

DISSWELD

Desarrollo de soldaduras disimilares basadas en laser para el desarrollo de estructuras ligeras en la automoción.

Nº Expte: IMDEEA/2017/104

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Este documento recoge información pública sobre el proyecto DISSWELD

Breve descripción.

Documento resumen de las principales claves de la unión de materiales disimilares y de los materiales que emplearemos.

Realizado por:
AIDIMME



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
VEL

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

*Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunidad Valenciana 2014 - 2020*



Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

1	Objetivos	3
2	Soluciones a desarrollar.....	5
3	Actividades desarrolladas.....	9
3.1	Gestión y coordinación del proyecto.....	9
3.2	Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura láser .	10
3.3	Realización de pruebas de uniones soldadas.....	11
3.4	Caracterización microestructural y mecánica de las uniones soldadas realizadas. .	19
4	Resumen.....	24

1 Objetivos

La eficiencia del combustible, la reducción de las emisiones de carbono y la seguridad de los pasajeros han sido los ejes principales para el diseño de automóviles durante las últimas dos décadas. La reducción de peso del vehículo fue identificado como una estrategia clave para minimizar el consumo de combustible. Para mayor seguridad de los pasajeros, las estructuras de los automóviles tienen una mayor absorción de energía en caso de impacto. Los aceros avanzados de alta resistencia (AHSS) fueron desarrollados para estos requisitos. Un informe reciente de World Steel Dynamics proyecta que para 2025 el uso de AHSS llegará a 23,7 millones de toneladas¹. Esto significa que una parte significativa de las partes de acero de bajo contenido de carbono serían reemplazadas por AHSS²

La implementación de estos aceros en el automóvil ha sido de forma progresiva durante los últimos años, y ha permitido, en primer lugar reducir el peso del vehículo, y en segundo lugar ha permitido optimizar la estructura de éstos mediante la soldadura de materiales disimilares (acero-acero), de distintas calidades y por lo tanto optimizando la carrocería para concentrar los materiales más resistentes en las zonas más exigentes. Una prueba de ello son las técnicas de diseño de “láser-welded blanks” (LWBs) o Tailor welded blanks (TWB), que se basan en la unión mediante soldadura láser de materiales disimilares que permiten ser posteriormente procesados mediante estampaciones en frío o en caliente. Las ventajas de estos métodos de fabricación se basan en la reducción de peso y minimización de costes. En el inicio de la concepción de este diseño de fabricación se usaban aceros dulces habituales en la década de los 90, pero en la última década se han implementado otros aceros catalogados como de alta resistencia, los cuales han permitido disminuir enormemente las emisiones de carbono debido a la reducción de los espesores empleados en las chapas³. Los láseres de dióxido de carbono son los más comúnmente usados para la fabricación de chapa metálica, sin embargo los láseres de fibra han sido más extensamente usados por diversos fabricantes de componentes de automoción. Existen artículos que se basan a la vez, tanto en el método como en el diseño de producción LWBs, para poder eliminar todos aquellos factores que no se pueden implementar en este tipo de producción, como es la separación entre chapas o el posicionamiento.

¹ “[Http://www.autosteel.org](http://www.autosteel.org),” n.d.

² Steel Market Development Institute, “2016 Steel Industry Technology Roadmap for Automotive,” August 2016.

³ M. Shome and M. Tumuluru, “1 - Introduction to Welding and Joining of Advanced High-Strength Steels (AHSS),” in *Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS)* (Woodhead Publishing, 2015), 1–8, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978085709436000011>.

Dissweld
 Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

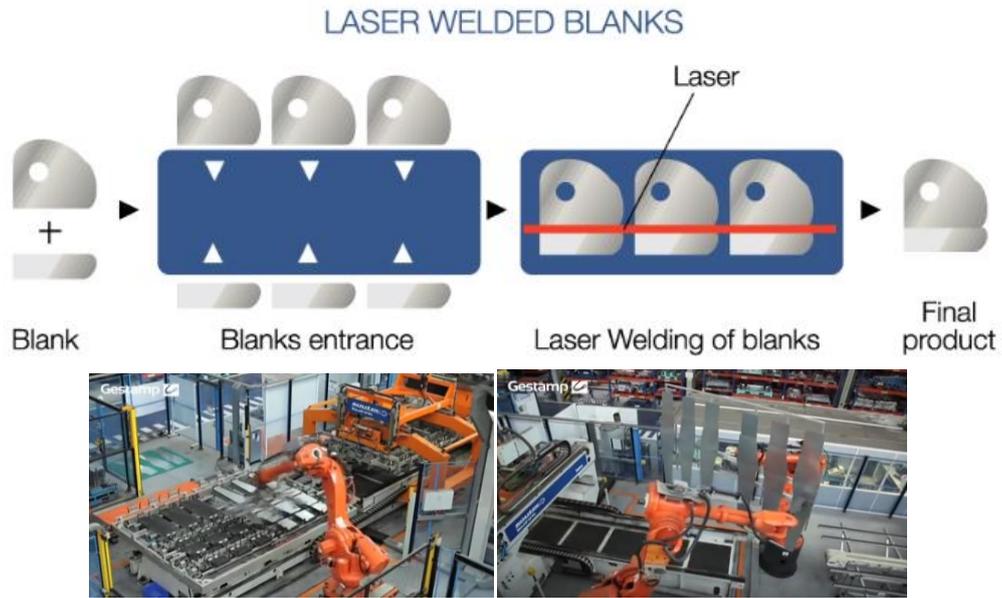


Figura nº 1. Imagen descriptiva y fabricación por el método “Láser welded blanks”.⁴



