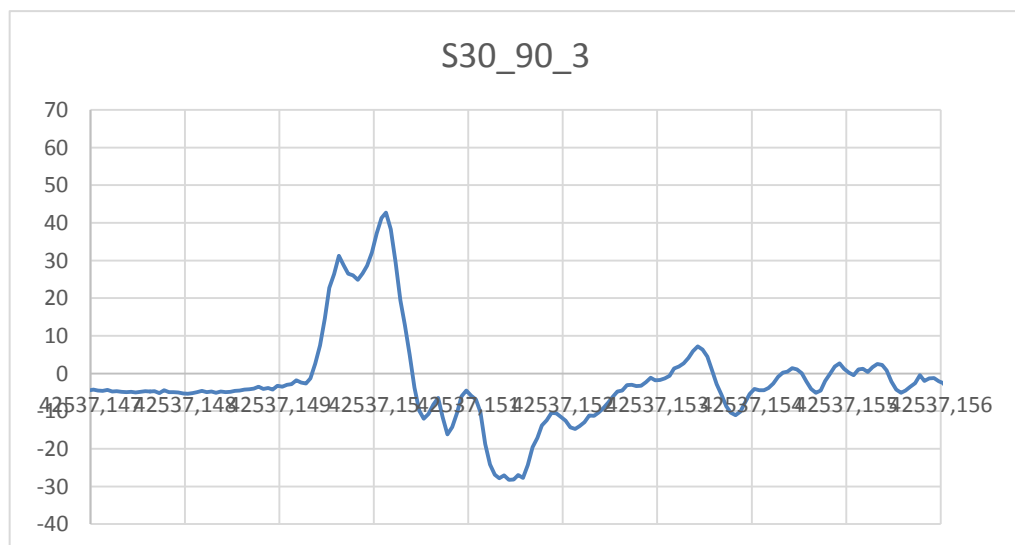


Figura 37

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 30 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 28uds, algo menos que en las de 60 días de envejecimiento.

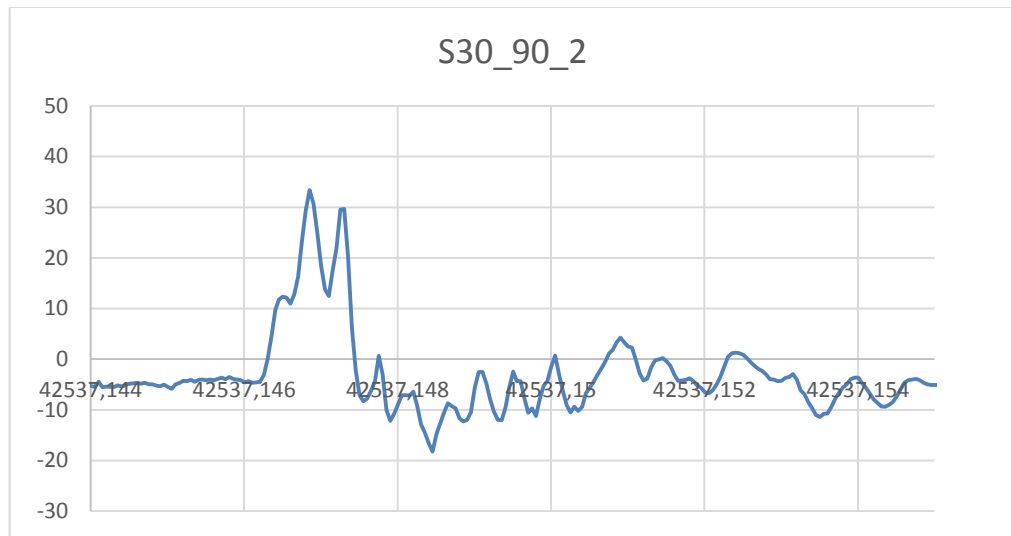


Figura 38

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 30 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 18uds, bastante menor que en la anterior. Las gráficas son bastante parejas.

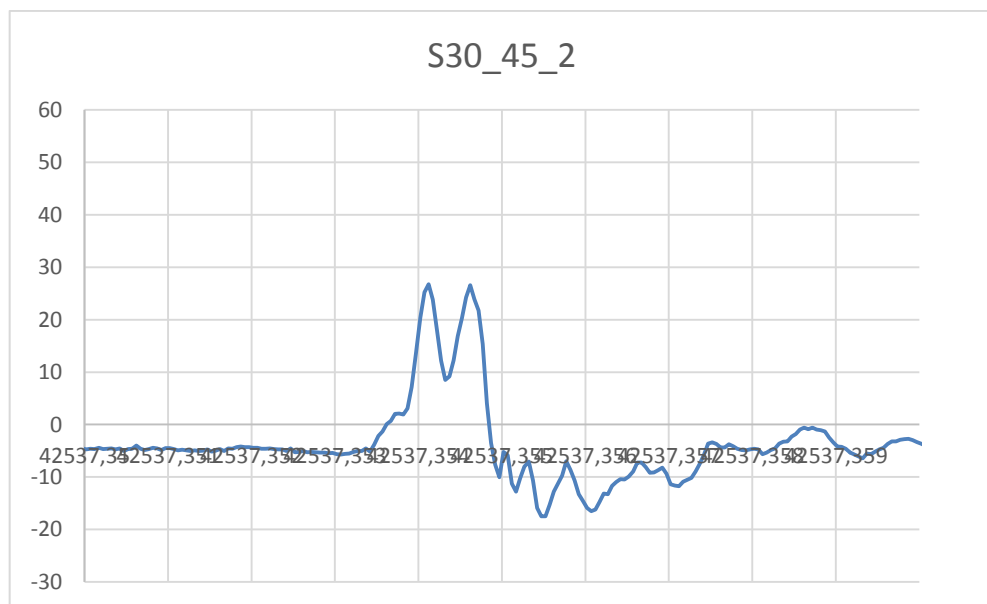


Figura 39

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 30 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 18uds, y parece que sigue la línea de los anteriores ensayos a 90°.

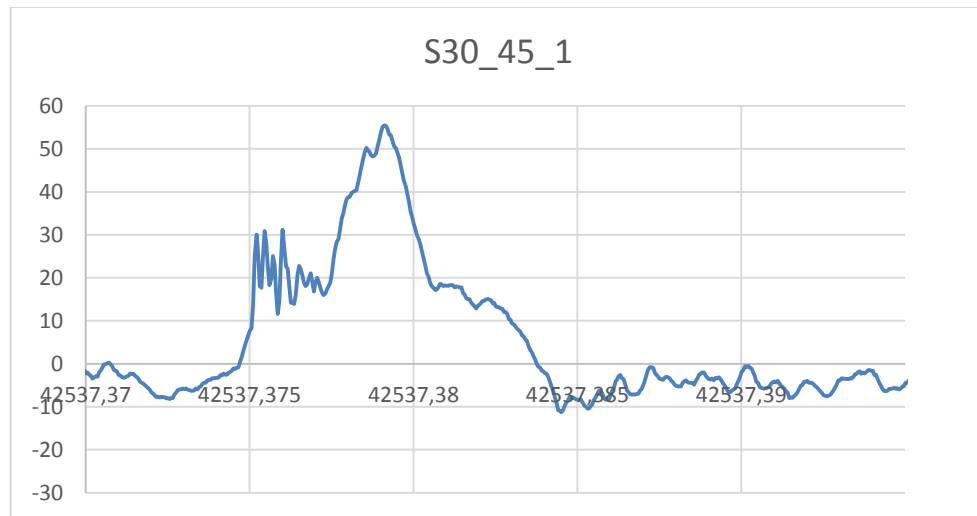


Figura 40

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 30 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 10uds, muy poca en comparación con ensayos anteriores.

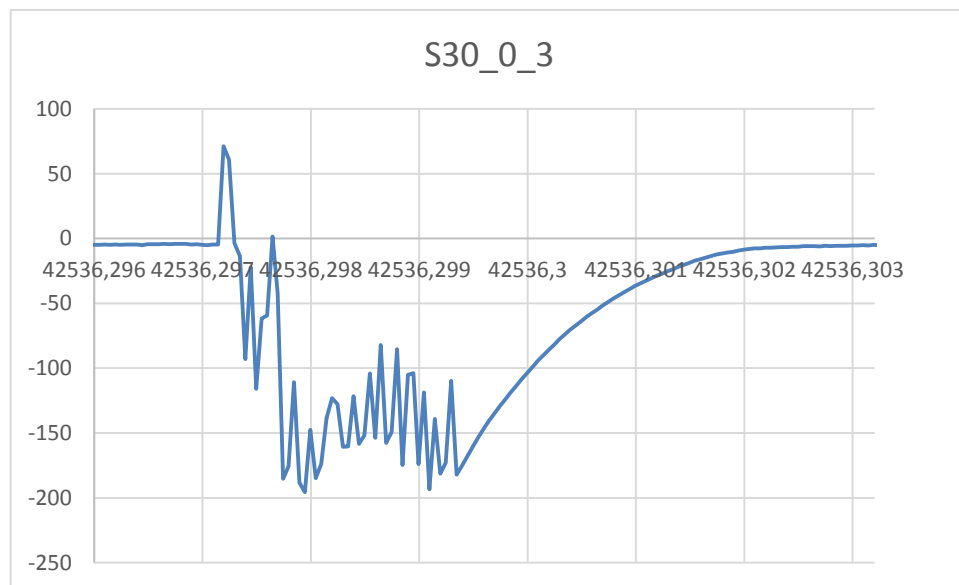


Figura 41

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 30 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 193uds, algo menor que en los de 60 días a 0°, pero en esa línea. Además, presenta una curva de plasticidad muy marcada.

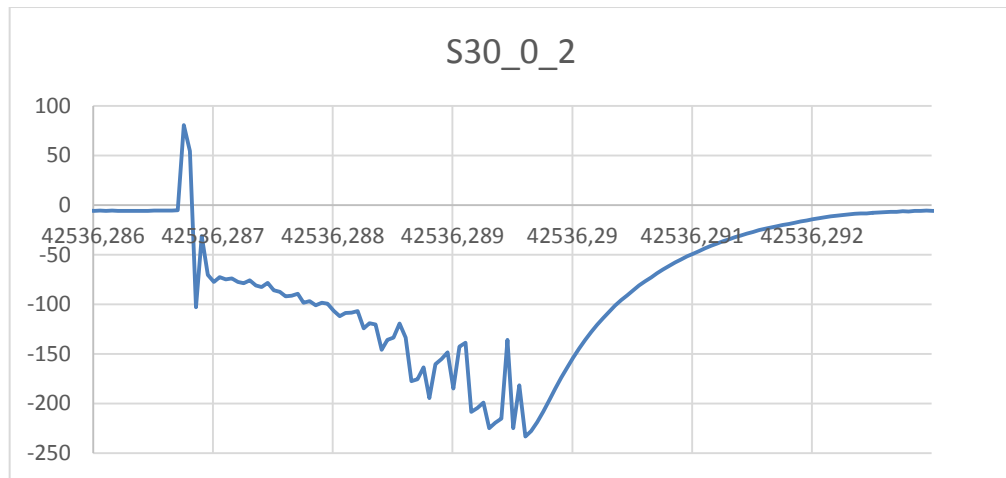


Figura 42

Exactamente igual a la gráfica anterior, aunque en este impacto se llegan a absorber 227uds de energía máxima.

