

Soldadura de electropunto en láminas de acero galvanizadas por inmersión en caliente.

Una revisión bibliográfica

Electro-spot welding on hot-dip galvanized steel sheets. A bibliographic review

José Agustín Andrade Infante

<https://orcid.org/0000-0001-9032-7557>

jandrade@unexpo.edu.ve

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” UNEXPO

Barquisimeto, Venezuela.

Resumen

La corrosión ejerce una desventaja sobre el acero en comparación sobre otros materiales, debido a que puede generar concentradores de tensión producto de la oxidación del hierro cuando el material está en ambientes severos. Una técnica que puede contrarrestar este efecto es la galvanización por inmersión en caliente, la cual consiste en recubrir con zinc para que se pueda ofrecer en dicha corrosión. El proceso consiste en sumergir la lámina de acero, previamente preparada, en un baño de zinc a 450°C aproximadamente. Esta lámina de acero galvanizado tiene muchas aplicaciones, por lo que un método de ensamblaje es la soldadura por electropunto. Por lo cual, el objetivo general de esta investigación es analizar las características de la soldadura electropunto en láminas de acero galvanizado por inmersión en caliente. La metodología aplicada se basó en técnicas de información documental y bibliográfica. Los resultados obtenidos se basaron en describir las características de la soldadura por electropunto, identificar los parámetros de dicha soldadura y describir la microestructura de la soldadura de electropunto del acero galvanizado por inmersión en caliente. Como conclusión la soldadura de electropunto realiza un punto de soldadura por efecto de la corriente eléctrica, presión ejercida por unos electrodos y un tiempo de trabajo durante esa fuerza ejercida por los electrodos, donde el acero galvanizado ofrece más resistencia al paso de corriente por lo que se debe vencer aplicando mayor intensidad de corriente y por ende genera aún mayor calor, lo que es probable que pueda perderse el recubrimiento sino se controlan las variables, estas últimas dependen de la composición del material y del espesor del recubrimiento, con el fin de formar microestructuras como la zona fundida y la zona afectada por el calor, la cual contiene una zona de grano grueso y una zona interdendrítica.

Palabras Clave: acero, galvanizado, recubrimiento, soldadura electropunto.

Abstract

Corrosion exerts a disadvantage on steel compared to other materials, because it can generate stress concentrators due to iron oxidation when the material is in severe environments. A technique that can counteract this effect is hot-dip galvanization, which consists of coating with zinc so that it can be offered in such corrosion. The process consists of immersing the previously prepared steel sheet in a zinc bath at approximately 450 ° C. This galvanized steel sheet has many applications, so an assembly method is electropoint welding. Therefore, the general objective of this research is to analyze the characteristics of electropoint welding on hot-dip galvanized steel sheets. The applied methodology was based on documentary and bibliographic information techniques. The results obtained were based on describing the characteristics of the electropoint weld, identifying the parameters of said welding and describing the microstructure of the electropoint welding of hot-dip galvanized steel. In conclusion, electropoint welding performs a welding point due to the effect of electric current, pressure exerted by electrodes and a working time during that force exerted by the electrodes, where galvanized steel offers more resistance to the passage of current, so it must be overcome by applying a higher current intensity and therefore generates even more heat, which is likely that the coating may be lost if the variables are not controlled, the latter depend on the composition of the material and the thickness of the coating, in order to form microstructures such as the molten zone and the heat affected zone, which contains a coarse-grained zone and an interdendritic zone.

Keywords: steel, galvanized, coating, electropoint welding.

Introducción

La corrosión es un factor importante para tomar en cuenta cuando el material metálico es sometido a ambientes severos, en especial los aceros. Se estima que los costos de la corrosión representan alrededor del 4% del PIB de las naciones industrializadas, porcentaje que tiende a ser mayor en las economías de los países emergentes (CEMESA, 2014).

Esta situación es producto de que existe una pérdida del material producto por las picaduras que ejerce los medios sobre el acero. La corrosión se puede definir como el deterioro de un material por reacción con su medio ambiente en el cual se produce daño, a sus alrededores o en el sistema técnico en el que están incluidos, con el tiempo (LATIZA, 2013).

Para que suceda esta destrucción del metal es necesario comprender como surge el óxido de hierro en la superficie del metal la cual es producto de un fenómeno electroquímico. Existe un diferencial de potencial eléctrico que se genera en la superficie, que involucran ánodos, cátodos y un electrolito, y es causado por las variaciones en la composición de la estructura, la presencia de impurezas, tensiones internas irregulares y de un ambiente no uniforme (AGA, 1996). En la Figura 1 se detalla este proceso corrosivo en la superficie del acero.