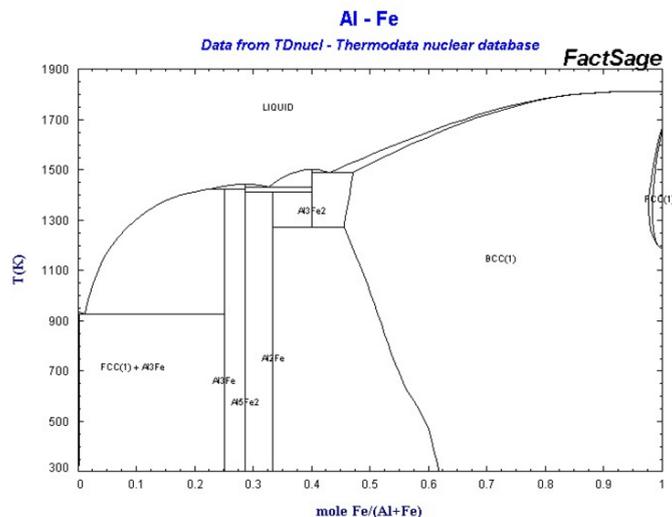
Figura nº 2. Componente del automóvil fabricado mediante el método “Láser welded blanks”.⁵

⁴ “[⁵ “\[!\\[\\]\\(788ec7e1dd16e57f2d3bdcf30c3101c2_img.jpg\\) **GENERALITAT VALENCIANA** | **TOTS A UNA VEU**\]\(http://automotive.arcelormittal.com/News/2046/LWBvideonews,” n.d.</p>
</div>
<div data-bbox=\)](http://www.gestamp.com/what-We-Do/technologies/welding/láser-Welded-Blanks,” n.d.</p>
</div>
<div data-bbox=)

2 Soluciones a desarrollar

De la misma forma que ha existido un auge importante en el uso de los aceros de alta resistencia, éste ha venido impulsado por el desarrollo de grandes acerías capaces de dar soporte de suministros a todo el parque de vehículos internacional. En el caso del aluminio este crecimiento no ha surgido, pero debido al enorme potencial de ahorro de peso, y la consecuente reducción de las emisiones contaminantes, el uso de componentes híbridos de acero y aleaciones de aluminio está aumentando de manera constante, especialmente en lo que respecta a la construcción ligera de automoción. Las aleaciones de aluminio, con todas sus bondades de características mecánicas, buena conformabilidad y baja densidad, siempre han sido objeto de uso en los componentes destinados a la industria del transporte.

El concepto de diseño de fabricación para producir componentes funcionalmente gradados tiene un impulso cada vez mayor en la industria de la automoción, obteniendo así mejoras tanto técnicas como económicas. Este impulso ha venido gracias a la implantación de sistemas de soldadura láser principalmente. De estas mejoras nace el interés científico-técnico de lograr una unión aluminio-acero con unas prestaciones mecánicas mínimas para que pueda ser implementado en los vehículos, a pesar de que su limitada solubilidad hace que exista una formación de fases intermetálicas duras y quebradizas, que disminuyen la resistencia mecánica⁶, y a pesar de sus diferencias de temperaturas de fusión.



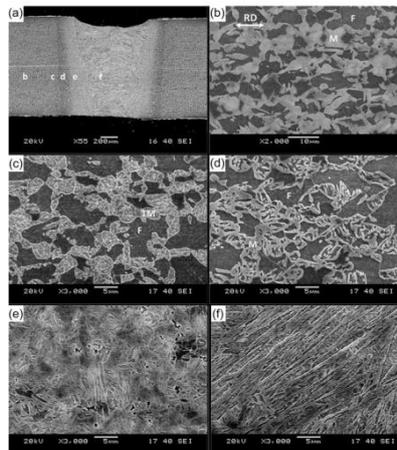
⁶ Oliver Seffer et al., "Investigations on Láser Beam Welding of Different Dissimilar Joints of Steel and Aluminum Alloys for Automotive Lightweight Construction," *Physics Procedia*, Láser Assisted Net Shape Engineering 9 International Conference on Photonic Technologies Proceedings of the LANE 2016 September 19-22, 2016 Fürth, Germany, 83 (January 1, 2016): 383–95, doi:10.1016/j.phpro.2016.08.040.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

Figura nº 3. Diagrama Al-Fe, donde se aprecian con claridad los distintos puntos de fusión de los materiales a soldar.

Las construcciones híbridas de acero y aluminio están siendo investigadas principalmente por técnicas de soldeo mediante haz láser, siendo esta técnica la más apropiada para su propósito. Debido al alto aporte de calor de la técnica, esta unión tiene ciertos retos que lograr para cubrir sus desventajas, principalmente fragilización y endurecimiento⁷. Por otro lado en los aceros de alta resistencia, debido a los altos calentamientos y a las tasas de enfriamientos producidos en la soldadura láser, la aparición de la fase martensítica en el cordón es un común denominador, siendo las zonas del metal base donde normalmente fallan⁸. En estos aceros, la capa de cinc presente puede producir diversas zonas de porosidad, lo cual ha originado técnicas como la láser de doble haz, la cual, primero funde la capa de cinc para posteriormente soldar el metal en una segunda fase^{9,10,11,12}.



⁷ Ibid.

⁸ Stanislav Němeček, Tomáš Mužík, and Michal Míšek, “Differences between Láser and Arc Welding of HSS Steels,” *Physics Procedia, Láser Assisted Net shape Engineering 7 (LANE 2012)*, 39 (January 1, 2012): 67–74, doi:10.1016/j.phpro.2012.10.015.

⁹ Shome and Tumuluru, “1 - Introduction to Welding and Joining of Advanced High-Strength Steels (AHSS).”

¹⁰ E. Biro et al., “Softening Kinetics in the Subcritical Heat-Affected Zone of Dual-Phase Steel Welds,” *Metallurgical and Materials Transactions A* 41, no. 9 (September 1, 2010): 2348–56, doi:10.1007/s11661-010-0323-2.

¹¹ V. H. Baltazar Hernandez et al., “Nanoindentation and Microstructure Analysis of Resistance Spot Welded Dual Phase Steel,” *Materials Letters* 64, no. 2 (January 31, 2010): 207–10, doi:10.1016/j.matlet.2009.10.040.

