



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Título

Soldadura láser (HPDL) de acero inoxidable dúplex 2205, análisis de textura y transformaciones fases por EBSD (parte I).

Autores

Dr. G. del Rosario Hernández <sup>(1)</sup>. Dr. G. E. Frades Castedo <sup>(2)</sup>.

Dra. S. González Prolongo <sup>(3)</sup>.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

**Resumen:** El estudio del comportamiento del acero inoxidable dúplex laminado sometido a soldadura láser HPLD. Determinación de las mejores condiciones de soldeo sin material de aporte y análisis de la microestructura y de textura de la unión (MB/ZAC/ZF). Análisis de las relaciones de orientación en cada fase utilizando los diagramas polares. Valoración de los indicadores que inciden con mayor intensidad en las propiedades mecánicas de la unión. Determinación de la concentración de fases en MB y en la ZF utilizando DRX y EBSD. Comparación de ambos resultados en relación con la ZF.

### **Abstract:**

The study of behavior of rolled duplex stainless steel subjected to laser welding HPLD. Determination of the best welding conditions without filler material. Analysis of the microstructure and texture of the union (MB / ZAC / ZF). Analysis orientation ratios in each phase using polar diagrams. Valuation of indicators affecting more intensively on the mechanical properties of the joint. Determination of the concentration of phases in MB and the ZF by using XRD and EBSD. Comparison of the two results regarding the ZF.

**Palabras claves:** Duplex stainless steel (DSS), high power laser (HPDL), ZF, zona fundida, ZAC zona afectada por el calor, soldadura láser (LW), ferrita, austenita, (MB) metal base.

<sup>1</sup> Dr. Gilberto Del Rosario Hernández. Centro de Apoyo Tecnológico. Unidad de Microscopía. URJC, Campus Móstoles, Madrid, España. [gilberto.delrosario@urjc.es](mailto:gilberto.delrosario@urjc.es)

<sup>2</sup> Dr. Guillermo Ernesto Frades Castedo. Coordinador Académico y Profesor Investigador en CIATEQ A. C., Campus Querétaro, Querétaro. [gfrades@ciateq.mx](mailto:gfrades@ciateq.mx)

<sup>3</sup> Dra. Silvia González Prolongo. Coordinadora del Grado en Ingeniería de los Materiales de la ESCET y profesora Investigadora en la URJC Campus Móstoles, Madrid, España. [silvia.gonzalez@urjc.es](mailto:silvia.gonzalez@urjc.es)

## I. Introducción



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

La soldadura de aceros inoxidables es una de las etapas de mayor importancia en el proceso de fabricación de equipos y estructuras para la industria química, farmacéutica y petrolífera. La elección de cuál tecnología aplicar responde al nivel de responsabilidad exigido a cada pieza en particular. La zona adyacente al cordón de soldadura, aunque fuera del área de fusión adquiere una importancia trascendental en relación con la durabilidad de la pieza. Un número importante de los fallos en uniones soldadas se producen debido a transformaciones de fases en estado sólido, causadas por la transferencia térmica durante la unión.

La soldadura láser introduce importantes ventajas en relación con otras técnicas de soldadura convencional como es, una elevada automatización, alta penetrabilidad y mínima deformación térmica. En comparación con las soldaduras producidas por arco o gas, la transferencia de energía es considerablemente menor, haciendo que las uniones con láser se caractericen por un enfriamiento muy rápido de la zona fundida [1, 2]

Los láseres actuales *HPDL*, de elevada potencia de salida y un alto nivel de integración, poseen un sistema óptico de lentes integrado de pequeña distancia focal, que ha permitido su uso en la soldadura [3]. Una soldadura láser optimizada puede reducir la *ZAC*, de 3 a 5 veces respecto a la producida por otra técnica como el *TIG* ó *GMAW*.

Los *HPLDs* poseen propiedades ópticas que los diferencian respecto a los utilizados tradicionalmente en el procesado de materiales. Dentro de estas diferencias destacan el ancho de banda espectral de 2 a 20 nm, la distribución no simétrica de la radiación en un factor de 2 a 6 veces, así como, la divergencia del haz en direcciones ortogonales [4].



