

Caracterización de uniones de acero DP590 obtenidas mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido E7018

Characterization of DP590 steel joints obtained by the electric arc welding process with E7018 coated electrode

Joaquín Pérez Ortiz ^a, Carlos E. Borja Soto ^b, Justo F. Montiel Hernández ^c, Rafael Granillo Macías ^d, José L. Rodríguez Muñoz ^e, Jorge Zuno Silva ^f

Abstract:

This paper presents preliminary results for determining the welding parameters for joints made of DP590 steel plates using manual electric arc welding with an E7018 coated electrode. Mechanical characterization was performed using Rockwell B hardness testing. Additionally, progress was made in the microstructural analysis of the base metal and the joining areas. From a DP590 steel plate with a thickness of 0.125", 2.5" x 1.5" pieces were obtained, which were used to make the backed joints. E7018 electrodes with a diameter of 0.156" were used with a flux consisting of calcium carbonate and fluorite. In order to experimentally determine the electric current intensities that can be used in the welding process, the values established were 70, 80, 90, 100, 120, 130, 140, 150, 160 and 170 A. The use of current intensities of 70 - 160 A was adequate to obtain the joints without perforating the base metal by undermining. In the case of the joint, a current intensity of 170 A was not adequate due to the perforation of the base metal. Qualitatively, an increase in the size of the heat affected zone was observed with increasing current intensity. The work does not include structural analysis by X-ray diffraction and analysis of mechanical tensile strength; which will be carried out in future works.

Keywords:

DP590, welding, hardness, ZAT, E7018

Resumen:

El presente trabajo contiene resultados preliminares para la determinación de los parámetros de soldadura para obtener uniones en placas de acero DP590 mediante la aplicación de soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido E7018. Fue realizada la caracterización mecánica mediante ensayos de dureza Rockwell B. Adicionalmente, fue realizado un avance en el análisis microestructural del metal base y las zonas de unión. A partir de una placa de acero DP590 con espesor de 0.125" fueron obtenidas piezas de 2.5" x 1.5", las cuales fueron usadas para hacer las uniones con respaldo. Fueron usados electrodos E7018 con diámetro de 0.156" con fundente constituido por carbonato de calcio y fluorita. Con la finalidad de determinar experimentalmente las intensidades de corriente eléctrica que pueden ser usadas en el proceso de soldadura, fueron establecidos los valores en 70, 80, 90, 100, 120, 130, 140, 150, 160 y 170 A. El uso de la intensidad de corriente de 70 – 160 A fueron adecuadas para obtener las uniones sin la perforación del metal base por socavado. En el caso de la unión con una intensidad de corriente de 170 A no resultó adecuada dada la perforación del metal base. Cualitativamente, se observó un incremento del tamaño de la zona afectada térmicamente al aumentar a la intensidad

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0001-3456-9209>, Email: pe445903@uaeh.edu.mx

^b Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-6890-6069>, Email: justo_montiel@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-1015-667X>, Email: rafaelgm@uaeh.edu.mx

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, Email: jose_rodriguez@uaeh.edu.mx

^f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: jorge_zuno@uaeh.edu.mx

de corriente. El trabajo no incluye análisis estructurales mediante difracción de rayos X y análisis de resistencia mecánica a la tensión; los cuales serán realizados en trabajos futuros.

Palabras Clave:

DP590, soldadura, microestructura, ZAT, E7018

Introducción

De acuerdo con Askeland et al. (2016), los aceros son aleaciones hierro-carbono, las cuales tienen un contenido de carbono entre 0.008% y 2.11% C en peso. Los aceros son clasificados de acuerdo a su concentración de carbono en aceros bajo carbono, medio carbono y alto carbono; con contenidos de carbono de 0.15 – 0.3, 0.3 - 0.6 y 0.6-2.11 % C en peso, respectivamente. También, son clasificados en aceros de baja aleación y alta resistencia, aceros inoxidables, aceros grado maquinaria y aceros grado herramientas.