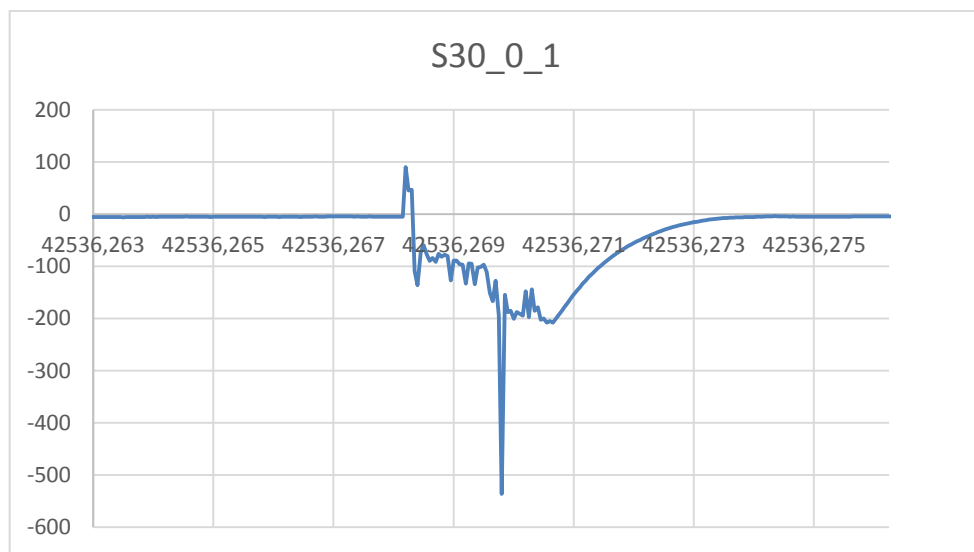


Figura 43

Prácticamente igual que en los anteriores, aunque vemos que, antes de romper, la unión adhesiva se produce un impacto. La horquilla impactó en primer lugar en otra parte de la pieza. Aun coincidiendo los valores, este resultado no se puede considerar válido.

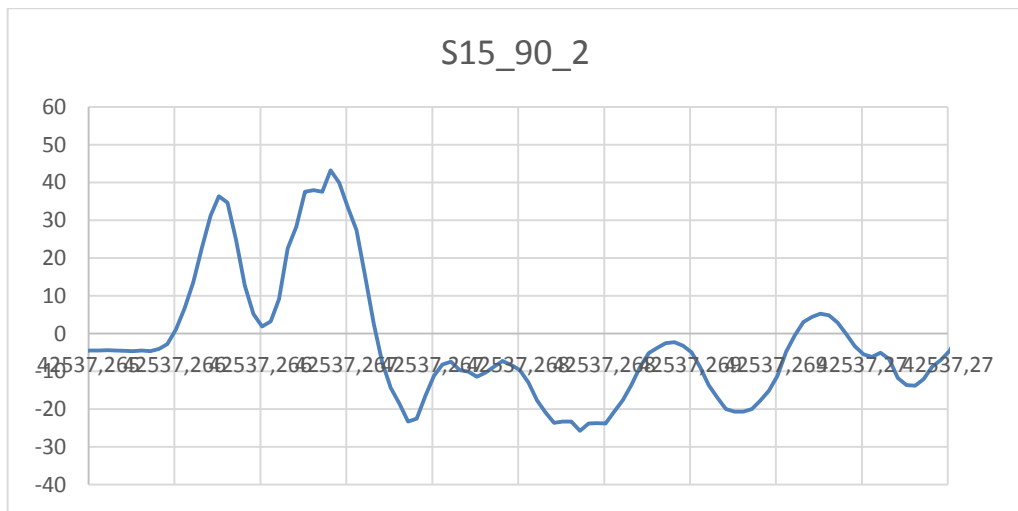


Figura 44

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 15 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 25uds, y parece que sigue la línea de los anteriores ensayos a 90°.

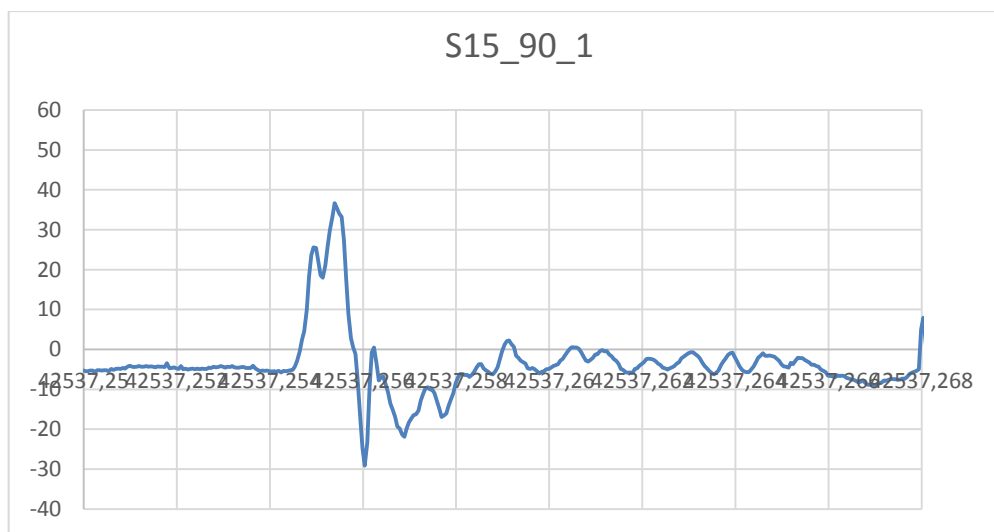


Figura 45

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 15 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 29uds, siguiendo la línea del ensayo anterior.

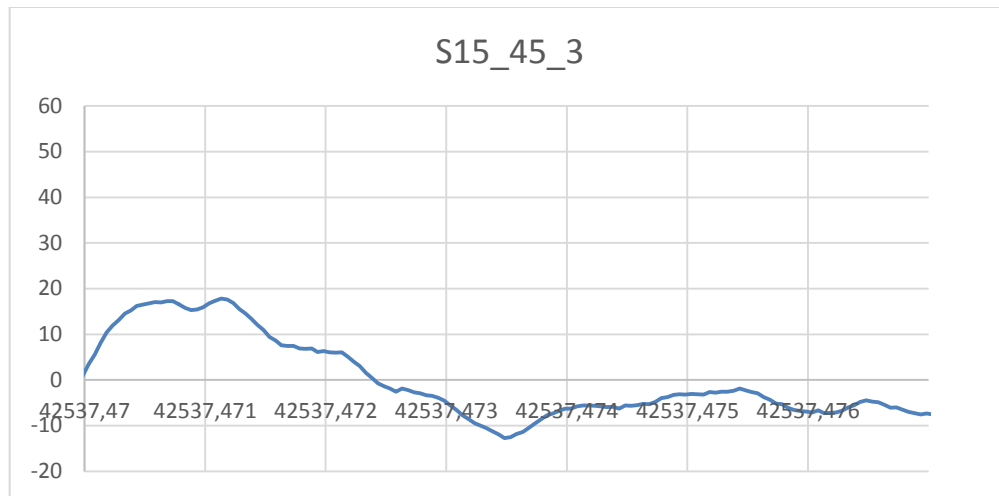


Figura 46

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 15 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 12uds. Comprobamos que hasta ahora se absorbe menos energía en los ensayos a 45° que en situaciones límite.



Figura 47

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 15 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 24uds. En este ensayo, los resultados se aproximan más a los obtenidos en los ensayos a 90°.

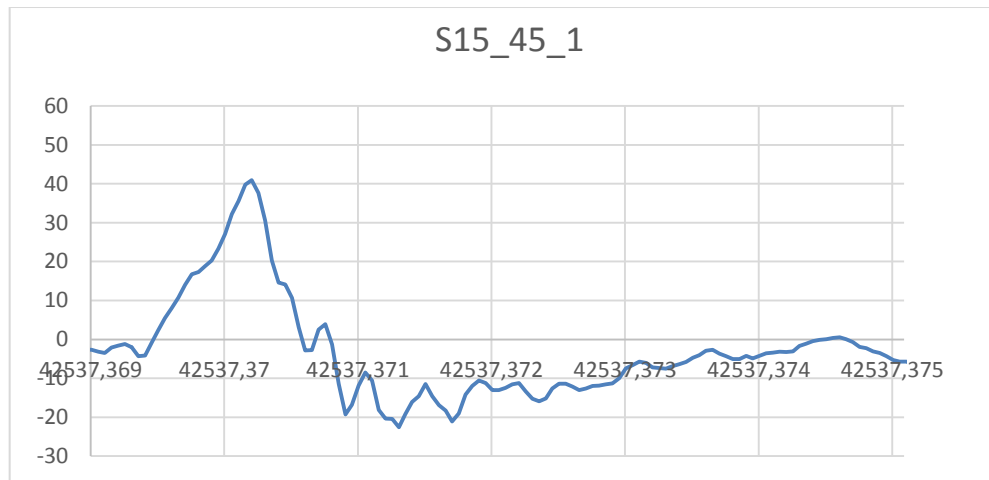


Figura 48

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 15 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 24uds. En este ensayo, al igual que en el anterior, los resultados se aproximan más a los obtenidos en los ensayos a 90°.

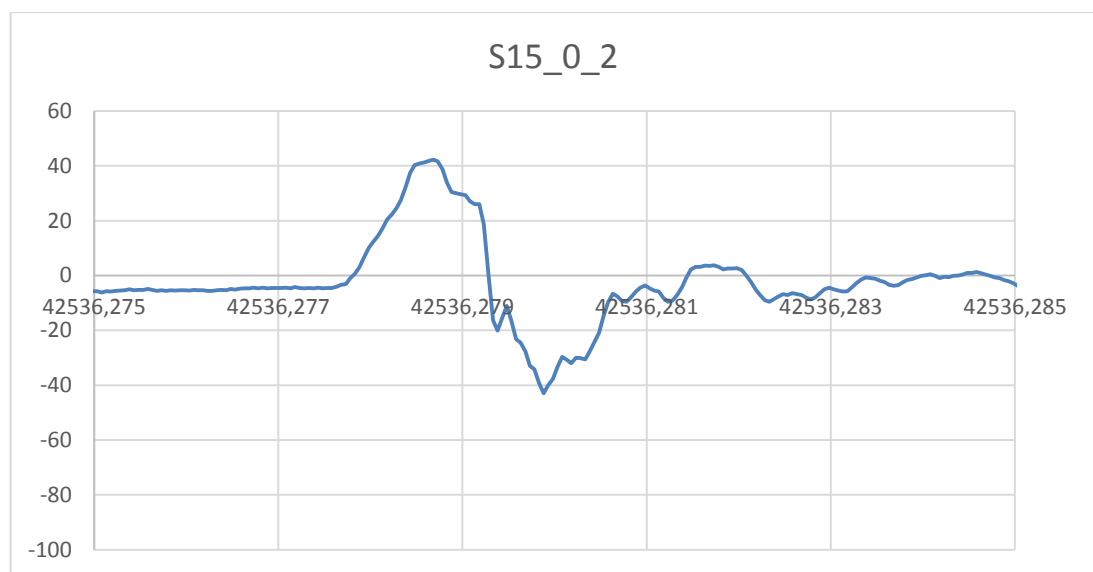


Figura 49

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 15 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 43uds. Vemos que esta energía máxima ha disminuido considerablemente con respecto a las probetas de 30 y 60 días.