¹² Qian Sun et al., “A Comparative Study of the Microstructure and Properties of 800 MPa Microalloyed C-Mn Steel Welded Joints by Láser and Gas Metal Arc Welding,” *Materials Science and Engineering: A* 669 (July 4, 2016): 150–58, doi:10.1016/j.msea.2016.05.079.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

Figura nº 4. Imagen de la distinta metalografía que nos podemos encontrar en la soldadura láser de aceros de alta resistencia. 13

En cuanto a las soldaduras híbridas, bien es conocido los efectos que pueden originarse ante la unión soldada de dos materiales con puntos de fusión tan dispares. Éstos van desde los 660°C hasta los 1538°C haciendo que no se produzca una soldadura de fusión como tal, sino una combinación de soldadura por fusión y brazing. Principalmente el problema que se ha encontrado siempre es la presencia de agrietamientos en caliente, porosidades y fusiones incompletas. Y de entre todos estos defectos, se debe convivir con la formación de una fase dura y frágil de intermetálico de Fe-Al siempre presente, que es la principal causa de las disminución de propiedades mecánicas en la unión¹⁴. Otros de los problemas que no son menores y que nos encontraremos en el proyecto serán:

- Que la tasa de absorción de la energía láser aumenta cuando se produce el aluminio líquido, dando como resultado un plasma que genera inestabilidad en la soldadura¹⁵.
- Debido a la diferencia de densidades, una vez alcanzado el punto de fusión, se obtendrá una mayor concentración de aluminio en la parte superior del baño, originando segregaciones que influirán negativamente en la unión^{16,17}.
- La conductividad térmica es diferente, formando complejas tensiones residuales en la unión^{18,19}.
- Por encima de 2000°C se generan óxidos de aluminio²⁰.

¹³ Jin Jia et al., "Microstructure and Mechanical Properties of Fiber Láser Welded Joints of Ultrahigh-Strength Steel 22MnB5 and Dual-Phase Steels," *Journal of Materials Research* 29, no. 21 (November 2014): 2565–75, doi:10.1557/jmr.2014.273.

¹⁴ Pengfei Wang et al., "Láser Welding Dissimilar Materials of Aluminum to Steel: An Overview," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 87, no. 9–12 (December 1, 2016): 3081–90, doi:10.1007/s00170-016-8725-y.

¹⁵ Hitoshi Ozaki and Muneharu Kutsuna, "Láser-Roll Welding of a Dissimilar Metal Joint of Low Carbon Steel to Aluminium Alloy Using 2 kW Fibre Láser," *Welding International* 23, no. 5 (May 1, 2009): 345–52, doi:10.1080/09507110802542718.

¹⁶ Honggang Dong et al., "Arc Joining of Aluminum Alloy to Stainless Steel with Flux-Cored Zn-Based Filler Metal," *Materials Science and Engineering: A* 527, no. 26 (October 15, 2010): 7151–54, doi:10.1016/j.msea.2010.07.092.

¹⁷ Kwang-jin Lee and Shinji Kumai, "Characterization of Intermetallic Compound Layer Formed at the Weld Interface of the Defocused Láser Welded Low Carbon Steel/6111 Aluminum Alloy Lap Joint," *Materials Transactions* 47, no. 4 (2006): 1178–85, doi:10.2320/matertrans.47.1178.

¹⁸ M. J. Rathod and M. Kutsuna, "Joining of Aluminum Alloy 5052 and Low-Carbon Steel by Láser Roll Welding," *Welding Journal* 83, no. 1 (2004): 165–26S.

¹⁹ Seiji Katayama et al., "Láser Weldability of Aluminum Alloy and Steel," *Materials Science Forum* 502 (2005): 481–86, doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.502.481.

²⁰ Leonardo Agudo et al., "Intermetallic FeAl₃-Phases in a steel/Al-Alloy Fusion Weld," *Journal of Materials Science* 42, no. 12 (June 1, 2007): 4205–14, doi:10.1007/s10853-006-0644-0.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

- La solución sólida del hierro y el aluminio es muy baja en la temperatura del eutéctico a 645°C.

Todos estos puntos nos pueden dar una idea de la dificultad de soldar estos materiales, pero aun así, se está avanzando en las investigaciones disminuyendo todos estos factores a través de:

- Los parámetros empleados en las uniones soldadas, transformados al fin y al cabo en la cantidad de energía aportada a la unión.
- La posición y ángulo de soldeo que presta al proceso a permitir una mejor unión.
- Añadir elementos de aleación a través del aporte de material que permita reducir efecto de intermetálicos.

3 Actividades desarrolladas.

En el presente proyecto se han desarrollado las tareas concernientes al estudio documental en profundidad y análisis de diversas investigaciones llevadas a cabo por la comunidad científica encontradas de los distintos buscadores de revistas y artículos, tareas concernientes a la elaboración del plan experimental fundamentado en las revisiones bibliográficas de las uniones disimilares para cubrir las acciones no estudiadas previamente, tareas concernientes a la elaboración de un sistema de utillajes capaz de servirnos durante toda la anualidad del proyecto y para posteriores anualidades, las tareas concernientes a las primeras pruebas de las uniones soldadas para obtener un primer criterio de soldadura buena o mala y actividades de caracterización más profundas para correlacionar los distintos resultados de laboratorio con los parámetros empleados en la unión.

3.1 Gestión y coordinación del proyecto

- Coordinación
- Gestión Técnica

Esta tarea se ha llevado a lo largo de todo el proyecto, son actividades relacionadas con la coordinación de los trabajos, tanto los técnicos como los de divulgación y coordinación de personal. En estas actividades se engloban las encargadas de la planificación durante toda la anualidad. Como principales actividades relacionadas con este paquete de trabajo podemos citar las más destacadas desarrolladas por diversas personas de la empresa:

- Coordinación de obtención de material para las uniones soldadas.
- Coordinación para el análisis de los datos bibliográficos más relevantes y a estudiar durante el proyecto.
- Coordinación del personal encargado de la realización del desarrollo de utillajes especiales para el desarrollo de las uniones soldadas.
- Control y seguimiento de las actividades realizadas con la supervisión de ellas para alcanzar los niveles de calidad adecuados.
- Control de maquinaria empleada para el desarrollo de las caracterizaciones de los materiales soldados.
- Control y seguimiento de acciones encaminadas a la obtención de los componentes con las medidas adecuadas para lograr las uniones soldadas.
- Control y seguimiento de elaboración de uniones soldadas.
- Coordinación de las reuniones con los distintos participantes y/o empresas externas que han participado.
- Tareas de coordinación de la planificación de las actividades técnicas o de caracterización.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

- Coordinar las compras llevadas a cabo durante el proyecto.
- Coordinar los planes de explotación de resultados con las empresas del sector, o aquellas empresas que intuimos que puedan ser útiles los avances de la técnica obtenidos.
- Coordinar las actividades del proyecto con las actividades fuera del alcance de éste, planificación global, planificación estratégica de transferencia de resultados.
- Reuniones periódicas para el desarrollo y análisis de la evolución del proyecto.
- Coordinación de las actividades de administrativas relacionadas con el proyecto.
- Coordinación de tareas de redacción de material de difusión y posterior publicación.