El acero DP590 es usado en la industria automotriz para la fabricación de carrocerías, paneles y pisos. La composición química en peso de dicho material está constituida por: 0.060 – 0.120 % C, 1.600 – 2.000 % Mn, 0.200 % - 0.500 % Si, 0.020 - 0.060 % Al, 0.300 - 0.600 % Cr, 0.150 - 0.250 % Mo, 0.015 % - 0.050 % Nb, 0.010 – 0.040 % Ti, $0.025 \leq P$ y $0.015 \leq S$. El mismo acero tiene una resistencia la tensión de 590 MPa y una dureza Rockwell B, HRB = 85 – 95 (Kloekner metals, 2025).

Por otra parte, los procesos de soldadura son usados para obtener uniones permanentes en materiales metálicos que son usados en la industria de la transformación. La soldadura por arco eléctrico constituye un grupo de procesos de soldadura que producen la unión de los metales por el calentamiento generado mediante un arco eléctrico. Entre los procesos de soldadura por arco se encuentran: soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido y microalambre, entre otros. La selección y uso de los procesos de soldadura por arco eléctrico dependen de las características de los materiales a unir, tales como su grosor y composición química (De soldar, 2025).

El electrodo revestido E7018 es usado para unir aceros al carbono de baja aleación mediante el proceso de soldadura con electrodo revestido en estructuras, tuberías, entre otras aplicaciones. La composición química en peso (máximos) del electrodo E7018 corresponde a 0.120 % C, 1.600 % Mn, 0.750 % Si, 0.300 % Ni, 0.200 % Cr, 0.300 % Mo, 0.800 % V, 0.035 % S y 0.040 % P. La resistencia a la tensión del material depositado corresponde a 490 MPa, aproximadamente (Jet-arco, 2025).

El presente trabajo muestra resultados preliminares para la determinación de los parámetros de soldadura para obtener uniones en placas de acero DP590 en placas de 0.025" de grosor mediante la aplicación de soldadura por

arco eléctrico con electrodo revestido E7018. La selección del tipo de electrodo para la realización de las uniones fue basada en la compatibilidad en composición química entre los elementos presentes en los materiales, tales como C, Mn y Si. Además, que las aleaciones presentan bajos contenidos de P y S. Debido a que no hay información reportada en la literatura acerca de las propiedades de las uniones de acero DP590 y electrodo E7018, por lo tanto, resulta el motivo de investigación de este trabajo.

Los resultados de este estudio preliminar son analizados y discutidos a partir de los datos experimentales. Queda como trabajo futuro la realización de análisis microestructurales, estructurales y ensayos mecánicos de resistencia mecánica a la tensión.

Metodología

A partir de una placa de acero DP590 con espesor de 0.125" fueron obtenidas piezas de 2.5" x 1.5". Dichos fragmentos fueron usados para hacer uniones por medio del proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido con el uso de un electrodo de E7018 en 0.156" de diámetro. El arreglo de las uniones fue a tope, las intensidades de corriente aplicadas fueron 70, 80, 90, 100, 120, 130, 140, 150, 160 y 170 A. Fue usada una máquina soldadora de la marca Infra modelo MI2 350 con voltaje de corriente alterna a la salida de 75 v. Todas las uniones fueron obtenidas con un respaldo de acero DP590 con dimensiones de 2.5" x 1.5" x 0.125". Fue obtenida una unión para cada valor de intensidad de corriente.

El metal base y las uniones fueron caracterizadas microestructuralmente en un microscopio óptico marca Nikon modelo Eclipse, una vez realizada la preparación metalográfica de las probetas. También, fueron caracterizadas mecánicamente mediante ensayos de dureza Rockwell B de acuerdo a la norma ASTM E18 en un durómetro marca Hoytom.

Resultados

La Figura 1 muestra una imagen metalográfica correspondiente al acero DP590 usado como metal base para la realización de las uniones. Fue posible observar la

presencia de inclusiones no metálicas contenidas en el material.