Figura 50

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 15 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 17uds. Difiere bastante de la anterior.

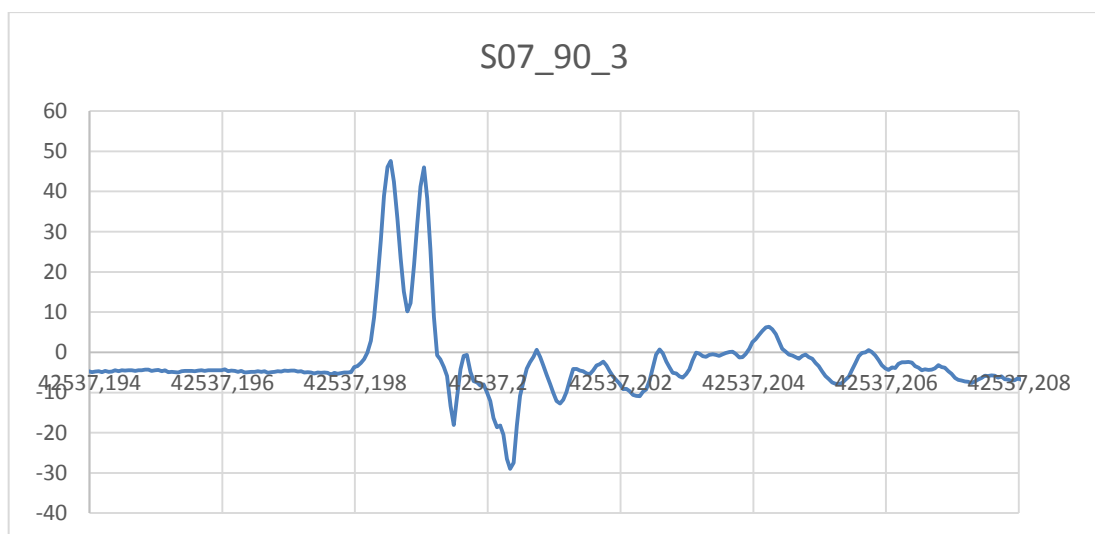


Figura 51

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 29uds. Sigue una línea parecida a los anteriores ensayos a 90°.

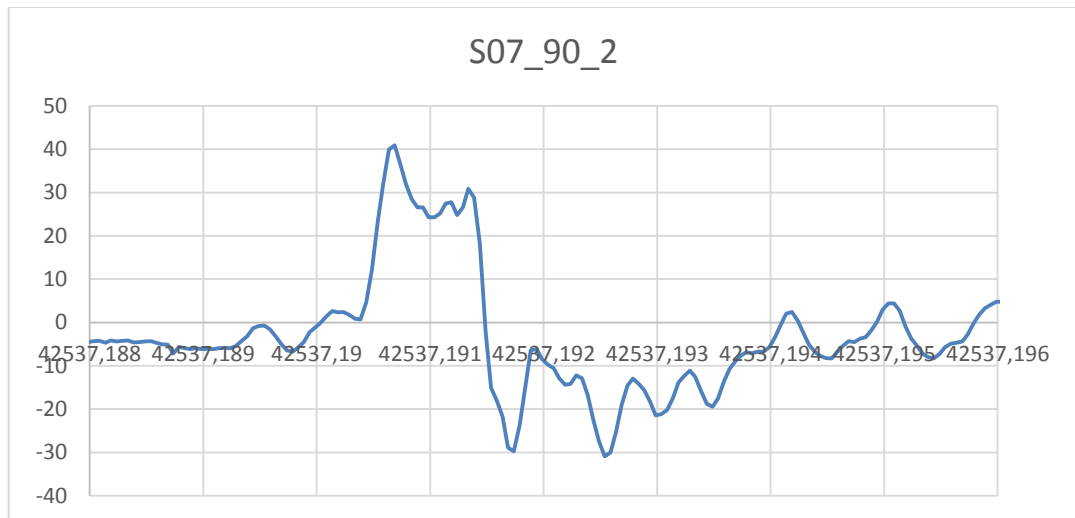


Figura 52

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 30uds. Se trata de una gráfica muy similar a la anterior, coincidiendo plenamente en sus resultados.

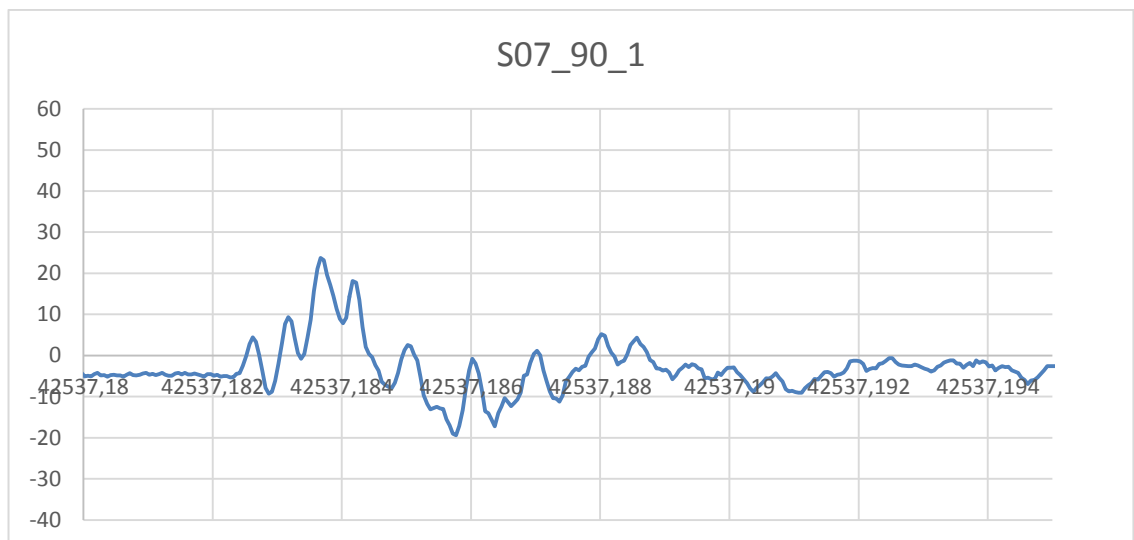


Figura 53

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 19uds. Este ensayo como vemos, difiere algo más de los otros dos.

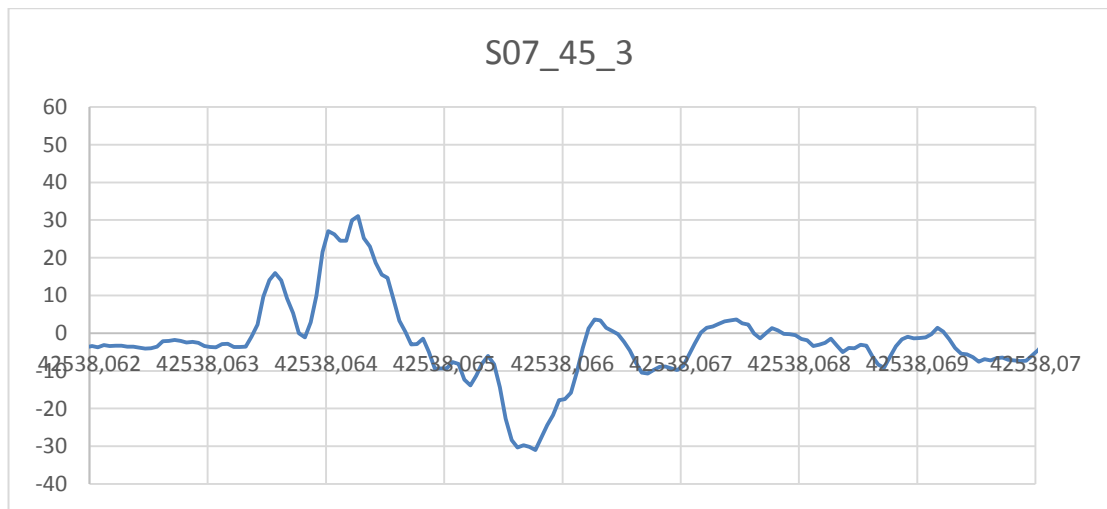


Figura 54

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 29uds. Sigue una línea parecida a los anteriores ensayos a 90°.

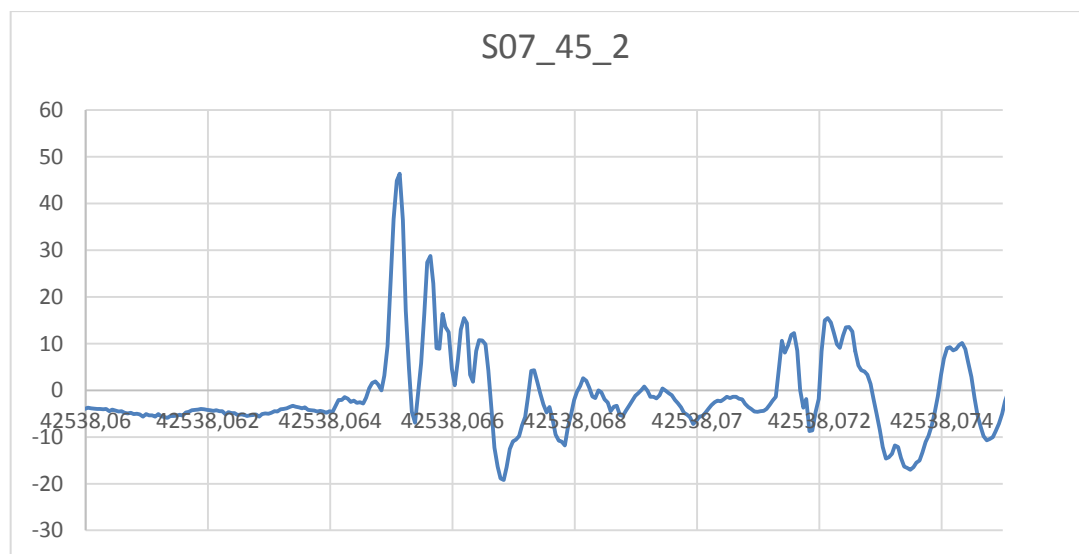


Figura 55

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 16uds, casi la mitad que en la anterior.