Esta tarea tiene dos fechas principales señaladas en esta primera anualidad del proyecto, la reunión inicial o de partida para comenzar el proyecto de I+D y la reunión final entre parte de los técnicos encargados de hacer un compendio de las acciones llevadas a cabo y redacción de entregables técnicos y de justificación de la memoria.

3.2 Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura láser

- Búsqueda de factores claves y materiales a estudiar.
- Búsqueda de procedimientos más importantes en las uniones disimilares.

Durante este paquete de trabajo se han llevado a cabo la lectura y resumen de las investigaciones llevadas hasta ahora y publicables en los distintos foros o portales de base de datos expuestos y consultables en medios electrónicos, ya sea de empresas privadas como de universidades y centros de investigación. Todas las actividades llevadas durante esta fase del proyectos han servido para saber el estado de arte actual de las uniones disimilares y para planificar las acciones a llevar a cabo durante las dos anualidades presentadas para este proyecto.

La revisión bibliográfica nos ha permitido obtener los tipos de aleaciones necesarios para realizar las uniones soldadas. Estudiando las actividades de otros investigadores, se ha alcanzado la definición de los materiales en los que destaca el acero de alta resistencia DP, Dual Phase, como material base hierro y en el que destaca el material como material base Aluminio, la aleación de la serie 5xxx, en concreto la aleación AA5754 que es una de las que se pueden obtener procesos de conformado sin que entre en juego fenómenos de precipitación de segundas fases como pudieran ocurrir en las aleaciones de la serie 2xxx o 6xxx.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

La revisión bibliográfica también nos ha permitido obtener un procedimiento de soldadura y definir una estrategia de puntos soldados que nos vayan dando resultados a nivel de laboratorio, como pueda ser la resistencia mecánica o la medición de la capa intermedia generada entre el aluminio y el acero, que es la causa, según se indica en la distinta bibliografía, de la baja resistencia de la unión debido a la generación de fases frágiles.

La revisión bibliográfica también nos ha permitido definir el utillaje necesario para lograr la unión de los diferentes materiales, este utillaje se ha realizado en base a la bandeja de soldadura del brazo robot equipado con el láser. A la vez, gracias a revisión bibliográfica, se han seleccionado los componentes adecuados para modificar el conjunto de soldadura, cambiando ópticas, colimadores, etc., lo que nos permite obtener una haz láser como lo indicado en la bibliografía, tanto en las uniones, donde no requerimos de material de aporte, como en las uniones donde usamos material de aporte en formato polvo.

Otro de los factores importantes durante la soldadura de estos materiales es la forma de atacar a los materiales, ya sea desde el aluminio como del acero, y cómo, y a qué distancia del cordón, se posiciona éste. Todos estos datos quedan recogidos en el plan experimental a realizar durante la primera anualidad y que nos ha permitido obtener las 3 primeras tandas de uniones soldadas.

De los análisis de la documentación bibliográfica se han obtenido los primeros parámetros a tener en cuenta en nuestra investigación, evitando así la definición de parámetros iniciales y enfocándonos en aquellos que nos indican que las uniones soldadas tendrán una buena resistencia.

Fruto de este trabajo se desarrolla un entregable donde se hace un resumen de las principales investigaciones llevadas a cabo entre material acero y aluminio, en concreto entre acero de alta resistencia Dual Phase y aleaciones de la serie 5xxx que son los materiales a emplear en esta investigación.

3.3 Realización de pruebas de uniones soldadas.

- Etapa de pruebas soldadas en instalaciones preindustriales

Durante esta tarea se han realizado las pruebas pertinentes para la realización de las soldaduras para probar y analizar los diferentes parámetros de soldadura. Para lograr estas uniones primero se tuvo que idear una bancada de soldadura y ejecutar todas las operaciones de mecanizado oportunas para su realización. Fruto de ellos obtenemos un sistema de fijación que nos permite el agarre de las muestras de forma adecuada como figura en la imagen inferior.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser



Figura nº 5. Utillaje necesario para el anclaje de los cupones a soldar.

El utillaje se fabricó conforme a tamaños de probetas o cupones de ensayo de aproximadamente $200 \times 200 \text{ mm}^2$, con el fin de preparar probetas de alrededor de $100 \times 200 \text{ mm}^2$ para posicionarlas a tope o a solape, que son las configuraciones propuestas en un previo plan experimental. Las partes mecanizadas se realizaron a través de taller mecánico externo mediante subcontratación. Los agarres de las placas marcaron, el posicionamiento de ellas y para las uniones a solape se emplearon componentes supletorios.

Otras de las tareas ha sido la modificación del sistema de soldeo. El equipo de soldadura es un instrumento equipado con ópticas diseñadas para el fundido de polvo metálico y por lo tanto para la realización de la técnica cladding o deposición de polvo metálico. Estas ópticas no requieren concentrar el haz láser tanto como se debe concentrar para que el haz láser haga el efecto de soldadura, por lo que se tuvieron que modificar y por lo tanto adecuarlo para lograr obtener un equipo capaz de realizar las uniones soldadas mientras que pudiéramos aportar material en formato polvo. Las modificaciones se basaron en componentes intercalados en el sistema láser como colimador y una lente focal nueva para lograr un spot cercano a 1 mm, que es con el cual comienza a realizar soldadura en los materiales. Estos componentes se compraron para el proyecto y solo serán usados para este propósito.