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

En un cordón de soldadura la *ZF* está constituida sólo de metal solidificado, que ha sido sometido durante la fusión a transformaciones de orden químico, físico y microestructural. En cambio, en la *ZAC* solo ocurren transformaciones en estado sólido y se localiza alrededor de la *ZF*. La combinación en un ensayo de soldadura de procesos metalúrgicos relacionados con la fusión, las reacciones químicas y transformaciones de fases o la velocidad de enfriamiento, en un volumen de material muy reducido, refleja la diferencia y complejidad de esta etapa en el proceso de fabricación.

Uno propósito fundamental en una soldadura es conseguir la continuidad del material y la ausencia de defectos, esta condición se puede conseguir aplicando correctamente una secuencia tecnológica. Por el contrario, es imposible alcanzar la homogeneidad química y mecánica en la zona de unión. Asumida esta limitación, podemos pretender alcanzar mejores propiedades que las demandadas para las condiciones de servicio de la pieza, a esto llamaremos tecnología optimizada. Las diferencias entre el cordón de soldadura y el metal base determinan el grado de calidad de la soldadura y permiten establecer el nivel de soldabilidad del material [5].

En un acero inoxidable dúplex 2205, además de las fases ferrita y austenita pueden estar presentes localmente fases secundarias no deseadas que actúan de forma perjudicial. La presencia de estas fases afecta tanto la resistencia a la corrosión, como las propiedades mecánicas, principalmente la tenacidad.

Las transformaciones de ferrita en austenita, que ocurren en estado sólido, se producen por mecanismos difusivos y están influenciadas por la temperatura y el tiempo. Un enfriamiento rápido desde la temperatura en la que el acero es completamente ferrítico, puede suprimir la transformación ferrita/austenita, formándose una estructura predominantemente ferrítica en el cordón. La



# “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

temperatura en la que se produce la transformación ferrita/austenita ocurre entre 1200 - 800 °C

## II. Metodología

### Acero:

El acero utilizado en este trabajo corresponde a un acero inoxidable dúplex UNS S32205, en formato de chapa de 3 mm de espesor, laminado en caliente y decapado químico. El acabado superficial de tipo: 1E, según la norma EN 10088-2. La composición química del material de partida aparece resumida en la Tabla 1.

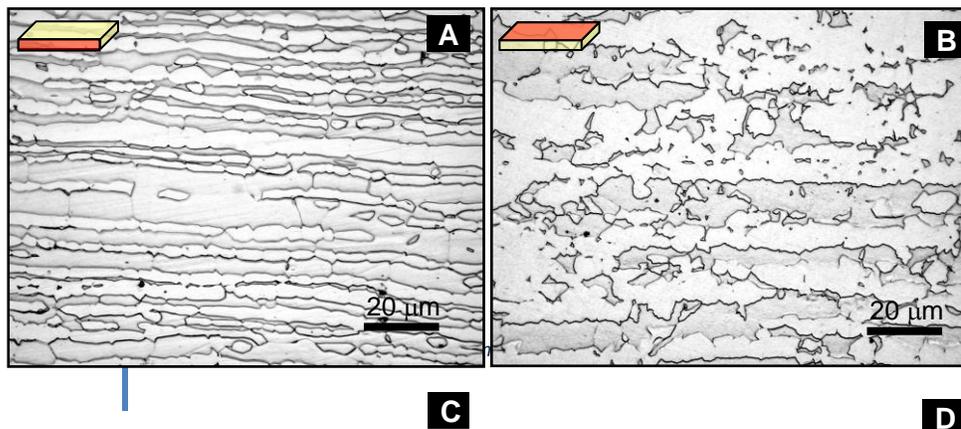
Tabla 1. Composición química del acero dúplex UNS S32205 (% en masa).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N	Cu	Co	Fe
0,020	0,40	1,52	0,021	0,001	22,37	3,20	5,74	0,171	0,17	0,09	Bal.

Tratamiento térmico aplicado: Calentamiento a 1100 °C / enfriamiento rápido.

Este tipo de acero, está formado mayoritariamente por una combinación de fases ferrita/austenita. La estructura cristalina es una combinación de una red cúbica de tipo ( $Fe^{\alpha}_{cc}$ / $Fe^{\gamma}_{bcc}$ ).