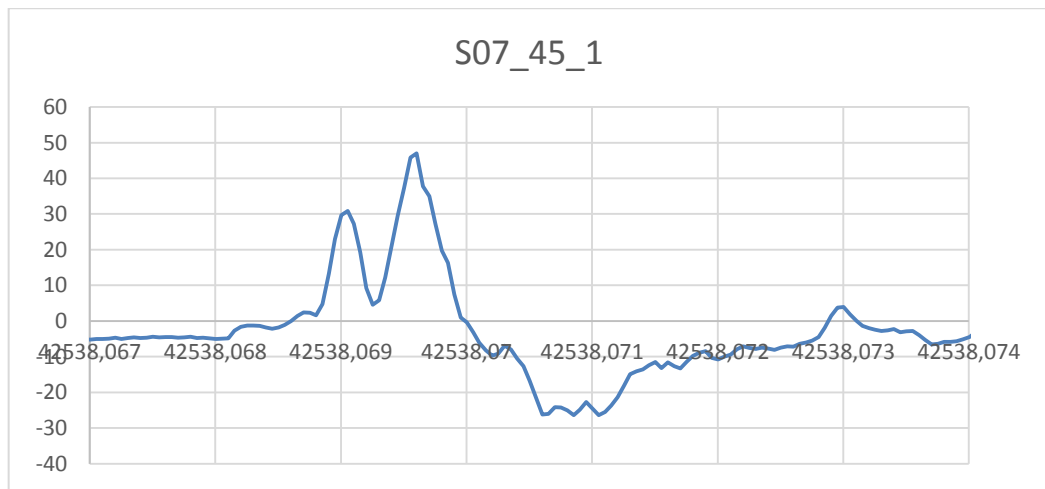


Figura 56

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 26uds, coincidiendo gráfica (además de numéricamente) con S07_45_3.

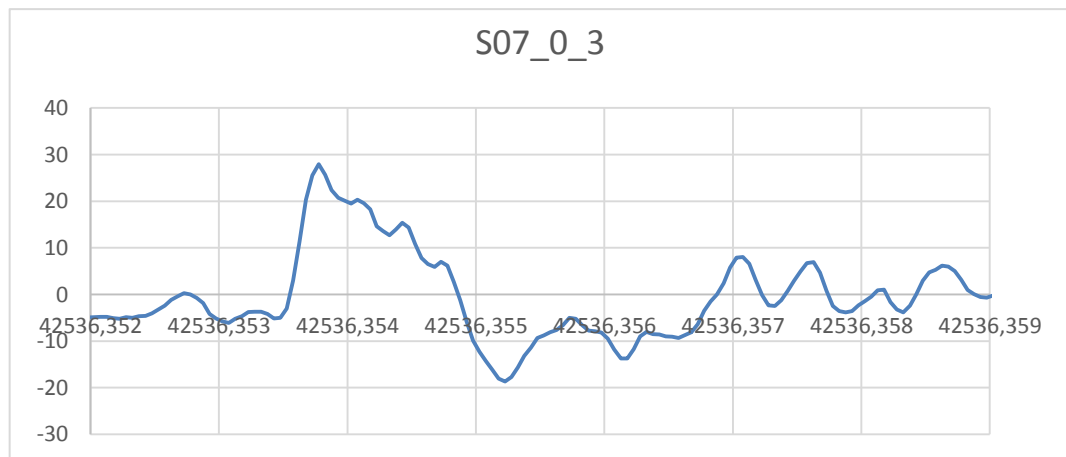


Figura 57

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 18uds. Vemos que sigue la línea de lo visto en las de 15 días a 0°, respecto a que no se alcanzan valores tan elevados como con las de 30 y 60 días.

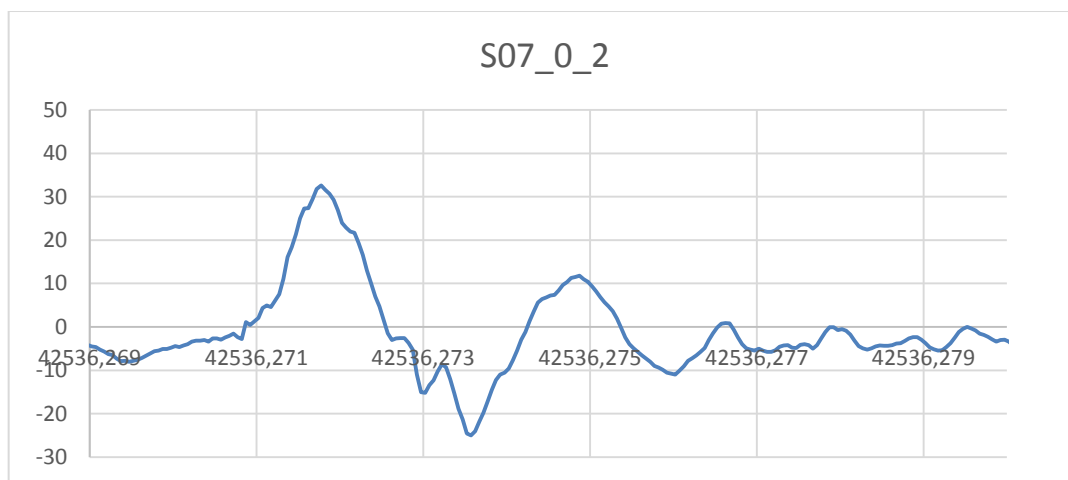


Figura 58

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 24uds. Vemos que sigue la línea de lo comentado en los resultados de la Figura 57.

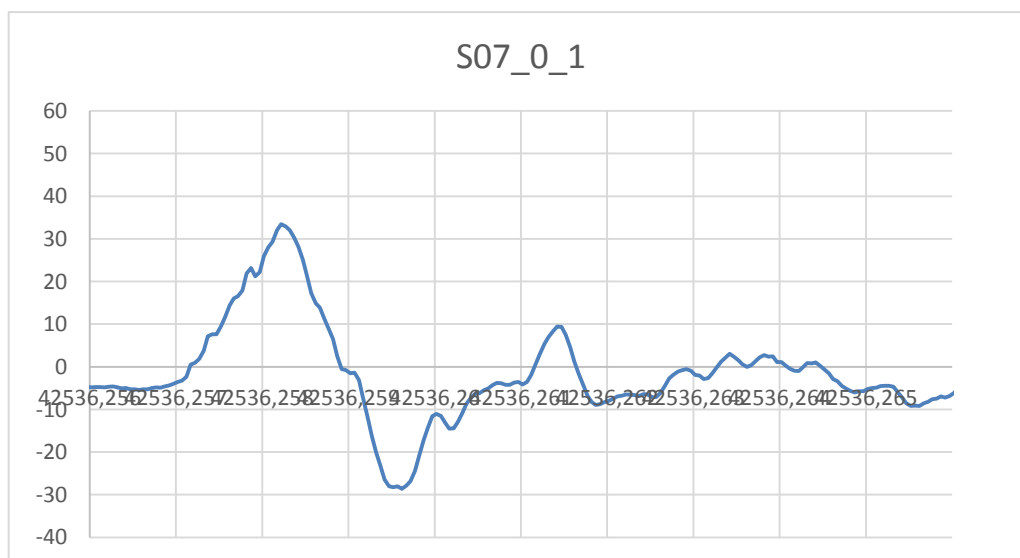


Figura 59

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 7 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 28uds. Valores más elevados que en S07_0_3, pero siguiendo esa misma línea que comentaba en la Figura 58.

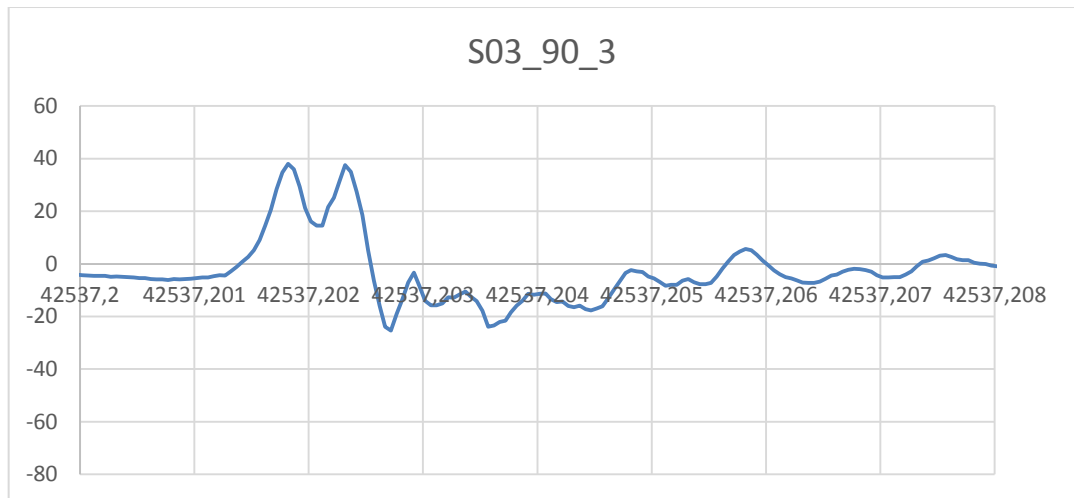


Figura 60

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 3 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 23uds.

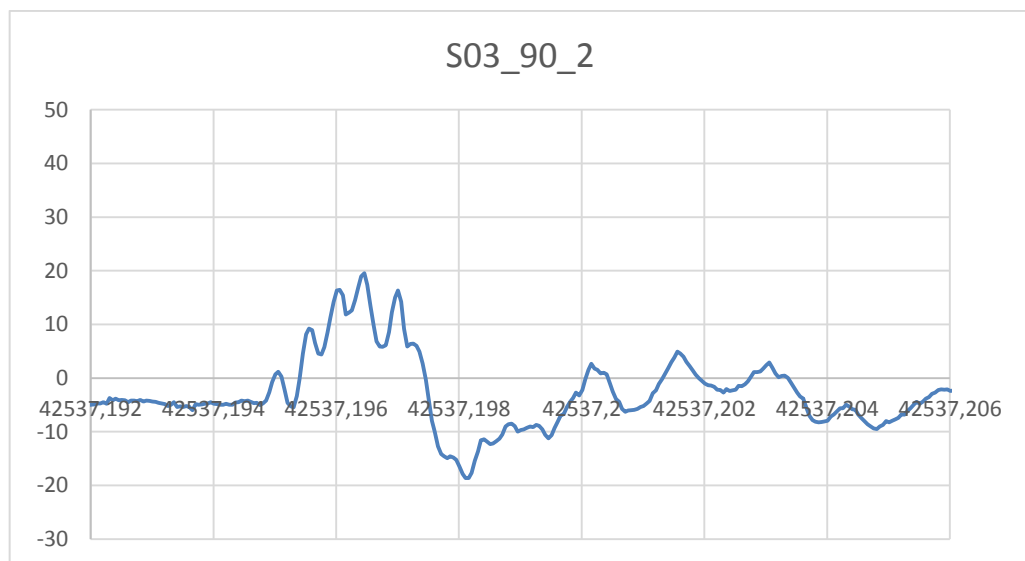


Figura 61

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 3 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 19uds, siguiendo una forma muy similar a la anterior.