Dissweld
Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

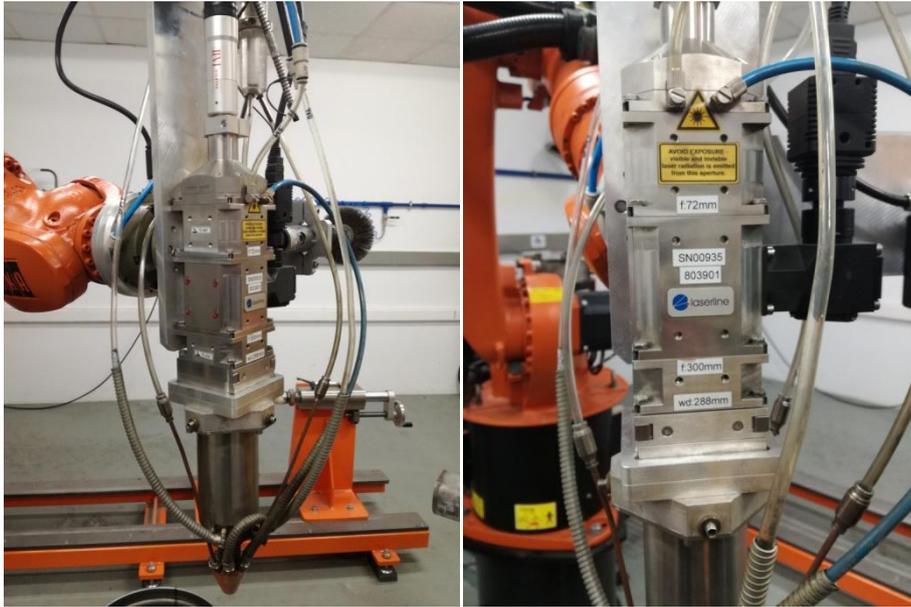


Figura nº 6. Sistemas de los que se compone el láser de soldadura con las lentes del proceso cladding.

Paralelamente a las actividades citadas anteriormente se definen los sistemas que deseamos soldar en base a un plan experimental. De forma inicial se definieron aquellos que son evidentes que tienen mucha influencia en el cordón como puede ser la energía aportada al sistema. Pero para establecer esa influencia en el sistema primero nos centrado en las distintas posibilidades de soldeo que conllevan las configuraciones.

Para la configuración a tope, inicialmente éstas fueron mecanizadas para que el asiento de cada chapa dejara un hueco mínimo, y por lo tanto siempre estuviera en contacto. La distancia con respecto al centro de las placas o al cordón, es lo que se llama en la bibliografía offset, evaluándolo en esta prueba para 0.5, 1 y 2 mm. De la misma forma como se indica en el croquis inferior, Figura nº 7, la posición con respecto a qué material se ataca también se evaluó en esta prueba.



Figura nº 7. Sistemas empleados en las primeras pruebas para lograr la unión de chapas.

Las chapas a soldar se tuvieron que limpiar con acetona para eliminar el aceite de la superficie antes de la soldadura, y la película de óxido sobre la superficie de la aleación de aluminio se

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

elimino con papel de lija. La potencia del láser, la velocidad de soldadura, el desplazamiento del enfoque (focus offset), el gap y la cantidad de desenfoque influyen en la calidad de la unión resultante de soldadura fuerte. Las densidades y las velocidades de absorción del láser de los polvos difieren, lo que puede causar diferencias en la forma del haz de polvo y en la eficiencia del acoplamiento de la energía del láser-polvo.

Para la configuración a solape se evaluó de la misma forma las posiciones del haz con respecto a los materiales. De la misma forma que en las operaciones anteriores los materiales son preparados para la eliminación de posible impurezas o restos, y lijados para que no entre en juego la acción del recubrimiento de óxido autogenerado por el aluminio.

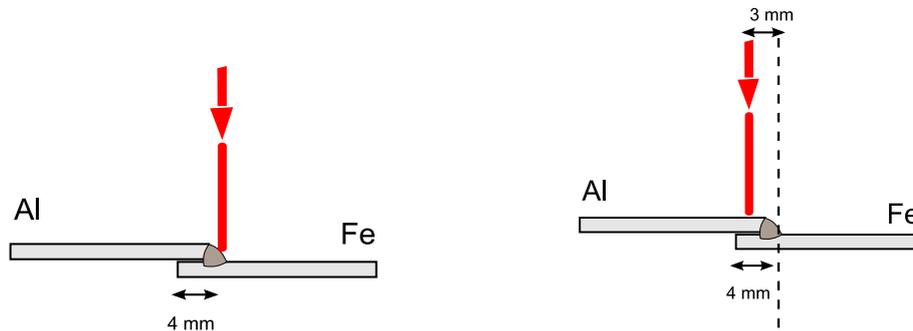


Figura nº 8. Sistemas empleados en las primeras pruebas para lograr la unión de chapas.

Lo que se pretende de estos sistemas se basa en la conducción del calor a través de los materiales para la unión entre ellos. El calor transmitido a las bandas o chapas pasara de un extremo a otro, por lo que la conducción de los materiales es importante y el espesor de ellos también. Los espesores seleccionados se basaron en los empleados comúnmente en la industria para los temas de estampación de materiales metálicos, espesores que sean capaces de tener una resistencia adecuada a un conjunto específico.

Durante la primera prueba de las uniones soldadas se han establecido unos rangos de parámetros para comprobar su efecto en las uniones. Estos parámetros o variables se basan en el aporte energético suministrado a las placas y en la posición del haz láser, siendo en la zona del aluminio o en la zona el acero. Las variables empleadas en esta primera tanda son:

- Energía del láser.
- Velocidad de avance del láser.
- Posición del láser con respecto al Aluminio y distancia con respecto al punto de unión.
- Posición del láser con respecto al Acero y distancia con respecto al punto de unión.

Para la realización de estas pruebas se anclaron las placas en el soporte realizado anteriormente para posicionarlo de tal forma que tengamos una buena unión en cada unos de

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

los sistemas a soldar. Previamente a este proceso se realizaron preparaciones de bordes de las muestras a 45º y algunas muestras sin preparación para que estuviera todo el espesor a tope durante la unión. La preparación se basa principalmente en el desbastado del borde junto con una limpieza mediante acetona para eliminar aquellos restos que puedan contaminar la unión.