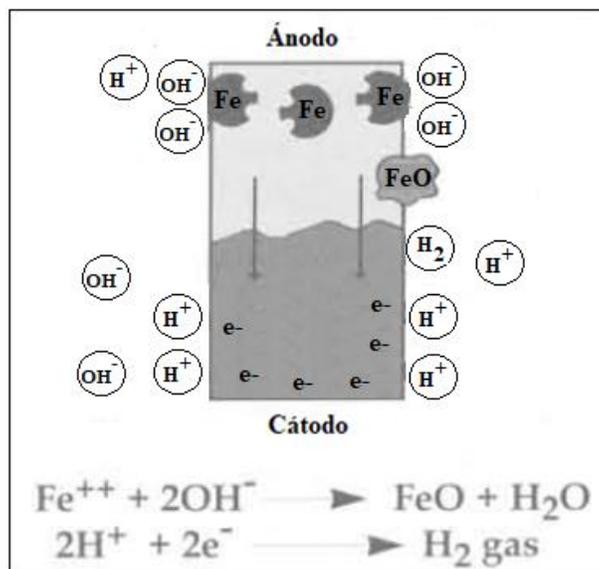


Figura 1. Proceso corrosivo en la superficie del acero. Fuente: (AGA, 1996)

Estas diferencias al estar en presencia de un electrolito (un medio para conducir iones) crean células de corrosión. Estas células de corrosión están formadas por ánodos y cátodos microscopicos. Debido a las diferencias de potencial que existen dentro de las células, los electrones cargados negativamente fluyen del ánodo al cátodo, y los átomos de hierro que están en el área del ánodo se convierten en iones de hierro cargados positivamente. Los iones de hierro (Fe^{++}) del ánodo, se atraen y reaccionan con los iones hidroxilo cargados negativamente (OH^-) que están en el electrolito formando óxido de hierro (FeO). Los electrones cargados negativamente (e^-) de la superficie del cátodo reaccionan con los iones hidrógeno cargados positivamente (H^+) que están en el electrolito formando gas hidrógeno. (AGA, 1996, pág. 2)

Para contrarrestar este efecto de la corrosión existen varias técnicas que permiten una protección. Estas son llamadas tratamientos de superficie, la cual consiste en aplicar un recubrimiento metálicos sobre la superficie del acero para protegerlo. Una de estas técnicas es el galvanizado por inmersión en caliente. El galvanizado en caliente, como proceso industrial para la protección del acero contra la corrosión, se remonta a más de 150 años, cuando entre 1836 y 1837 aparecen las primeras patentes del proceso en Francia e Inglaterra (Rico & Carrasquero, 2017).

Esta técnica permite que el zinc se ofrezca en el proceso corrosivo en vez del hierro del acero. El proceso consiste básicamente sumergir el acero a recubrir, en una cuba donde se encuentra el zinc fundido (ACESCO, 2000). Aunque, el Zinc funde a 419°C se utiliza para el baño 450°C pues es en ese instante que el acero y el zinc tiene mayor afinidad y por difusión forma Zn-Fe sobre la superficie de la pieza (Rueda Romero, 2014). En la Figura 2 se puede observar el procedimiento para el galvanizado por inmersión en caliente.

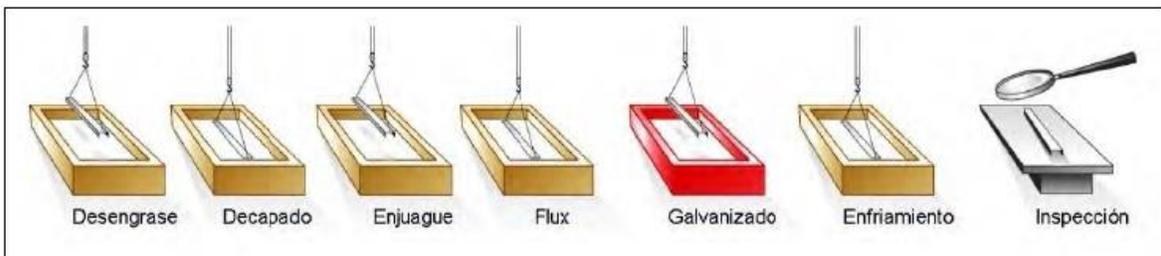


Figura 2. Procedimiento para el galvanizado por inmersión en caliente. Fuente: (CEMESA, 2014)

Existen razones por la cual el zinc es utilizado como recubrimiento metálico sobre el acero. Uno de los más importantes es la acción consumible del zinc la cual protege al acero, aún en

donde el recubrimiento este dañado o tenga pequeñas discontinuidades (AGA, 1996). Es decir, cuando el acero se ha quedado localmente desprotegido, la capa de zinc, en presencia de aire y humedad, genera carbonatos de zinc que se acumulan en la zona desnuda del acero cubriéndola y aislándola de la humedad y del ambiente (CEMESA, 2014). Esto se puede visualizar en la Figura 3.