La microestructura del acero laminado se puede observar en la Figura 1, la chapa ha sido preparada por la sección transversal y longitudinal Figura 1A, B. La distancia entre planos de cada fase varía del centro de la chapa a la superficie.



e 2014. México

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

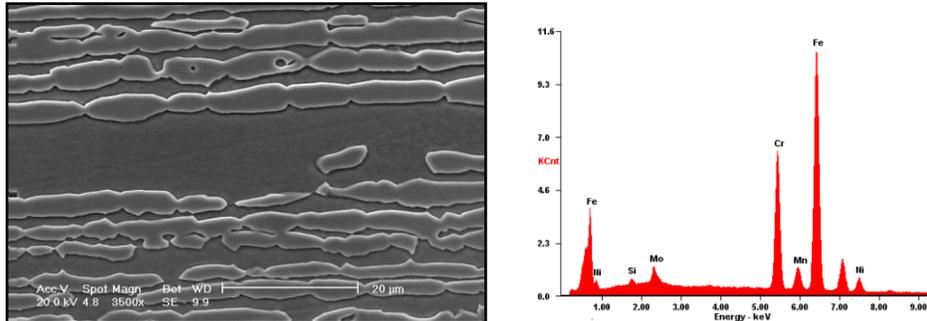


Figura 1. Microestructura del acero dúplex UNS S32205 laminado. A. Imagen de MO de la sección transversal de la chapa, muestra atacada 500 x. B. Imagen por la sección longitudinal, muestra atacada 500 x. C. Imagen de SEM de la sección trasversal, muestra atacada 3500 x. C. Espectro de composición química (EDS/SEM) realizado por la sección transversal para hacer la identificación de fases. La fase austenita ( $\gamma$ ) y ferrita ( $\alpha$ ) orientada en bandas.

La determinación cuantitativa de fases cristalinas por difracción de rayos X aporta una información relevante en relación con la concentración de fases mayoritarias en la superficie de la chapa y como afecta en su comportamiento ferromagnético. También determinación de la combinación de fases por la sección transversal permite cuantificar la magnitud de los cambios producidos debido al proceso de soldadura. El equipo utilizado para este análisis es un difractómetro *Philips*, modelo *X'Pert MPD/MRD PW 3040* con tubo de rayos X de  $Cu_{K\alpha}$ , y ranura programable.

El análisis cuantitativo de fases cristalinas por rayos X se fundamenta, en considerar que la intensidad de las reflexiones de una fase cristalina contenida en la muestra, dependen de la concentración de dicha fase. De manera que, la intensidad de una determinada reflexión ( $h k l$ ), de la fase de interés analítico es inversamente proporcional al coeficiente de absorción de la muestra [6]. El desarrollo completo de los métodos de análisis cuantitativos aparece explícitamente documentados en manuales básicos de difracción de rayos X, *Klug y Alexander (1974)* [7].



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Los resultados correspondientes al análisis de la concentración de fases mayoritarias se muestran en la Figura 2. En la superficie de la chapa predomina la fase austenita en una proporción: 60% ( $Fe_{\gamma}$ ) / 40% ( $Fe_{\alpha}$ ). Este resultado se corresponde con pérdidas en mayor magnitud de elementos *alfágenos* como son el silicio y molibdeno, cuantificados por fluorescencia de rayos X (FRX).

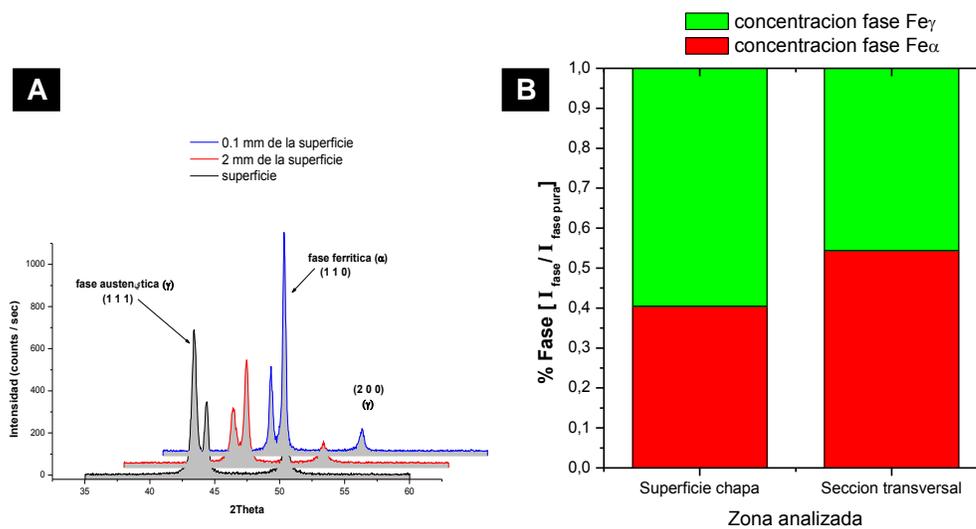


Figura 2. A. Difractogramas de diferentes zonas de la chapa (superficie, 0,1 y 2 mm por debajo). B. Gráfico de la concentración de fases mayoritarias calculada (superficie y la sección transversal). Fichas de referencias utilizadas en la identificación: JCPDF-ICDD 34 - 0396, 33 - 0397.