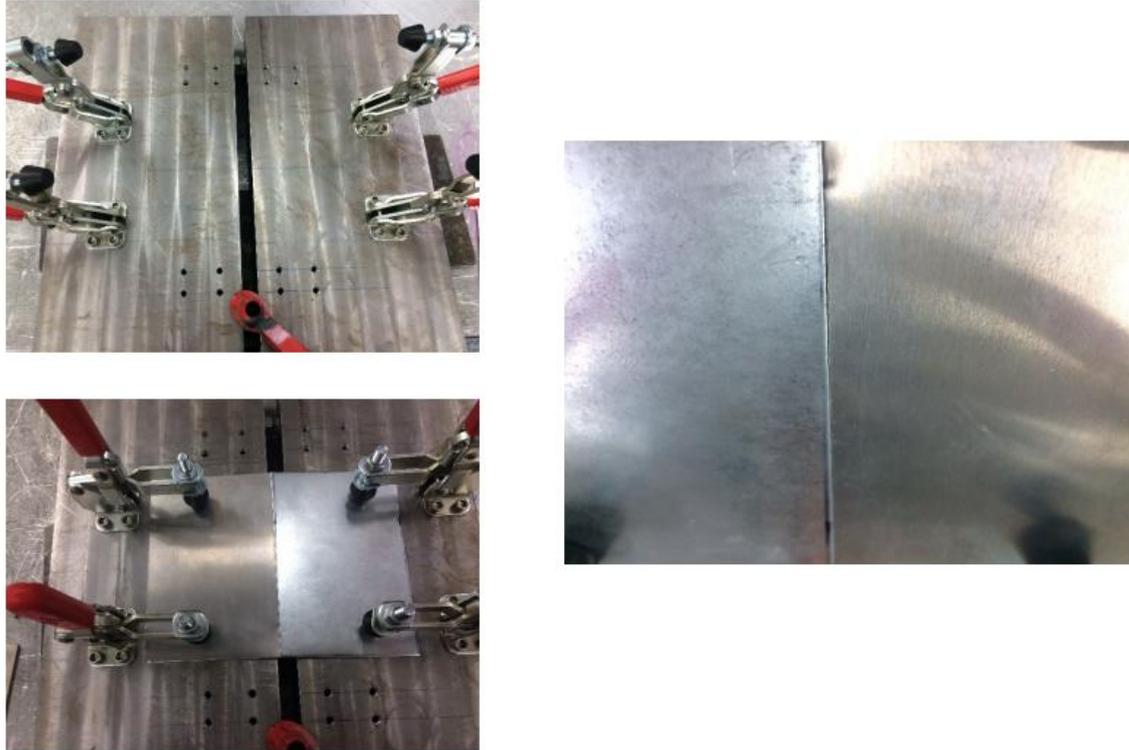


Figura nº 9. Ejemplo del proceso de soldeo de la primera prueba.

Dentro de la estrategia a seguir se establecieron diversos escenarios para posicionar el haz láser a su distancia con respecto al centro de la soldadura. En las primera uniones nos centramos en el enfoque en el material Dual hace a distintas posiciones con respecto al centro de las dos placas. Para ello se toman como referencia distancias de 0.5, 1 y 2 mm, para estudiar el efecto del aporte calorífico en las uniones. También se centraron las soldaduras en la energía transmitida y en la velocidad, dando como resultado una serie de configuraciones a analizar posteriormente.

ENSAYO	ØSpot Láser (mm)	Power (W)	Speed (mm/min)	Densidad Pot (W/mm ²)	Energía específica (J/mm ²)	CONFIGURACION	Descentrado Fe	Descentrado Al	Limpieza bordes
1	3,8	100	500	88,2	31,6	tope	1	N/A	no
2	3,8	500	200	44,1	39,5	tope	1	N/A	no

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

3	3,8	800	200	70,5	63,2	tope	1	N/A	no
4	3,8	800	200	70,5	63,2	tope	N/A	1	no
5	3,8	800	200	70,5	63,2	tope	N/A	1	Al+Acet
6	3,8	800	200	70,5	63,2	tope	1	N/A	Al+Acet
7	3,8	800	400	70,5	63,2	tope	2	N/A	Al+Acet
8	3,8	1000	400	88,2	39,5	tope	1	N/A	Al+Acet
9	3,8	1000	400	88,2	39,5	tope	0	N/A	Al+Acet
10	3,8	1000	400	88,2	39,5	tope	0,5	N/A	Al+Acet
11	3,8	1200	400	105,8	47,4	tope	0,5	N/A	Al+Acet
12	3,8	1500	400	132,3	59,2	tope	0,5	N/A	Al+Acet
13	3,8	1500	400	132,3	59,2	tope	1	N/A	Al+Acet
14	3,8	1500	400	132,3	59,2	Solape	0	N/A	Al+Acet
15	3,8	1200	400	105,8	47,4	Solape	0	N/A	Al+Acet
16	3,8	1200	300	105,8	63,2	Solape	0	N/A	Al+Acet
17	3,8	1200	400	105,8	47,4	Solape	N/A	3	Al+Acet
18	3,8	1000	400	88,2	39,5	Solape	N/A	3	Al+Acet

En las segundas prueba nos centramos en la configuración a tope de las muestras, atacando el láser en la posición del aluminio, variando distancia con respecto al centro y aumentando velocidad de recorrido. Sin adición de polvo metálico y con spot de 1.3 mm

ENSAYO	∅Spot Láser (mm)	Speed (mm/min)	Power (W)	Descentrado Al	Resultado
1/2	1.3	500	2200	X = 1 mm	Exceso energía
2/2	1.3	1000	2200	X = 1 mm	Exceso energía
3/2	1.3	1000	2200	X = 0,5 mm	Exceso energía
4/2	1.3	1000	1500	X = 0,5 mm	Exceso energía

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

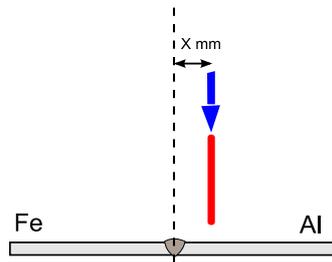


Figura nº 10. Configuración empleada.