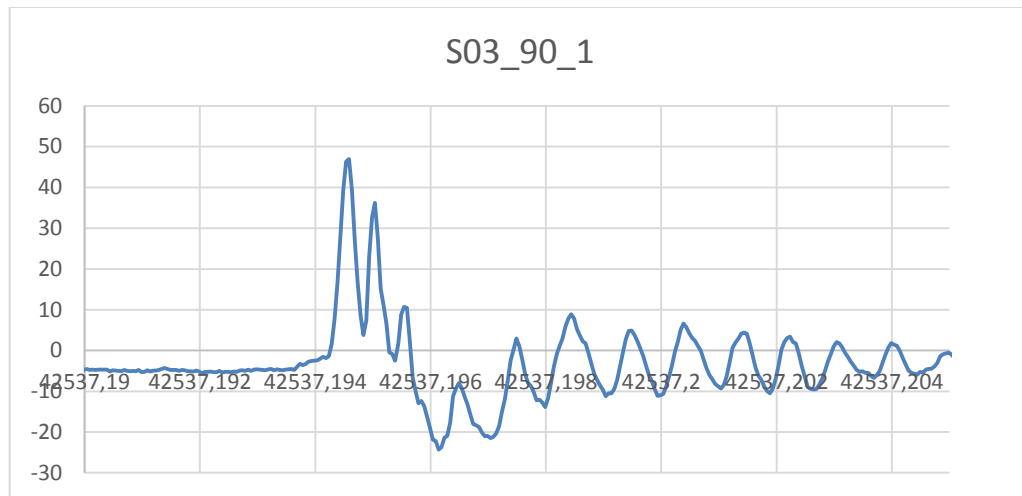


Figura 62

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 3 días en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 24uds. Sigue una línea parecida a las anteriores, acercándose mucho al resultado del primer ensayo (S03_90_3).

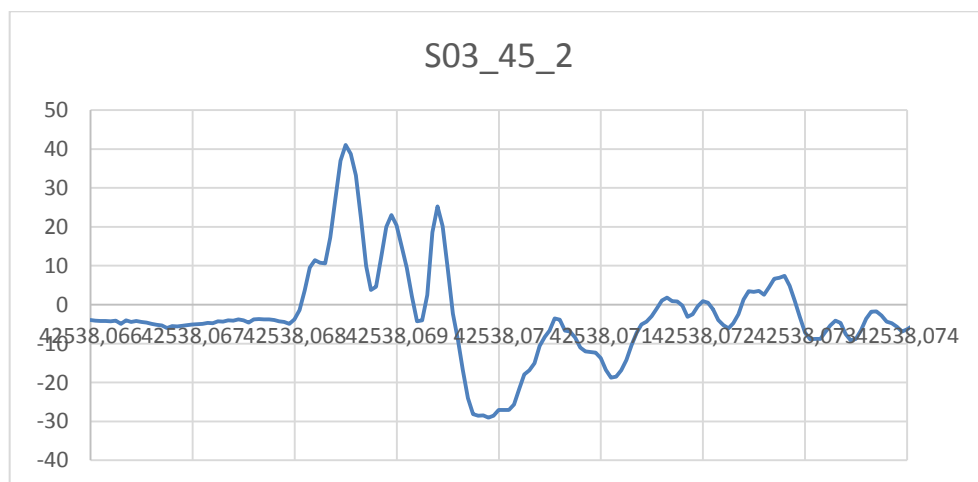


Figura 63

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 3 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 29uds, algo mayor de lo que estábamos acostumbrados a ver en ensayos a 45°.

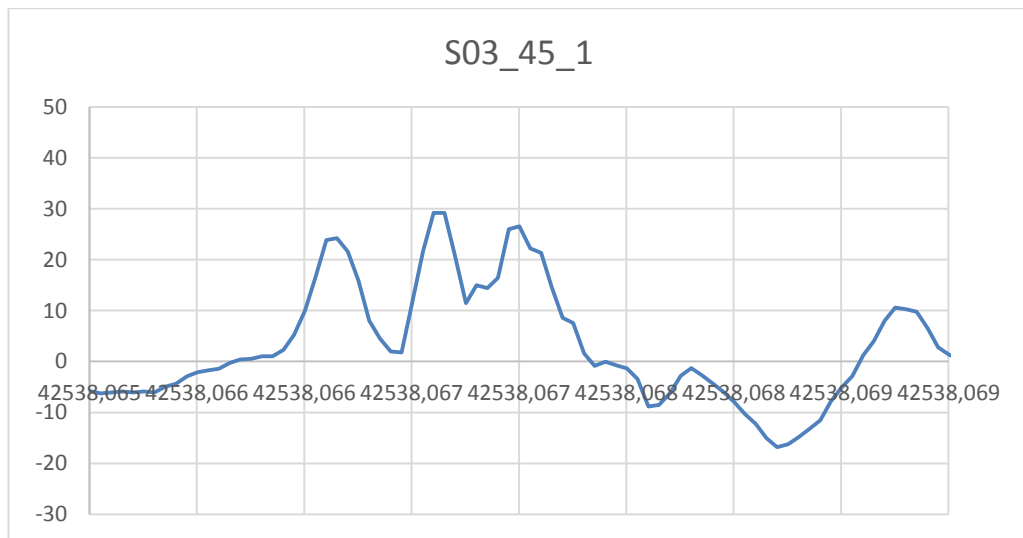


Figura 64

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 3 días en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 16uds, resultado que va más encaminado con respecto a lo visto anteriormente.

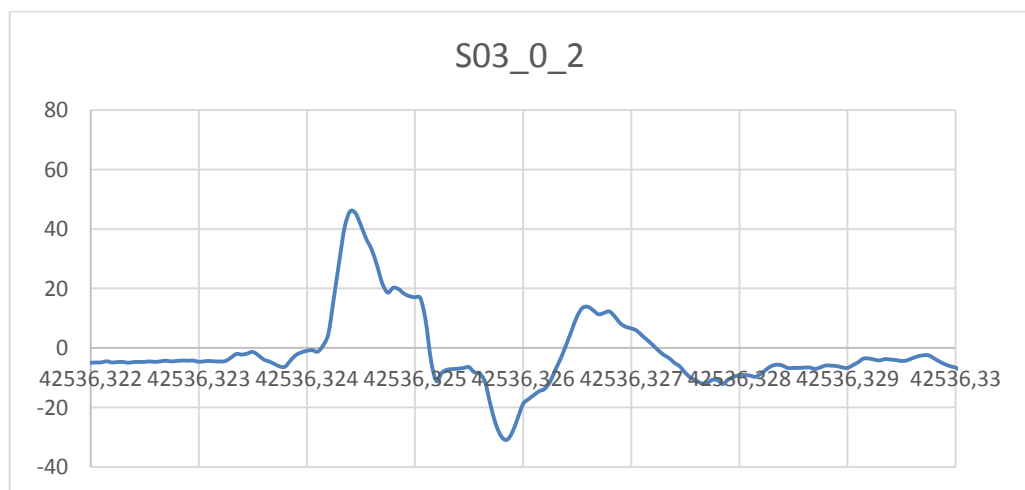


Figura 65

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 3 días en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 30uds.

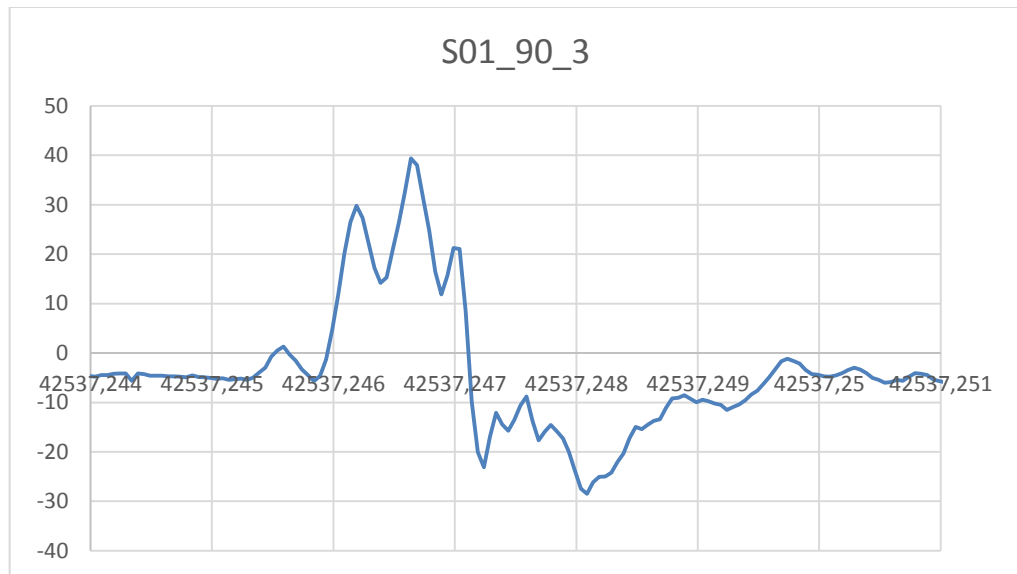


Figura 66

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 28uds, en la línea de los últimos ensayos a 90°.

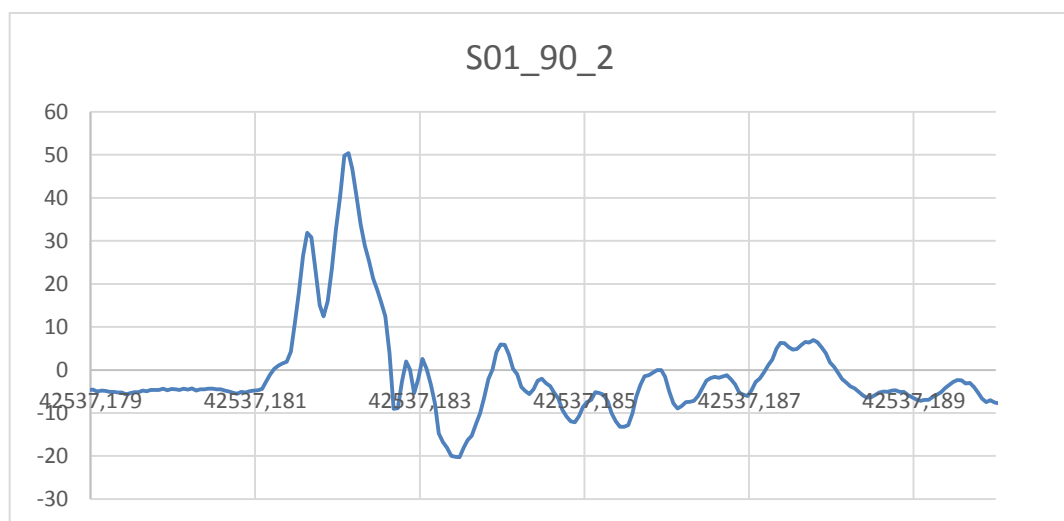


Figura 67

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 20uds, algo menor que la anterior, pero sigue en la línea de los últimos ensayos a 90°.