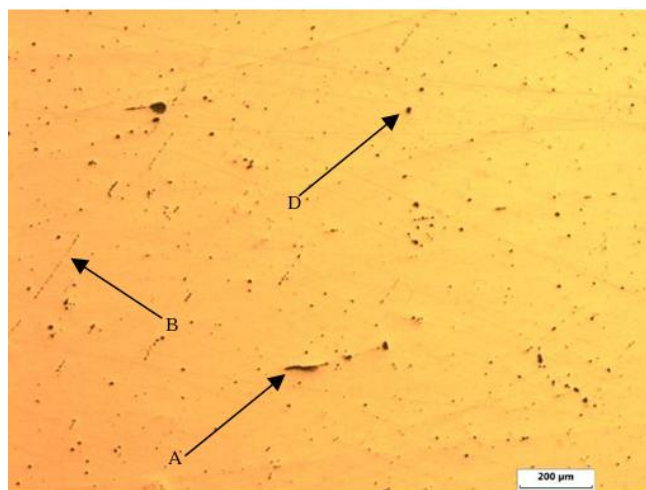


Figura 1. Inclusiones no metálicas en acero DP590 (5X). Las inclusiones A, B y D corresponden a los tipos sulfuro, alúmina y óxidos globulares, respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

Las inclusiones no metálicas de los tipos A, B y D fueron identificadas de acuerdo a la norma ASTM E45. Las inclusiones del tipo A, B y D correspondieron a inclusiones de sulfuros, óxidos de aluminio y óxidos globulares, respectivamente. Cabe mencionar que la presencia de inclusiones no metálicas en los aceros genera efectos perjudiciales en las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la fatiga, la reducción de la ductilidad, entre otras.

Fue posible obtener las uniones al usar una intensidad de corriente de hasta 160 A sin que ocurriera la perforación del metal base por socavamiento. La Figura 2 muestra la macroestructura de la unión de acero DP590 obtenida con una intensidad de corriente de 70 A. Cualitativamente, fue posible observar el crecimiento de la zona afectada térmicamente, ZAT, al incrementarse el valor de la intensidad de corriente en las uniones obtenidas. Aun cuando es posible obtener las uniones con una intensidad de corriente de hasta 160 A, resultó más adecuado usar una intensidad de corriente de 70 A para que el tamaño de la ZAT sea lo menos posible y así evitar una disminución de la resistencia mecánica de la unión debido al incremento del tamaño de grano en el metal base. El efecto del tamaño de la ZAT sobre la resistencia mecánica a la tensión queda como trabajo futuro para estudios posteriores. La Figura 3 muestra la unión obtenida a 170 A, la cual no fue adecuada debido la perforación del material DP590 con espesor de 0.125" como consecuencia de un exceso de aporte térmico. Cabe mencionar que la perforación por socavamiento puede ocurrir o no de acuerdo al espesor del material

implementado en el proceso de soldadura por arco que podrá ser estudiado en trabajos futuros.

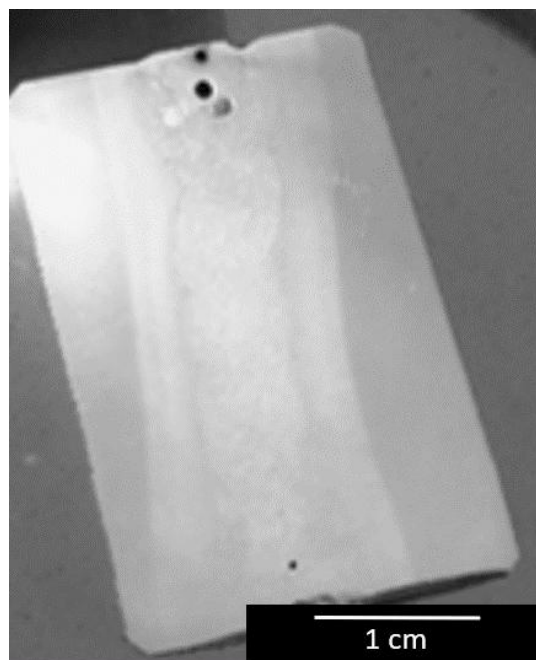


Figura 2. Macroestructura de la unión del acero DP590 realizada con $I = 70$ A. Fuente: Elaboración propia.