En cambio en la sección transversal, se equilibran la concentración de fases en una relación de 54 % ( $Fe_{\alpha}$ ) / 46 % ( $Fe_{\gamma}$ ). Lo que justifica en este acero un comportamiento ferro magnético de media intensidad.

Los gradientes de composición química detectados en la superficie tienen origen durante el procesado por termo-conformado en atmósfera no controlada y en la aplicación de procesos de decapado químico en las operaciones finales realizadas a la chapa. Las pérdidas más significativas se registran en menor cuantía para Mn



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

y el Co, en mayor cuantía para el silicio y el molibdeno, de manera que en la superficie de la chapa aparece una contribución mayoritaria de la fase austenita.

### Lasers

Las características técnicas del láser diodo utilizado en esta investigación aparecen resumidas en la Tabla 3. La divergencia del haz del láser condiciona orientación aplicada, utilizándose en este trabajo condiciones experimentales previamente optimizadas. La colocación de la arista lenta ó corta en dirección transversal al cordón, es la opción más eficiente, ya que permite utilizar mayor velocidad de movimiento del haz y produce una ZAC más estrecha [8]. Con esta orientación fue posible reducir las dimensiones de la ZF en la sección transversal en un 13 %, respecto a cualquier otra orientación. De igual forma, la ZAC obtenida en estas condiciones se redujo en 31 %.

En una unión sin material de aporte, una ZF estrecha proporciona ventajas como es, la reducción de las tensiones internas a ambos lados del cordón durante la solidificación, a causa de que las tensiones residuales formadas durante este tipo de unión, son proporcionales al volumen del metal fundido.

Tabla 3. Características técnicas del láser diodo utilizado marca: *Rofin DL 013 S*, clase 4.

Longitud de onda	940 nm ± 10nm
Potencia óptica de salida (CW)	1300 W
Rango de potencia	100 – 1300 W
Tamaño de foco a la potencia nominal (86%)	~ 0,7 x 1,3 mm
Distancia de trabajo	42 mm

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

---

Polarización	ortogonal
Dimensiones del láser (L x W x H)	488 x 180 x 155 (mm <sup>3</sup> )

---

## Tecnología

La Figura 3, muestra un esquema de la instalación utilizada, del dispositivo de inmovilización de la chapa y de la boquilla para el suministro de gas de protección.

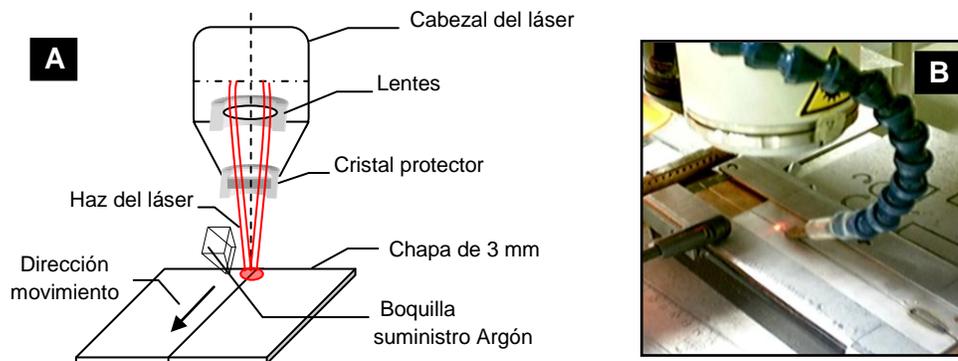


Figura 3. A. Esquema de la instalación utilizada para la soldadura láser B. Imagen del proceso con el soporte utilizado para la fijación de probetas.

Para evitar la volatilización de los elementos de aleación y mantener un equilibrio de fases en el cordón, es importante controlar diferentes parámetros como: potencia, velocidad de soldadura, posición del plano focal, ancho del cordón y la penetración. La combinación de parámetros que mejores resultados aporte, se resume en la Tabla 4.