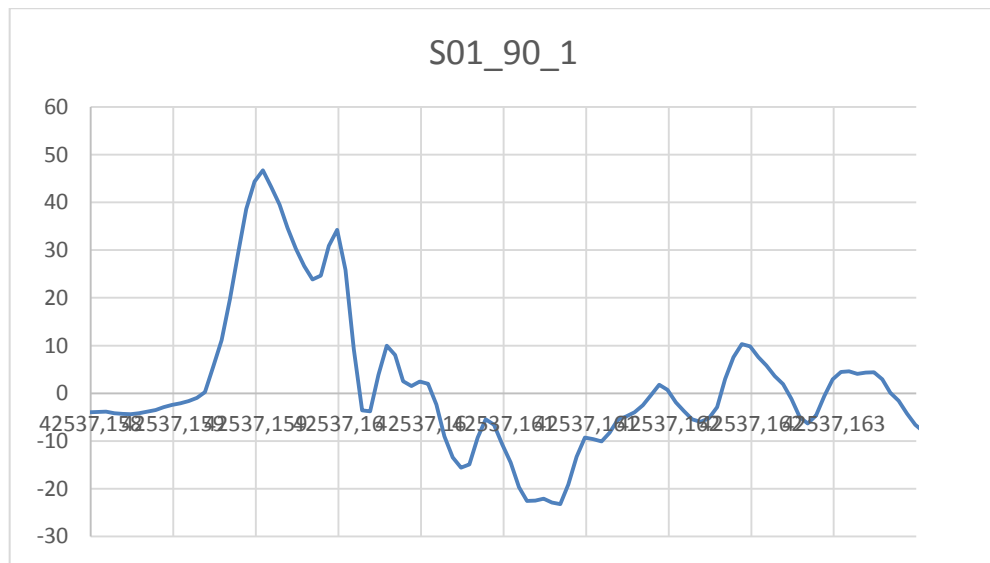


Figura 68

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 90°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 23uds, un valor intermedio a las otras dos.

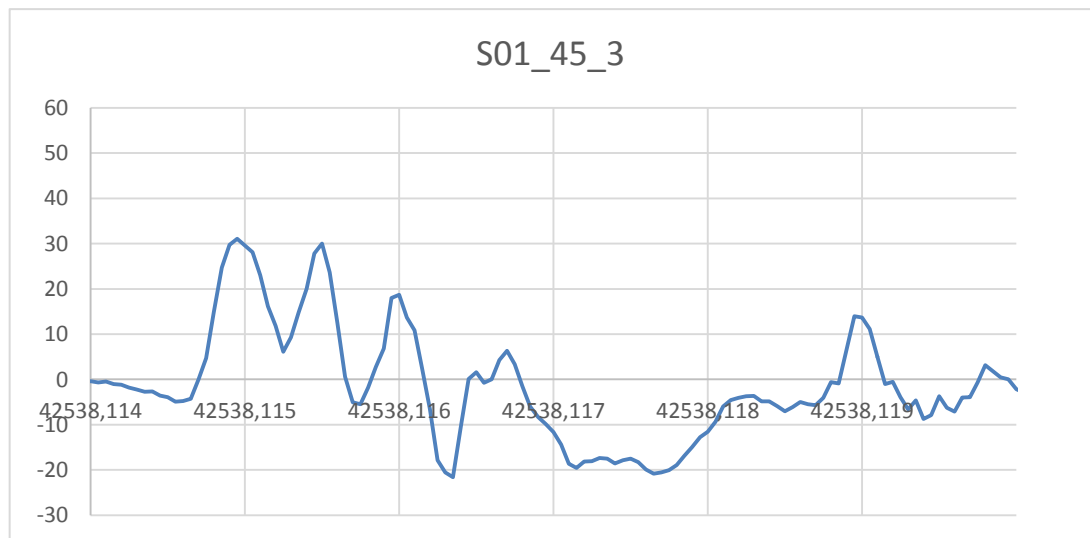
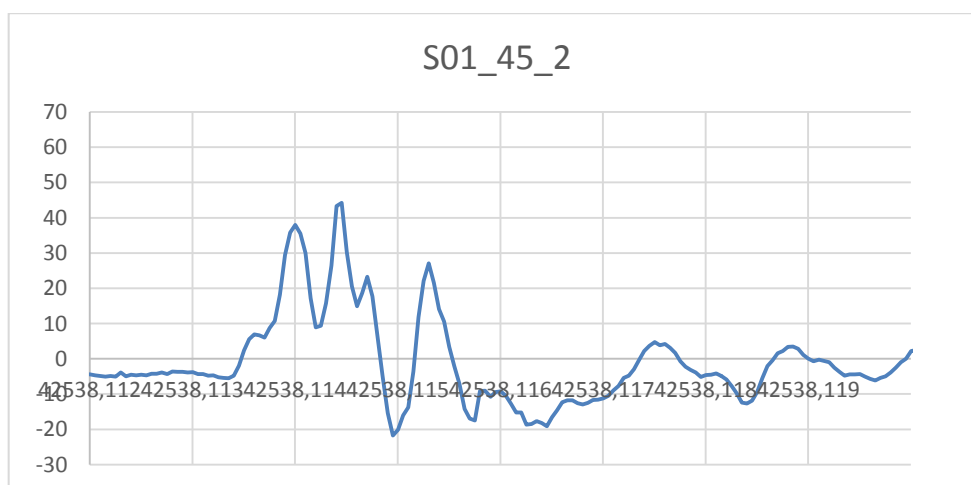


Figura 69

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 21uds.



Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 22uds, en la línea del último ensayo y marcando valores similares.

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 45°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 34uds, un valor bastante elevado teniendo en cuenta los ensayos anteriores.

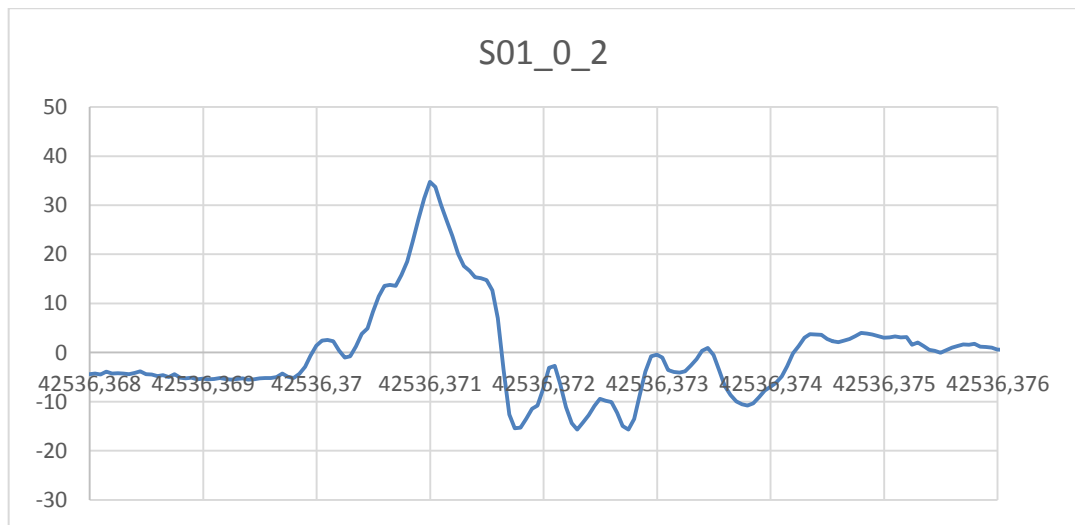


Figura 72

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 16uds, valor demasiado bajo para lo que estábamos viendo con la inclinación a 0°.

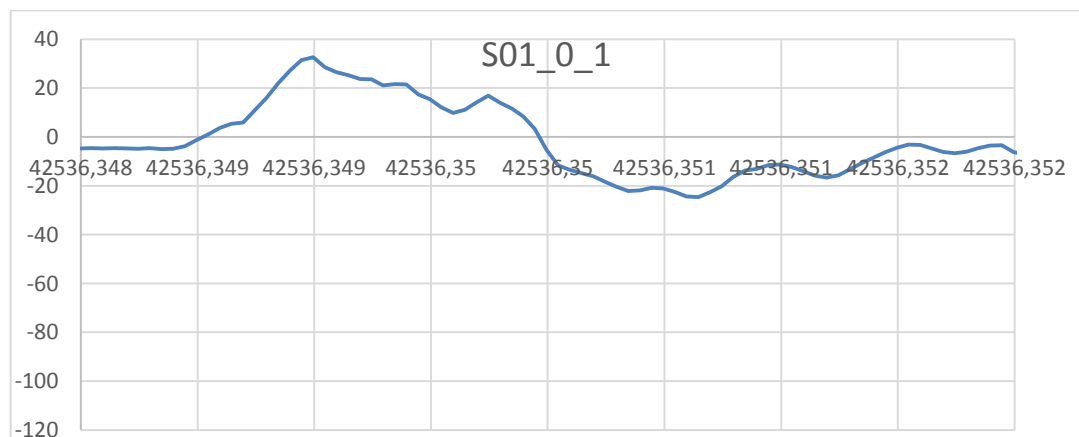


Figura 73

Unión adhesiva sin carga de vidrio, envejecida durante 1 día en agua de mar, y ensayada a 0°. Se absorbe una cantidad de energía máxima equivalente a 22uds, valor demasiado bajo para lo que estábamos viendo con la inclinación a 0°, al igual que en el ensayo anterior.