Durante un período de tiempo esta superficie se oxida a óxido de zinc (ZnO) en el aire. Esta se convierte rápidamente en hidróxido de zinc ($Zn(OH)_2$) por la humedad en la atmósfera. Ambos productos de corrosión son solubles y se lava fácilmente en la superficie por la lluvia o condensación. El recubrimiento protector final sobre la superficie de zinc es la conversión, en el aire que fluye libremente, de ZnO y $Zn(OH)_2$, a carbonato de zinc insoluble y denso ($ZnCO_3$). (LATIZA, 2013, pág. 4)

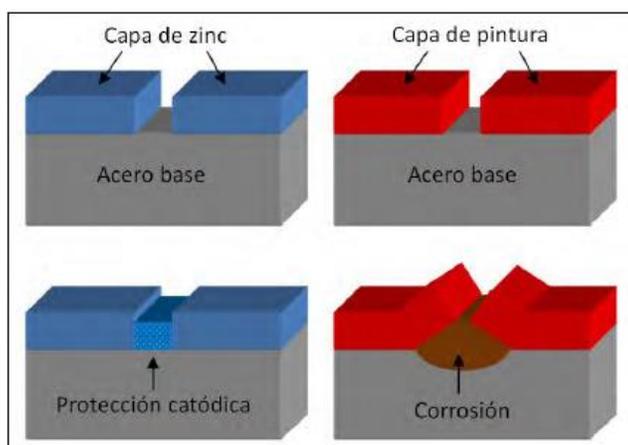


Figura 3. Protección del zinc después de que romperse la capa de galvanizado. Fuente: (CEMESA, 2014)

Una de las características de este recubrimiento son las estructuras que se forman dentro del mismo. Estas son llamadas fases intermetálicas. En la Figura 4 Estas proporcionan un alto grado de vinculación entre el sustrato de Acero y el Zinc, estos son duros y frágiles, por lo tanto, cuando se pretende deformar el material base, existe una alta probabilidad de que se desarrollen grietas en el recubrimiento de Zinc (Rico Oviedo, 2012). Esto sin duda es una de las debilidades de este tipo de técnica.

Estas fases intermetálica tiene gran importancia en las propiedades del recubrimiento, por lo que estas son: Gamma (Γ), Delta (δ), Zeta (ζ) y una capa exterior de Eta (η). En la Figura 4 y Tabla 1 se detalla cada una de estas fases.

Uno de los aspectos a destacar del recubrimiento de zinc es que su tendencia es prolongada en años dependiendo del área de trabajo que se encuentre el material galvanizado. Por ejemplo, la resistencia contra la corrosión depende del espesor del recubrimiento, por lo que la velocidad de corrosión del zinc se produce de forma lineal lo cual permite estimar la vida útil del revestimiento mediante las evaluaciones de su espesor (CEMESA, 2014). Esto se puede observar en la Figura 5.

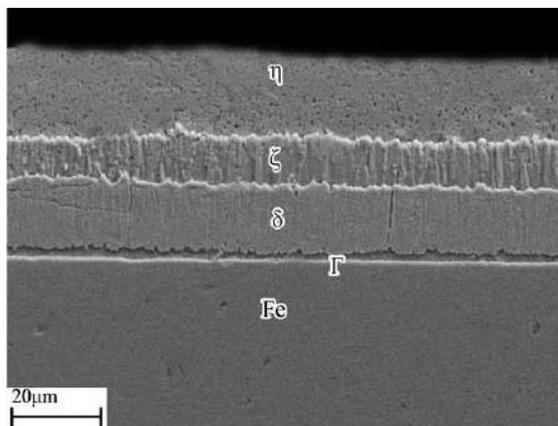


Figura 4. Micrografía del recubrimiento de galvanizado por inmersión en caliente. Fuente: (Lu, Che, Kong, Xu, & Jinhong, 2006)

Tabla 1.

Fases intermetálica presentes en el recubrimiento de galvanizado por inmersión en caliente.