Y atacando la muestra en el aluminio con una configuración a solape, situando en aluminio encima del acero.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

ENSAYO	∅Spot Láser (mm)	Speed (mm/min)	Power (W)	Descentrado Al	Resultado
5/2	1.3	1000	1500	X = 0,8 mm	Exceso energía
6/2	1.3	1000	2200	X = 1 mm	Exceso energía
7/2	1.3	1000	3000	X = 1 mm	ok
8/2	1.3	1000	3500	X = 1 mm	ok
9/2	1.3	1000	3500	X = 1,3 mm	ok
10/2	1.3	1000	3500	X = 0,6 mm	Rotura
11/2	1.3	800	3500	X = 1,5 mm	ok
12/2	1.3	1000	3500	X = 1,5 mm	ok

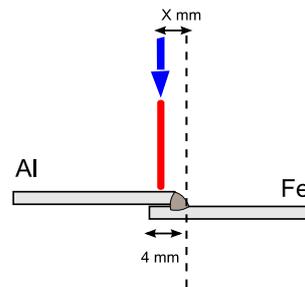


Figura nº 11. Configuración empleada.

También se han realizado pruebas iniciales, que tendrás su continuación en la siguiente anualidad, con la adición de polvo metálico y spot de 4 mm, como una primera prueba para analizar la influencia de éste, pero sin lograr grandes uniones, y de las cuales nos centraremos en la siguiente anualidad.

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser



Figura nº 12. Detalle de la soldadura 8/2.

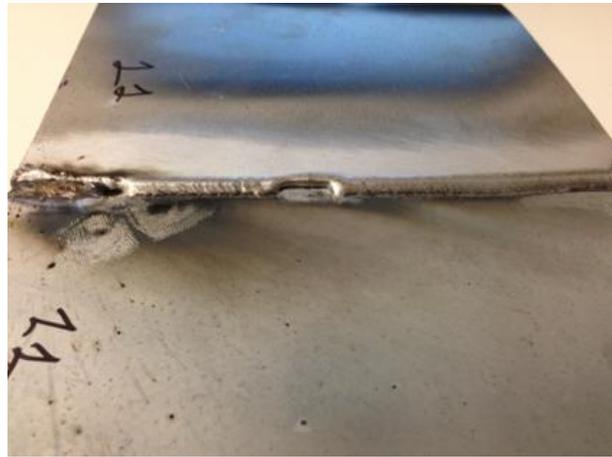


Figura nº 13. Detalle de la soldadura 11/2.

3.4 Caracterización microestructural y mecánica de las uniones soldadas realizadas.

- Ensayos no destructivos y preparación de probetas para ensayos.
- Estudios microestructurales de la soldadura.
- Estudios mecánicos de los puntos de unión y adyacentes.

Durante la ejecución de este paquete de trabajo se han llevado a cabo las tareas concernientes a la caracterización de los materiales tanto desde un punto mecánico como microestructural, mediante análisis de microscopio y medición. Ésta es una tarea que se ha iniciado durante la primera anualidad pero la mayor parte de estas actividades se realizarán en la segunda. En

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

esta segunda hemos podido realizar ensayos no destructivos, principalmente inspecciones visuales mediante lupa estereográfica para describir los cordones realizados anteriormente.

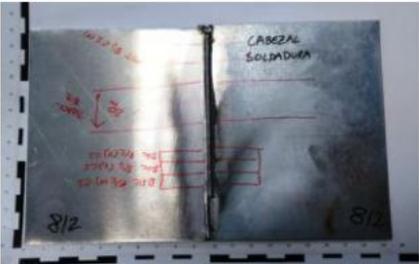
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
9/2 CABEZAL SOLDADURA	Solape entre chapas. Falta de fusión	
8/2 CABEZAL SOLDADURA	Solape entre chapas. Buena fusión en mayor parte de la soldadura excepto en el extremo inferior.	
17 CABEZAL CLADDING	Solape inicial entre chapas. Aparente exceso de fusión. Cordón continuo.	

Figura nº 14. Detalle de la descripción de las muestra a analizar.

Durante estas actividades también se han llevado a cabo las operaciones de corte de los cupones, para la realización posterior de las muestras a analizar. Estas operaciones han sido desarrolladas con el máximo cuidado durante el corte, debido a las altas probabilidades de que las capas puedan sufrir el efecto de la temperatura, o se fracturen durante el agarre de éstas.

La microscopía óptica se utilizó principalmente para la caracterización de la capa intermedia entre los materiales. El microscopio utilizado es un Nikon Eclipse LV100POL equipado con una cámara de alta definición Nikon DS-Fi1 y de un sistema de análisis y tratamiento de imágenes. La captura y mediciones se realizaron con el software NIS – Elements AR. Para la inspección de las muestras por microscopio óptico se realizaron embuticiones de parte de las muestras sobre

Dissweld

Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

resina epoxy para poder lijar y pulir las muestras para el posterior análisis de ellas. Todas las muestras fueron embutidas en caliente para su posterior tratamiento de preparación siguiendo los pasos marcados en la normativa ASTM E3-11 "Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens"



Figura nº 15. Equipos empleados en la preparación metalográfica.

Posterior al corte, las muestras se embuten en resina a 160°C con una presión de aproximadamente 30MPa. Los tiempos de calentamiento fueron de 5 minutos, mientras los tiempos de enfriamiento fueron de 4 minutos. Posteriormente las muestras pasaron al proceso de lijado, para ello partimos de paños de abrasión con un granulometría P80 escala FEPA, para posteriormente a una escala P500, seguida de una P1200, seguida de una P2000 y por ultimo una P4000. Para posteriormente pasar a una etapa de pulido de un producto de diamante de conteniendo exclusivamente diamantes policristalinos con suspensión estable aplicado manualmente mediante spray. A la vez se introdujo un lubricante líquido base agua y aceite para evitar la adherencia de las muestras sobre los paños. El paño empleado en las etapas de pulido fueron de pelos tipo poliéster para dañar lo más mínimo posible las muestras. Los equipos empleados para este propósito fueron de marca Struers Tegrapol.