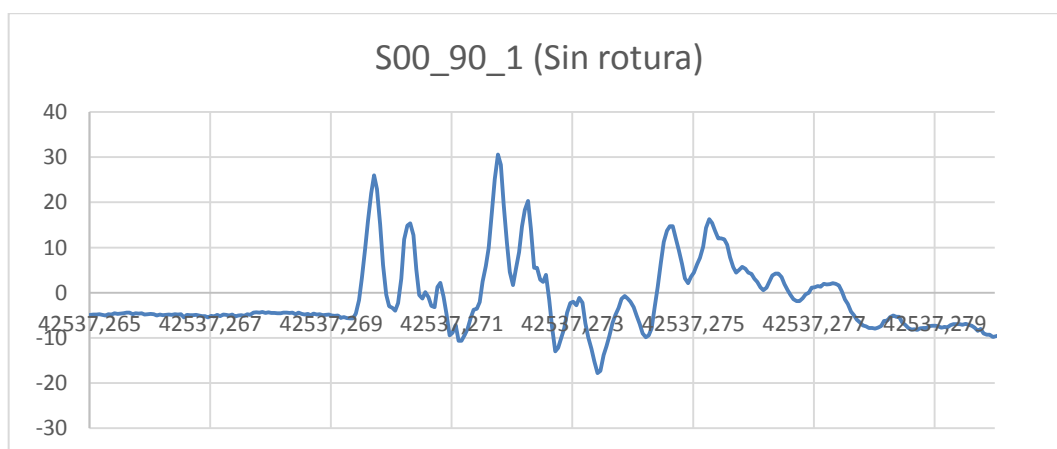


Figura 74

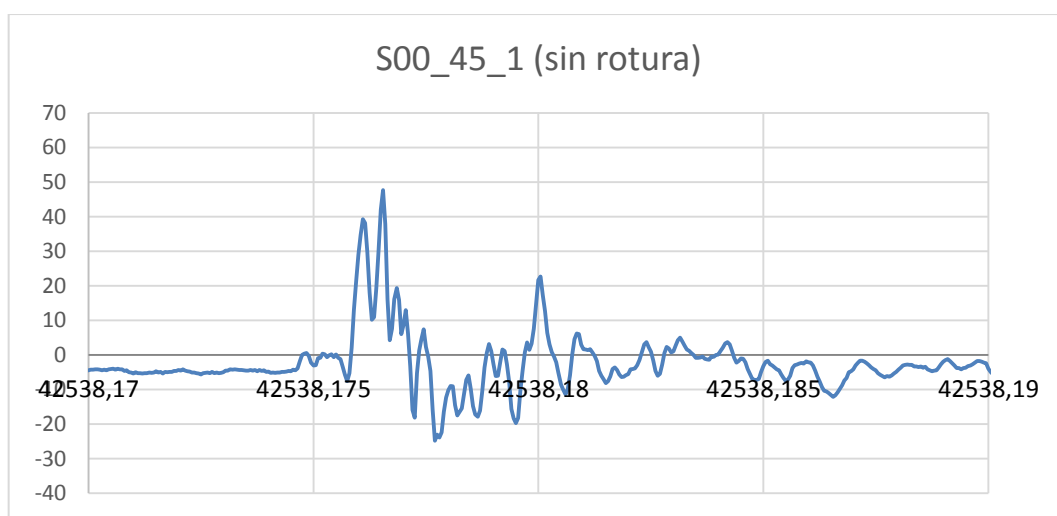


Figura 75

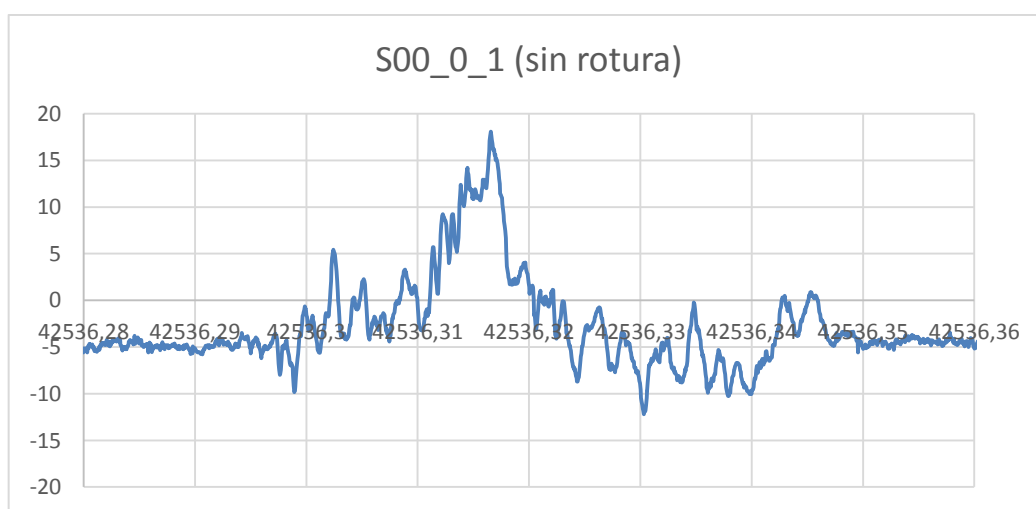


Figura 76

Estas tres últimas gráficas (Figuras 74 a 76) corresponden a los ensayos con las probetas sin envejecer en agua de mar, a 90°, 45° y 0° respectivamente. Cabe destacar que en ninguno de estos casos rompió la unión adhesiva.

5.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En las Tablas 6, 7 y 8, agrupamos los resultados según el grado en el que se encuentran las probetas en el impacto: 90°, 45° y 0° respectivamente. Además, estos datos los recogemos también en los Figuras 77, 78 y 79 respectivamente, donde los agrupamos según los días de envejecimiento de las probetas, viendo que se producen una serie de variaciones, que se especifican en el siguiente Capítulo 6 como conclusión de los de los análisis de los resultados, fruto de los ensayos resultados con las variables descritas: tiempo de envejecimiento, ángulo de impacto y presencia o ausencia de adhesivo

Tabla 6: Resultado de los ensayos con impacto a 90°.

IMPACTO A 90°	Valores de energía máxima absorbida		
	1	2	3
ENVEJECIMIENTO / N° PROBETA			
60 días	35	31	R
30 días	28	8	R
15 días	26	29	R
7 días	29	30	19
3 días	23	18	24
1 día	28	20	23

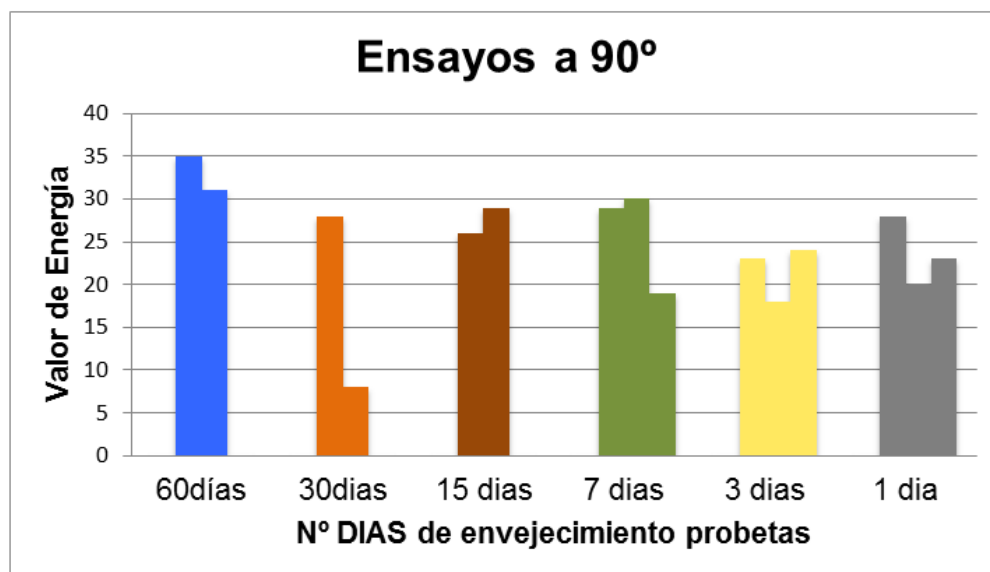


Figura 77: Diagrama de barras que recoge los resultados de energía absorbida al llegar el impactador al final del carro en los ensayos a 90°.

Diferenciamos en la Figura 77, cómo el valor de la energía absorbida al llegar el carro al final de su recorrido es mayor cuanto más días ha estado la probeta sumergida en agua de mar. Esto que significa que el dispositivo móvil de la máquina ha llegado de manera más fácil a ese punto final, y por lo tanto, que la unión adhesiva tiene menor resistencia al impacto cuanto mayor ha sido su envejecimiento.

Si comparamos el valor medio de los resultados en 60 días de envejecimiento (35uds), con el de las probetas envejecidas durante tan solo un día (24uds), comprobamos que efectivamente este valor se reduce en un 27%.

Tabla 7: Resultado de los ensayos con impacto a 45°.

IMPACTO A 45°	Valores de energía máxima absorbida		
ENVEJECIMIENTO / N° PROBETA	1	2	3
60 días	21	23	31
30 días	17	11	R
15 días	13	24	23
7 días	31	19	26
3 días	29	16	R
1 día	21	22	34

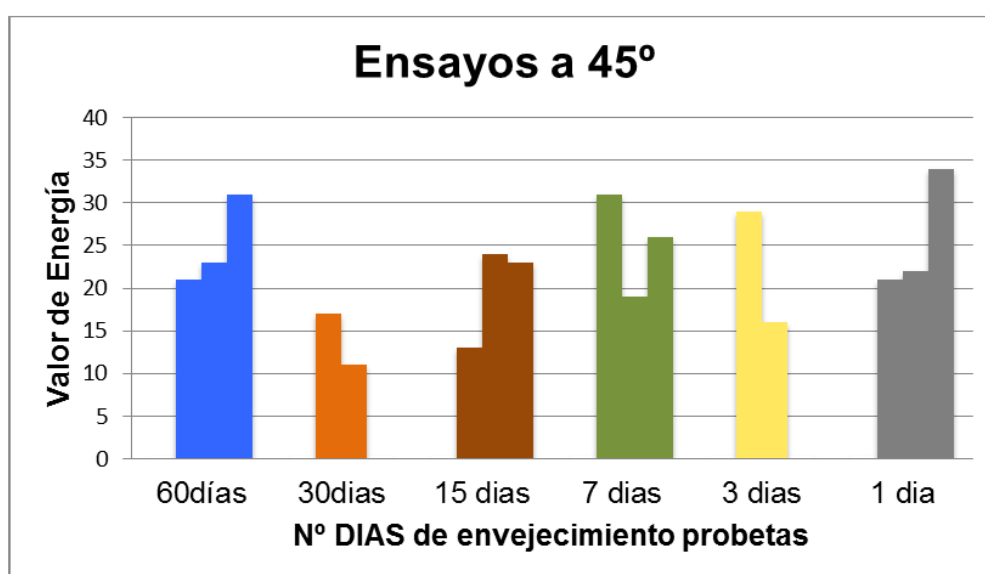


Figura 78: Diagrama de barras que recoge los resultados de energía absorbida al llegar el impactador al final del carro en los ensayos a 45°.

Diferenciamos en la Figura 78, cómo el valor de la energía absorbida al llegar el carro al final de su recorrido, además de ser inferior que en los ensayos a 90°, se mantiene más o menos constante, independientemente del tiempo de envejecimiento. Esto nos lleva a pensar que en situaciones que no son tan límites como a 90°, estas uniones adhesivas pueden resultar más efectivas.