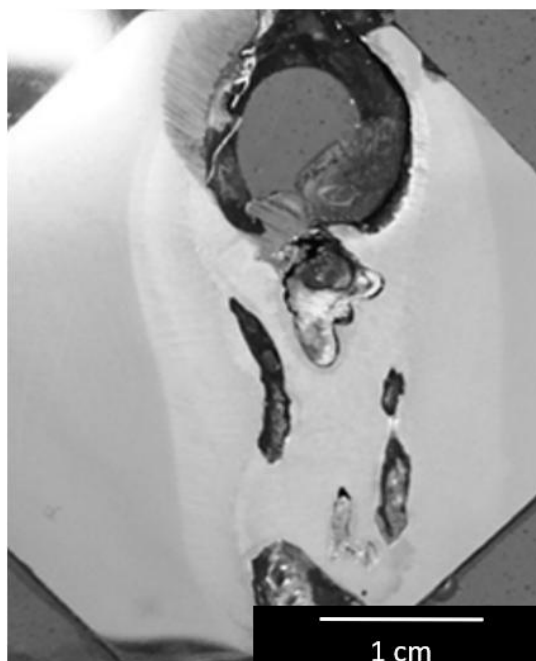


Figura 3. Macroestructura de la unión del acero DP590 realizada con $I = 170$ A. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 muestra los valores de dureza obtenidos al ensayar la zona afectada térmicamente en las uniones obtenidas para diferentes valores de intensidad de corriente. El error estándar sobre el promedio de los valores experimentales fue de $\sigma_x = 2.7$. El valor del error podría ser disminuido al aumenta la cantidad de

mediciones. La Figura 4 muestra una gráfica con los valores de dureza HRB en la ZAT obtenidos experimentalmente. En promedio el valor de dureza en la ZAT de las uniones obtenidas fue de 83.1 HRB; dicho valor es inferior al valor de dureza correspondiente al metal base DP560, HRB = 95.5 (10%, aproximadamente). La diferencia de propiedades mecánicas y microestructurales promueven la formación de fracturas en la interfase. Cabe mencionar que el incremento de temperatura en la ZAT recristaliza los granos alargados del metal base disminuyendo su dureza.

Tabla 1. Dureza HRB en la ZAT de las uniones. N, es el número de muestra. I, es la intensidad de corriente. L, son los valores dureza en la ZAT. P es el promedio de la dureza en la ZAT de las uniones. Fuente: Elaboración propia.

N	I	L1	L2	L3	L4	L5	L6	P
1	70	87.6	85.1	85.5	85.6	87.7	88.8	84.3
2	80	84.5	87.6	87.8	87.4	79.3	83.5	85.0
3	90	93.5	86.1	86.7	88.4	86.2	90.2	88.5
4	100	67.1	81.5	89.6	82.2	84.1	86	81.7
5	120	91.4	60.5	82.9	56.4	86.1	87.1	77.4
6	130	88.3	87.2	90.5	83.8	67.2	83.2	83.4
7	140	87.1	85.4	83.5	81.1	89.1	84.7	85.1
8	150	80.8	66.5	96.6	79.1	89.1	87	83.2
9	160	85.5	87.9	98.2	95.1	87.8	101.9	92.7
10	170	95.3	88.1	106.1	103.5	100.2	105.7	99.8

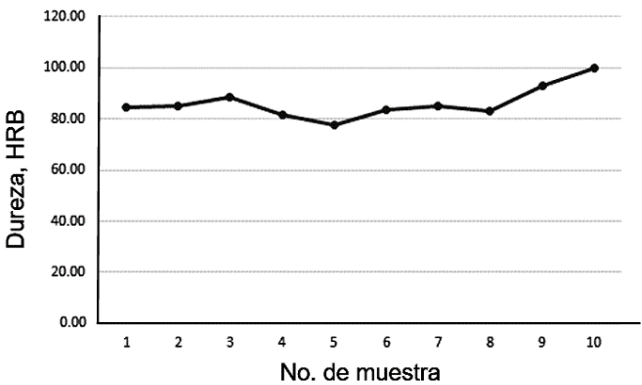


Figura 4. Valores de dureza HRB obtenidos en las ZAT de las uniones. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 contiene los valores de dureza HRB en los cordones de soldadura. Dónde, N, es el número de muestra. I, es la intensidad de corriente. C, indica la dureza en los cordones de soldadura. P es el promedio de la dureza. El error estándar sobre la media promedio de los valores experimentales fue de $\sigma_x = 3.4$, el cual podría ser disminuido al incrementar la cantidad de datos. El valor