El comportamiento exponencial decreciente que se produce en la penetración, demuestra la importancia de elegir una velocidad de soldadura acorde al espesor de la chapa a unir, siendo notable que pequeñas variaciones de velocidad puedan multiplicar por dos la penetración.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Tabla 4. Condiciones de soldadura aplicadas para unir chapas de 3 mm de espesor, sin preparación de borde.

					Dimensiones	Área ZF
					ZF (mm)	(mm <sup>2</sup> )
					Ancho: 3,02	7,81
					Medio: 2,56	
					Raíz: 2,18	
					h: 3	
Cordón	Potencia (W)	V( mm/s)	Penetración(mm)	Ancho cordón (mm)		
1	1227	2	3,00	3,3		

Plano focal sobre la superficie de la chapa

### III. Resultados

La Figura 4 muestra un cordón de soldadura con penetración completa, realizado bajo protección gaseosa de argón de 35 - 40 L/min, aplicando las condiciones de soldadura resumidas en la Tabla 5.

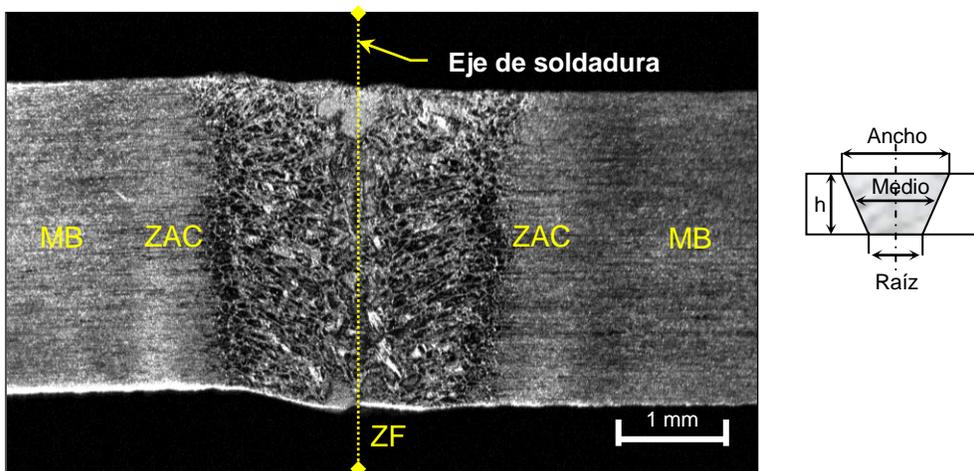


Figura 4. Imagen de MO de la sección transversal de una unión realizado en las condiciones resumidas Tabla 4, sin material de aporte. Las dimensiones del cordón aparecen a la derecha. ZF (zona fundida), ZAC (zona afectada por el calor), MB (metal base)



# “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

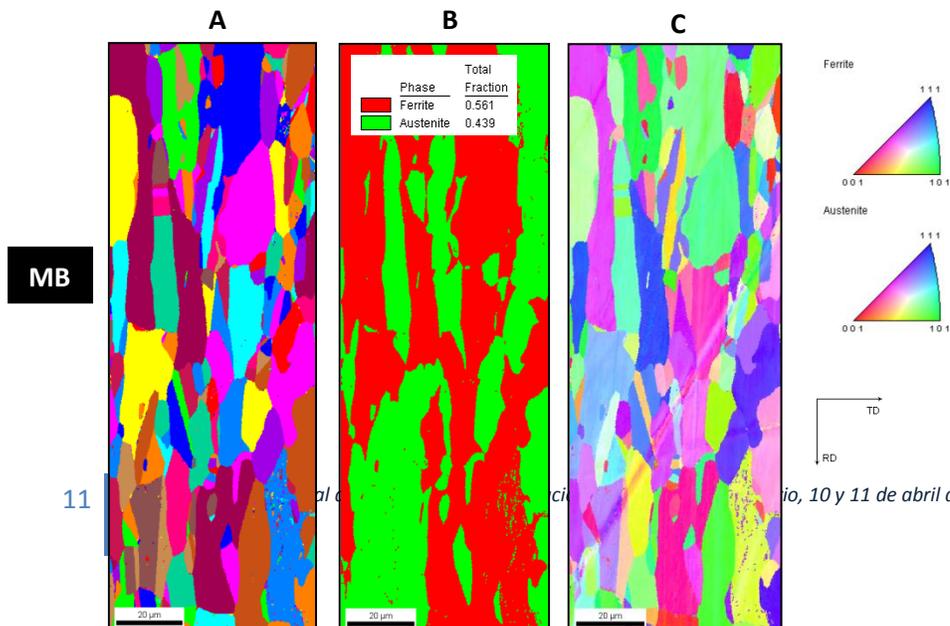
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Para entender los cambios en la estructura cristalográfica y la variación en la concentración de fases mayoritarias dentro de la ZF y en la ZAC en el cordón, se aplicó EBSD. El estudio de la microtextura y orientación de granos se realizó en una región estadísticamente representativa de la muestra.