Dissweld
Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

Figura nº 16. Microscopio óptico NIKON



Figura nº 17. Ejemplo del resultado de los distintos cortes de algunas de las muestras.

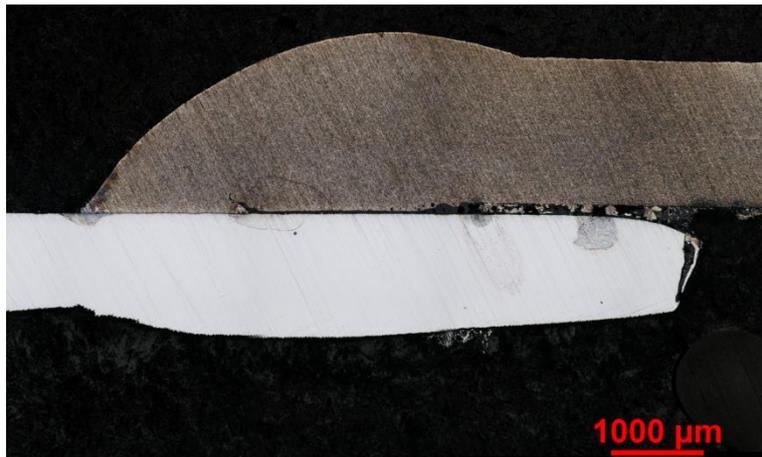


Figura nº 18. Detalle de las chapas soldadas de uno de los cupones 11/2.

Dissweld
Estudio documental y análisis de experiencias previas de uso de soldadura laser

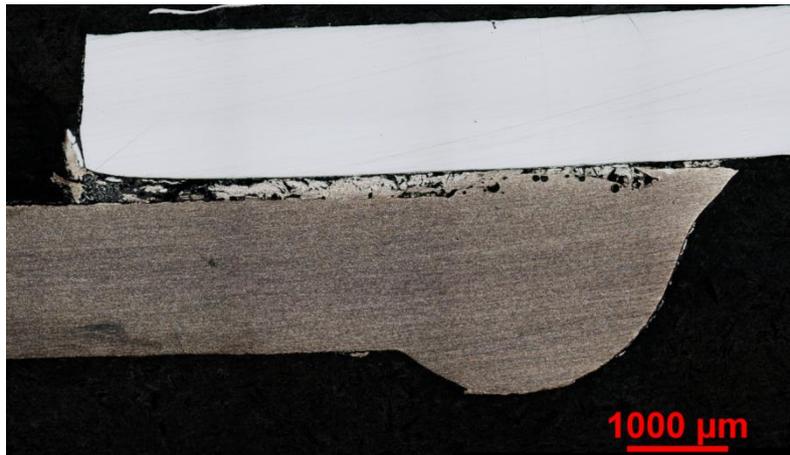


Figura nº 19. Detalle de las chapas soldadas de uno de los cupones 7/2.

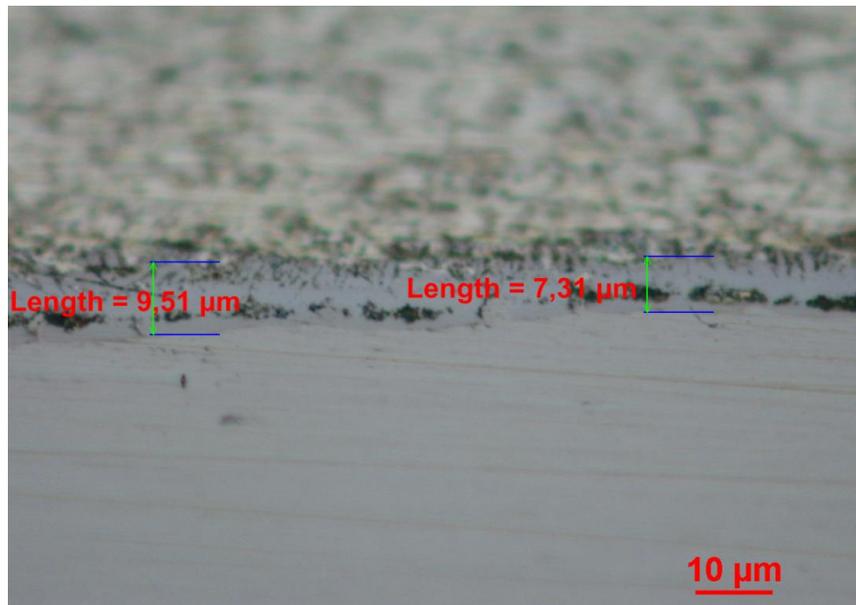


Figura nº 20. Detalle de la zona de interfase que se genera durante la unión 8/2.

Posteriormente a las preparaciones metalográficas se han llevado a cabo medidas de dureza para tener un componente o magnitud de resistencia mecánica de las uniones y de la interfase presente entre materiales.

4 Resumen

- Se han llevado a cabo uniones entre materiales disimilares con cierta integridad estructural que nos permita analizar las distintas características físico químicas del material.
- Se ha alcanzado un procedimiento de soldeo adecuado para poder ejecutar diversas pruebas de materiales disimilares.
- Se ha comprobado que se puede modificar un equipo destinado para el cladding que nos permita adicionar polvo metálico como material de aporte.
- Se ha demostrado la fragilidad de la capa intermedia entre los dos materiales.
- Las muestras analizadas evidencian que los parámetros establecidos al inicio del proyecto son los más críticos a la hora de generar la capa de interface, el menor aporte energético es que el otorga menor capa, y por lo tanto se presupone mayor resistencia de la unión.
- Los materiales quedan muy afectados por el efecto del haz laser durante todas las uniones soldadas.
- La morfología y posicionamiento es clave para lograr una buena unión.
- Los materiales a tope no han tenido una buena unión, solo una configuración escogida y con resultados mecánicos menores.
- Los materiales con configuraciones a solape han sido los más prometedores, siendo estos los que se siguieran ensayando en la futura anualidad.
- Los resultados obtenidos son prometedores pero tienen que seguir investigando en sucesivas anualidades, e investigar el efecto del recubrimiento, su espesor y su composición química, a la vez desvirtuar esa capa mediante adición de polvo modificado para disminuirla.