promedio de la dureza en los cordones fue de 105.2 HRB, el cual es mayor a los valores de dureza del metal base (95.5 HRB) y las zonas afectadas térmicamente (83.1 HRB). Cualitativamente, el tamaño de la ZAT disminuiría la resistencia mecánica de la unión, por tanto, la unión realizada con una I = 70 A sería la más adecuada para realizar las uniones de los materiales planteados en el presente trabajo, ya que presenta la dureza más próxima al metal base (94.4 HRB), una diferencia de 2%. Los valores de la resistencia mecánica de las uniones serán obtenidos en trabajos futuros.

Tabla 2. Dureza HRB en el cordón de soldadura. N, es el número de muestra. I, es la intensidad de corriente, C, es los valores dureza en el cordón. P es el promedio de la dureza en el cordón de soldadura. Fuente: Elaboración propia.

N	I	C1	C2	C3	P
1	70	104.3	84.7	94.1	94.4
2	80	104.1	103.7	104	103.9
3	90	102.4	102.3	102.4	102.4
4	100	101	105.1	104.7	103.6
5	120	105.6	104.2	104.1	104.6
6	130	106.2	104.1	116.6	109.0
7	140	103.2	103	105.1	103.8
8	150	103.9	104.2	105.2	104.4
9	160	101.3	104.1	105.6	103.7
10	170	104.8	103.2	105.2	104.4

La Figura 5 muestra los datos graficados que están contenidos en la Tabla 2, los cuales corresponden a los valores de dureza HRB en el cordón de soldadura que fueron obtenidos experimentalmente.

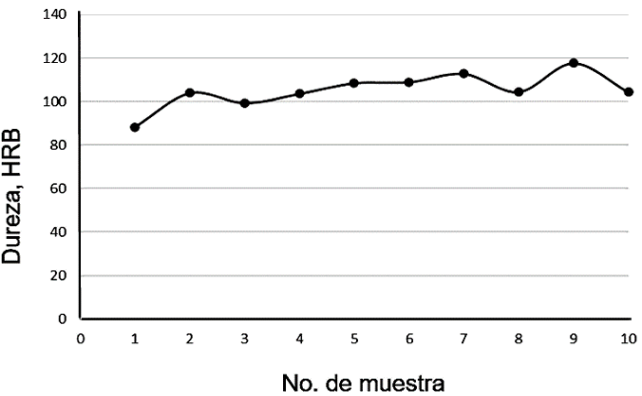


Figura 5. Valores de dureza HRB obtenidos en los cordones de las uniones. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6 muestra la microestructura del acero doble fase DP590. Es posible observar los granos de ferrita rodeados por fase martensita. También, se observaron los

granos alargados debido al proceso de laminación en frío aplicado en la fabricación del material. El acero dúplex DP590 presenta una microestructura constituida de ferrita y martensita.

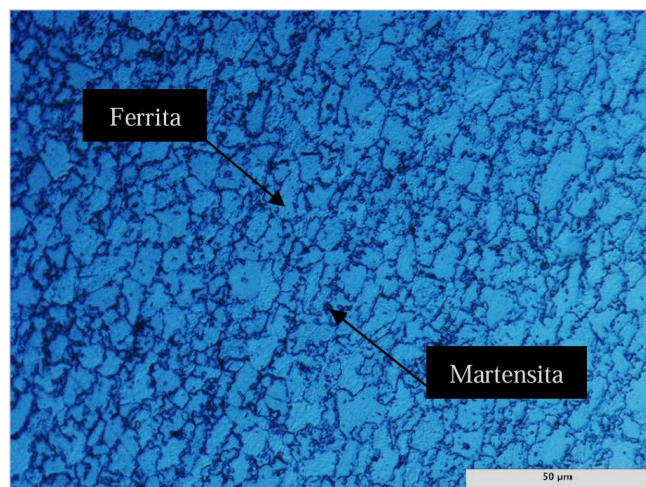


Figura 6. Microestructura del acero DP590 (20X). Granos de ferrita rodeados de martensita. Fuente: Elaboración propia.