El ensayo se llevo a cabo en un microscopio electrónico de barrido FEG/SEM, estableciendo condiciones medias de captura de los patrones de Kikuchi de 60 fps, con un índice de confianza superior a 0,20. Los resultados cuantitativos de la difracción realizada sobre el cordón ejecutado en las condiciones de soldadura anteriormente señaladas (tabla 4) y utilizando como referencia comparativa el acero de partida (MB), se muestran en la Figura 5. Los mapas de esta figura ilustran utilizando paletas de colores la variación de orientación cristalográfica de los granos cristalinos, cuál es la dirección de orientación más probable e incluso como es la distribución de fases antes y después de la unión.

Los granos equiaxiales observados en el metal base contrastan con el crecimiento de los granos columnares de la ZF. La combinación de granos de tipo columnares desarrollados y orientados en la dirección de solidificación, modifican la forma en que se orientan en el cordón en relación con el metal base.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

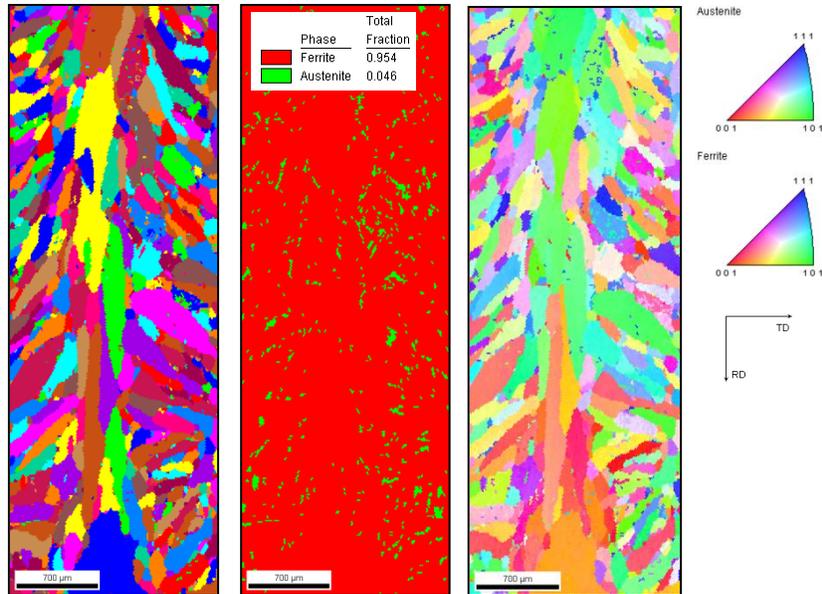
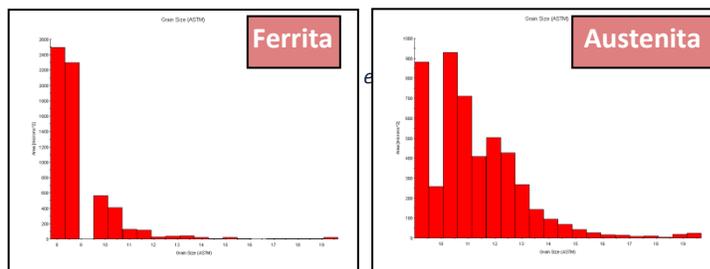


Figura 5. Análisis por EBSD de la sección transversal del cordón de soldadura (metal base, zona fundida). A. Mapas de la orientación de granos. B. Mapas de distribución y tabla de concentración de fases mayoritarias ( $Fe_{\alpha}$ ,  $Fe_{\gamma}$ ). C. Representación de diagramas polar inverso (IPF) para ambas fases.

Esta diferencia produce una heterogeneidad del comportamiento mecánico de la unión respecto al resto de la chapa. La fase austenita en el límite de grano y la diferencia de su comportamiento plástico respecto a la fase ferrita facilita la fluencia frente a cargas de flexión en dirección (001). La variación en el tamaño de grano medido dentro y fuera del cordón aparece resumida en la Tabla 6.