Si comparamos el resultado más alto en 60 días de envejecimiento (25uds), con el más alto de las probetas envejecidas durante tan solo un día (25uds), comprobamos que, efectivamente, este valor se mantiene constante.

Tabla 8: Resultado de los ensayos con impacto a 0°.

IMPACTO A 0°	Valores de energía máxima absorbida		
	1	2	3
ENVEJECIMIENTO / N° PROBETA			
60 días	238	209	R
30 días	193	227	204
15 días	43	17	R
7 días	18	24	28
3 días	30	159	R
1 día	16	22	R

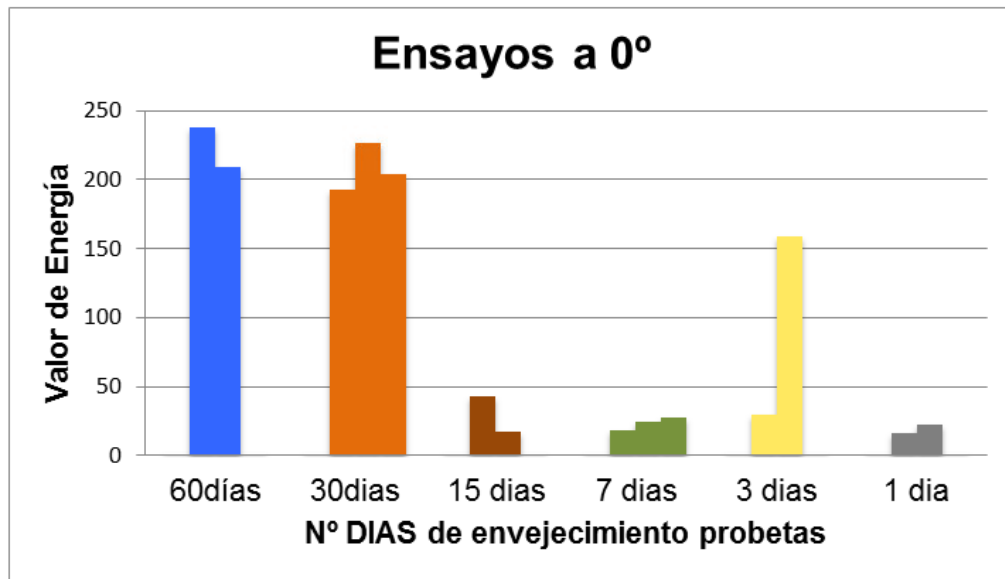


Figura 79: Diagrama de barras que recoge los resultados de energía absorbida al llegar el impactador al final del carro en los ensayos a 0°.

Diferenciamos en la Figura 79, cómo el valor de la energía absorbida al llegar el carro al final de su recorrido es muchísimo mayor cuanto más días ha estado la probeta sumergida en agua de mar. Esto que significa que el dispositivo móvil de la máquina ha llegado de manera mucho más fácil a ese punto final, y por lo tanto, que la unión adhesiva tiene menor resistencia al impacto cuanto mayor ha sido su envejecimiento.

Si comparamos el valor medio de los resultados en 60 días de envejecimiento (223uds), con el de las probetas envejecidas durante tan solo un día (19uds), comprobamos que efectivamente este valor se reduce en un 91%.

Esto significa que, como explicábamos anteriormente, estas uniones adhesivas se han visto más gravemente afectadas por el agua de mar en las situaciones más agresivas de impacto.

6. CONCLUSIONES

Tras analizar cada gráfica individualmente, comenzamos un análisis global de estos resultados, dividiéndolos en dos grupos:

- a) Según el ángulo de sollicitación: Queda visible a la hora de comparar las gráficas que en los ángulos límites (90° y 0°), se precisa de menos energía para romper la unión adhesiva, que en situaciones intermedias (en nuestro caso a 45°), siendo mucho más evidente la diferencia $45^\circ/0^\circ$ que si comparamos los $45^\circ/90^\circ$.
- b) Según el tiempo de envejecimiento de las probetas: Lógicamente, cuanto menos tiempo han estado sumergidas en agua de mar, con mayor facilidad resistirán el impacto, llegando incluso alguna probeta virgen a resistirlo y no romper (probetas no envejecidas).

A título personal, creo que estos saldrán mucho más exactos y sin tantas variaciones si en futuros estudios se establece un par concreto con el que fijar los utillajes de sujeción a la base de la máquina en los diferentes ángulos de sollicitación.

Además, a la hora de aplicar el adhesivo, se debería estudiar de forma más minuciosa las cantidades a aplicar, tanto de resina como de catalizador. Esto servirá para que antes del envejecimiento, las probetas sean lo más similares posible, cosa que considero ha podido influir en los resultados obtenidos en este Trabajo.

Estos resultados se podrán estudiar de forma más detallada para ser comparados con unos futuros ensayos del mismo tipo de probetas, pero esta vez unidas mediante un adhesivo reforzado con polvo de vidrio, como ya anticipábamos en capítulos anteriores.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Madrid, Mario (1997). "Uso de los cianoacrilatos en la Industria". Loctite Spain's Internal Technical Information. Madrid.
- [2] Garde Belza, José Ánge (2015): Colas y adhesivos. Tecnologías del Envase de ainia.
- [3] Página web Los Adhesivos (2011-2016): www.losadhesivos.com
- [4] Ruiz Rojas, Paola Andrea (2011): Adhesivos Estructurales: Alternativa Potente y Eficaz para la Unión de Metales. Revista Metal Actual.
- [5] Serope Kalpakjian, (2008): Manufactura, ingeniería y tecnología, 5ª edición.
- [6] Andrés Roiz, Manuel A. (2014): Trabajo de Fin de Máster "Comportamiento a impacto de uniones adhesivas estructurales en materiales híbridos para construcción naval". Universidad de Cantabria.
- [8] Página web de ASTANDER: www.astander.es
- [9] Suárez, J.C., Diez de Ulzúrrun, I., Biezma, M.V., Ruiz Román, J.M., Martínez, M.A., Del Real, J.C., and López, F. (2003). Case studies in adhesives selection. Journal of Materials Processing Technology 143-144, 219-224. doi: 10.1016/S0924-0136(03)00428-X.

- [10] Página web de Resinas Castro: www.resinascastro.com
- [11] García, Ana (2015): Tutorial para realizar un ensayo en la Máquina de caída de peso. Laboratorio de Ensayos no Destructivos. E.T.S.I. Navales de la Universidad Politécnica de Madrid.

8. ANEXOS

Украина Ukraine	ДНВ DNV	ПАО "ММК имени Ильича" PJSC "ILYICH IRON & STEEL WORKS OF MARIUPOL"	Сертификат качества N QUALITY CERTIFICATE No	От Date	Лист Sheet	№ Of	Листо Sheet																
Сертифицирован ТОО Норд ДнХ и Ко.КГ по АД 2000 ВО и по Директиве 97/23/ЕС для сосудов высокого давления; регистрационный номер сертификата 0045 Approved acc. to AD 2000 - Merkblatt WO and certified acc. to Pressure Equipment Directive 97/23/EC by TÜV NORD Systems GmbH & Co.KG/notified body: reg-no, 0045																							
87504, г. Мариуполь, ул. Левченко, 1. Телекс 115157 DEPO SU																							
Inspection certificate EN10204-3.2																							
Contract N 12EXP/08-11 Contract No		Заказ N Order No		LCI-080235990127																			
Заказчик Customer METINVEST INTERNATIONAL																							
Барон N 56863178 RW-Car No		Спецификация N Specification No		Лот N Lot No		1																	
Наименование товара Description of goods Горячекатаный ролстый лист Hot Rolled Plate																							
Марка стали Grade of steel		Стандарты Правила DNV Standards DNV Rules EN 10029:2010 Class B, Class N EN 10163:2005 Part 1,2Class B,Subclass 3																					
Состояние поставки Delivery condition Горячекатаный As Rolled																							
Маркировка Marking Trade Mark, Made in Ukraine, Grade of steel, Cast No, Test No, Dimensions mm, Lot1																							
Клеймо Hard stamp Trade Mark, Grade of steel, Cast No, NV Brand																							
Позиция Item No	Плавака N Cast No	Партия N Test No	Размеры, мм Dimensions, mm Толщина Thickness Width Length			Кол-во, шт. Quantity, pcs	Теоретическая масса, тн Theoretical mass, tn																
323423	3755	10	2500	12000	2	4.710																	
323424	3756	10	2500	12000	6	14.130																	
323424	3757	10	2500	12000	11	25.905																	
323424	3758	10	2500	12000	9	21.195																	
					28	65.940																	
Выплавка Steelmaking process Конвертерный способ производства Made by the BOF Process																							
Химический состав, % Chemical composition, %																							
Плавака Cast No	C	Mn	Si	P	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	As	N	Mo	V	Nb	Ca	B	Ceq Pcm						
	x100	x1000	x100																				
323423	16	67	20	15	11	3	2	2	4	37	2	7	1	2	2	-	-	x100					
323424	16	69	17	19	13	3	3	3	3	39	3	7	2	3	2	-	-	27					
																		28					
Результаты испытаний Test results																							
Партия N Lot No	Номер изделия Product No	Размеры обр. Dimensions Толщина / диаметр Thickness / diameter		Ширина Width	Напряжение при разрыве Tensile strength at break	Темп. нагрева Test temperature	Предел текучести Yield point	Предел прочности Tensile strength	Озм. удлинение Elongation	Озм. сужение Reduction of area	Тип надреза Notch type	Энергия удара KV Impact energy KV	Энергия удара KV Impact energy KV	Энергия удара KV Impact energy KV	Энергия удара KV Impact energy KV	Изгиб Bend test	Кол-во изм. сост. No. of exam. areas						
		mm	mm	mm	MPa	°C	Rell	Rm	A5	Zavg	J	J	J	J	J	B	%						
3755	13-1	10	25	T	+20	374	486	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
3756	2-1	10	25	T	+20	369	487	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
3757	8-1	10	25	T	+20	368	512	32.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
3758	14-1	10	25	T	+20	363	477	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
S-начало полосы/strip start;								F-конец полосы/strip end;								L,l-продольное/Longitudinal;							
T,t-поперечное/Transverse;								d-диаметр/diameter;															
Примечание / Note																							
Поставка соответствует условиям заказа. Осмотр поверхности без замечаний. Размеры проката в пределах допусков. Delivery conforms to conditions of the order. Surface examination without remarks. Rolled product dimensions within the tolerance limit.																							
This is to certify that the material described above has been made by an approved process and has been satisfactorily tested in accordance with DNV Rules for Classification.																							
This certificate is issued in accordance with the survey arrangement authorised by DNV in MSA No.R-1877, which is controlled by regular auditing.																							
2012-06-05 S.STOYEY SURVEYOR TO DNV NIKOLAEV																							
Products stamped																							
Подпись Signature Мей																							
Итого эксперта Receiving agent's stamp																							

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”