La fase ferrita es blanda y dúctil, la cual, constituye la fase matriz en el material. Por otra parte, la martensita es una fase dura y resistente mecánicamente puede localizarse en los límites de grano o dentro de los mismos (John, 2025). La Figura 7 muestra las microestructuras en la unión del acero DP590 con electrodo E7018. Es posible observar la microestructura del cordón de soldadura, la interfase ZAT – cordón y la microestructura de la ZAT.

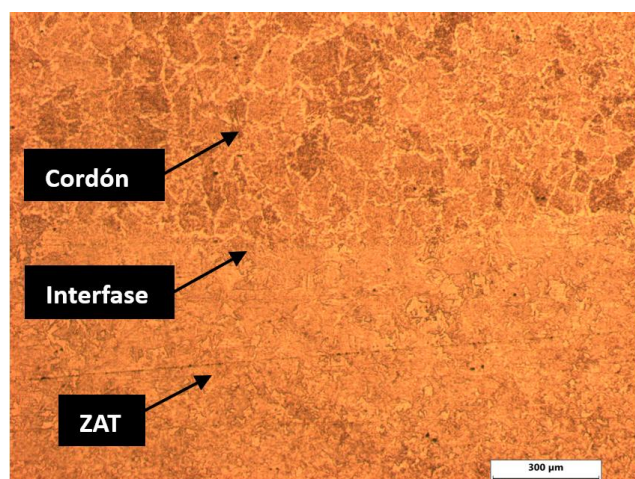


Figura 7. Microestructuras correspondientes al cordón de soldadura y ZAT en la unión del acero DP590 con electrodo revestido E7018 (10X). Fuente: Elaboración propia.

Cualitativamente, es posible identificar que el cambio en los valores de dureza es debido a los cambios

microestructurales en la zona de unión por efecto del aporte térmico; este último dependiente de la intensidad de corriente eléctrica que es ajustada para generar el arco eléctrico. La identificación y cantidad de las fases formadas al finalizar el proceso de soldadura será abordado en trabajos posteriores de caracterización estructural mediante la técnica de difracción de rayos X.

Conclusiones

Fue posible la obtención de uniones con el acero DP590 mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido y el uso del electrodo E7018. El uso de intensidades de corriente en el rango de 70 a 160 A permitieron la obtención de las uniones. El uso de valores de intensidad de corriente iguales o superiores a 170 A no es adecuado, ya que ocurre el socavado del metal base y la perforación del mismo. Cualitativamente, fue posible identificar el incremento del tamaño la ZAT con el incremento de la intensidad de corriente. El valor de intensidad de corriente más adecuado es $I = 70$ A; ya que cualitativamente generaría la ZAT de menor tamaño debido al valor más bajo de dureza en promedio, 83.1 HRB y la dureza obtenida en el cordón de soldadura aplicado a 70 A obtuvo el valor de dureza más aproximado al metal base, 94.4 HRB.

Referencias

- Askeland, D. R. (2011). Ciencia e Ingeniería De Materiales (6a ed.). Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- De Soldar Inversora, M. (s/f). Manual de Usuario. Indura.cl. Recuperado el 2 de abril de 2025, de <https://www.indura.cl/content/storage/cl/producto/8c6bdf01c0ea4b689458540c82b3cb0f.pdf>
- Dual phase steel. (2021, mayo 20). Kloeckner Metals Corporation. <https://www.kloecknermetals.com/products/ahss-uhss/dual-phase-steel/>
- Groover, M. P. (2019). Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems. John Wiley & Sons.
- Jet-arco. Cdn.bauhaus. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de https://media.cdn.bauhaus/m/531672/BH_DOC_531672.pdf
- John. (2025, febrero 5). Dual phase steel DP590 steel coils. SteelPro. <https://steelprogroup.com/automotive-steel/dp590-coils/>