“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

**MB**

**ZF**

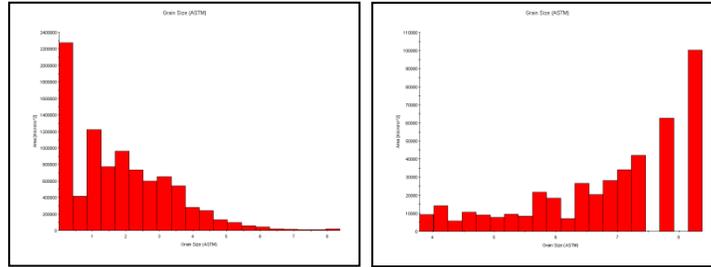


Figura 6. Histogramas de tamaño de grano ASTM medidos por EBSD.

Tabla 6. Número medio ASTM de tamaño de grano dentro y fuera del cordón.

Fase	G (Fe $\alpha$ )	G (Fe $\gamma$ )
MB	17,5455 $\pm$ 3,4209	16,8821 $\pm$ 3,1628
ZF	4,3723 $\pm$ 2,2313	7,6923 $\pm$ 0,8642

$G = -3.3223 \cdot \log_{10}(A) - 2.955$ . A es el área del grano en  $\text{mm}^2$ . G. F. Vander Voort (1999), Metallography Principles and Practice, Materials Park, OH: ASM International, pp. 442-446

El incremento del área del grano de la ZF, alcanza valores máximos para ambas fases  $\{2,2 \times 10^6 \mu\text{m}^2 (\text{Fe}\alpha)$  y  $1 \times 10^5 \mu\text{m}^2 (\text{Fe}\gamma)\}$ , reduciéndose así la longitud de frontera de grano que conduce a un desequilibrio en el límite de grano. Este cambio de la estructura es completamente opuesto al estado inicial, produciéndose un significativo descenso de las propiedades elásticas de esta zona, Figura 6. Este inconveniente fue observado en los ensayos de tracción realizados y en los perfiles de microdurezas.

El cambio más significativo, se observa en el mapa que representa la relación de fases mayoritarias en el cordón (Fe $\alpha$ , Fe $\gamma$ ). La pérdida de la fase austenita en el



# “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

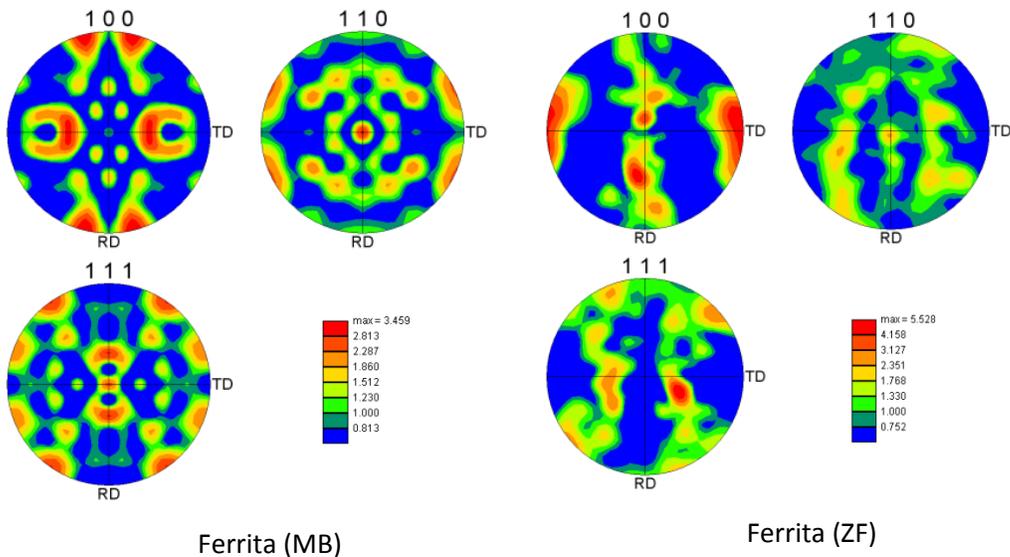
Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

cordón alcanza el 40 %. Este cambio en la concentración modifica el comportamiento mecánico y principalmente reduce la resistencia al ataque por corrosión bajo tensión en presencia de ión cloruro ( $Cl^{-1}$ ) [9]. La formación de austenita en el límite de grano ferrítico y en las regiones intragranulares se detecta tanto en el centro del cordón como en la zona límite  $ZF - ZAC$ , aunque la cantidad disminuye cerca de esta zona intermedia.

En la figura 7, se muestran las figuras del polo (PF), de la fase ferrita en el MB y la ZF para las orientaciones preferenciales  $\langle 100 \rangle$ . La barra de colores en cada caso indica la intensidad de la orientación en una escala adimensional. El color rojo indica cuan intensa es la orientación respecto al color azul aleatorio del fondo. Para el metal base no se observa una tendencia preferencial de una orientación con una textura muy pronunciada, aunque se observa, que la orientación (100) alcanzan un máximo de 3,5 veces la intensidad aleatoria del fondo. La elevada simetría que se observa, corresponden a relaciones de orientación conocidas de estructuras cristalinas como el hierro laminado.





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Figura 7: Figura del Polo del metal base y de la zona fundida para la fase ferrita en la orientación (100), (110) y (111).

En cambio, en la ZF aparece un máximo de orientación en la misma dirección (100), pero 5,5 veces más intenso, esta vez con una simetría desplazada hacia los extremos en dirección transversal (TD). Este comportamiento denota una orientación de grano cuyas normales a la caras del cubo (celda unidad), están alineadas con los ejes principales de la muestra. Este resultado no es positivo, ya que hace incompatible la orientación del MB con la de la ZF, perjudicándose específicamente las propiedades mecánicas de la unión cuando ésta se somete a cargas de flexión.

La pérdida de la concentración de la fase austenita en el centro del cordón hace reconsiderar la aplicación de calor de forma adicional para evitar el rápido enfriamiento y de esta forma propiciar los procesos difusivos que favorecen la formación de la fase austenita, tanto en los límites de grano ferrítico (*GBA*) como intra-granular (*IBA*).

De esta forma, se podrá alcanzar mejor equilibrio de fases en el cordón y a la vez realizar un acomodamiento de la microestructura, disminuyendo defectos de textura y normalizando las miso-orientaciones en el interior del grano.

### Conclusión

- La tecnología de soldadura láser aplicada al acero UNS S32205 bifásico, sin material de aporte produce, un significativo desequilibrio de fases en el cordón que limita su aplicación en piezas que requieran elevada resistencia a la corrosión.
- Un calentamiento simultáneo durante el proceso de soldadura puede reducir la velocidad de enfriamiento, y favorecer la formación de austenita en la ZF.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

- La diferencia de orientación preferencial entre MB-ZF, y el crecimiento de grano cristalográfico en la ZF, diversifica las misorientaciones intra-granulares intensificando el estado tensiones internas.
- La orientación preferencial de la ZF (100), alineada con los ejes principales de la muestra y la reducción en la longitud de frontera de grano, perjudican significativamente las propiedades mecánicas de la unión.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### V. Bibliografía

- [1] F.J. Mompéan. Soldadura con laseres. Fundamentos y equipos. Rev. Soldadura, 17, 2, 1987, p 59 - 70.
- [2] D. Valdez, P. Bilmes, A.González, J. Cuyas. Estado del conocimiento sobre la transferencia de calor en soldadura láser. Rev. Soldadura 21, 1, 1991, p 3 – 17.
- [3] Lin Li. The advances and characteristics of high-power diode laser materials processing. Optics and Lasers in Engineering 34, 2000, p 231 – 253.
- [4] Das P. Lasers and Optical engineering. New York:Springer-Verlag, 1991.
- [5] D. Séférian. Metalurgia de la Soldadura. Ediciones Dunod, 1962.
- [6] J.B. Polonio. Difracción de Rayos X, principios y aplicaciones. Ediciones Pirámide, S.A.- Madrid. ISBN 84-368-0180-63. 1981.
- [7] B.D Cullity, S.R. Stock. Elements of X-Ray Diffraction. Third edition. Prentice Hall, Inc. ISBN 0-201-61091-4. 2001.
- [8] P. Kugler, P. Hoffmann, M. Geiger. Low cost laser system for material processing, ICALEO'98 Proceedings, Vol. 85G. Laser Institute of America, 1998, p 85-94.
- [9] R.A. Walker, T.G. Gooch, Pitting Resistance of weld Metal for 22Cr-5Ni Ferritic-Austenitic Stainless Steel. British Corrosion Journal. Vol 26 (Nº1), 1991, p 51-59.