FASES	CARACTERÍSTICAS
Fase Gamma (Γ)	Es apreciable cuando se galvaniza con un tiempo de inmersión grande, debido a que requiere un tiempo de incubación, en la mayoría de los casos, sólo se observa como una línea entre el Acero y fase Delta. Tiene un amplio rango de solubilidad en estado sólido y sus límites han sido descritos como $\text{FeZn}_3\text{-Fe}_5\text{Zn}_{21}$, dando una composición “promediada” de $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$.
Fases Delta (δ) y Zeta (ζ)	Las fases Delta (δ), aproximadamente FeZn_{10} , y Zeta (ζ), aproximadamente FeZn_{13} , son visibles e intermedias, a menos que se haya añadido Aluminio al baño de galvanización ya que este disminuye notablemente la reactividad del Zinc y se limita la formación de estas fases. Estos compuestos son frágiles, y, si el material se deforma teniendo un gran espesor de recubrimiento, se formarán grietas en el depósito.
Fase Eta (η)	Es una solución sólida de Zinc, puede desaparecer si el material después de galvanizado, se somete a un tratamiento térmico que favorece el crecimiento de la fase Zeta a expensas de la Eta.

Fuente: (Rico Oviedo, 2012)

Una de las aplicaciones de la laminas de acero con recubrimiento de galvanizado por inmersión en caliente es el área automotriz. En esta industria, la soldadura de electropunto juega un papel importante debido a que no permite la evaporización del zinc, como sucede con otros procesos de soldadura convencionales.

Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es analizar las características de la soldadura electropunto en láminas de acero galvanizado por inmersión en caliente. La metodología aplicada se basó en técnicas de información documental y bibliográfica.

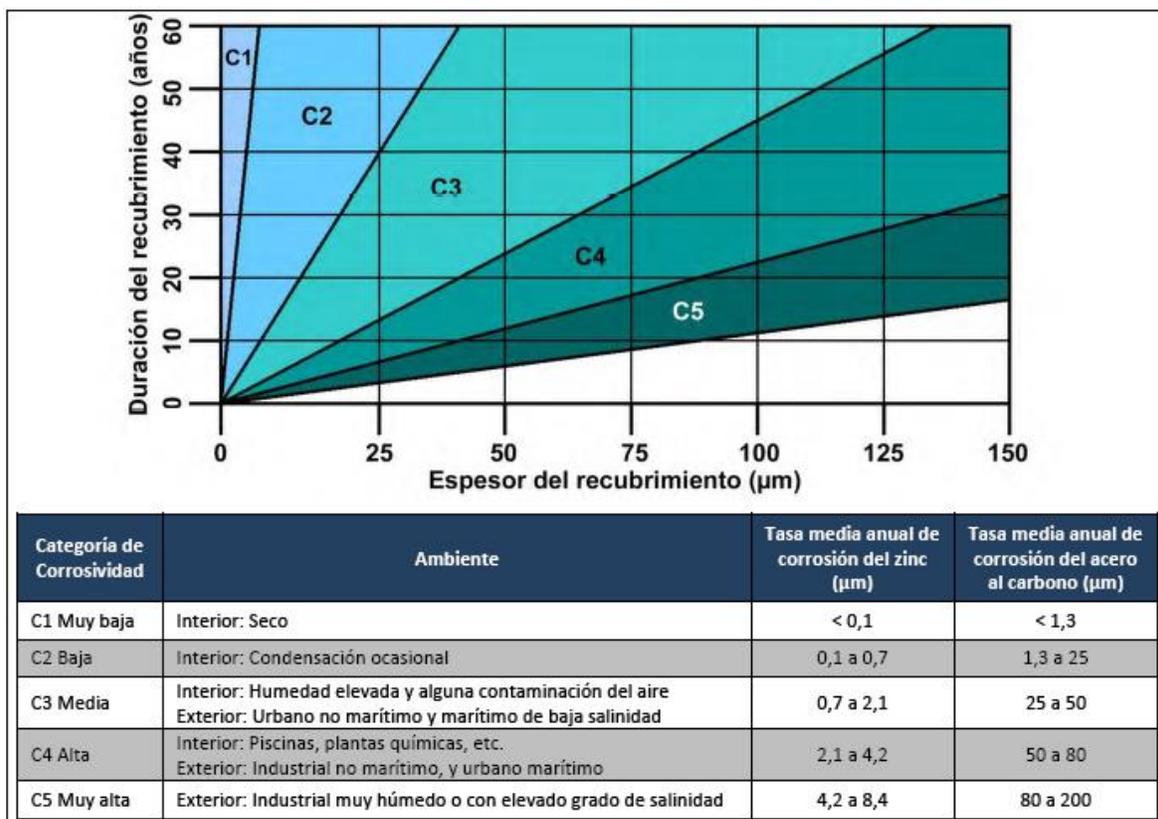


Figura 5. Duración de la capa de zinc de acuerdo al espesor y tipo de ambiente corrosivo. Fuente: (CEMESA, 2014)

Método

La metodología aplicada se baso en técnicas documentales y bibliográficas a través de la utilización de herramientas como textos, documentos y artículos científicos publicados disponibles en la web. Para la consecución del objetivo general se planteó desarrollar un procedimiento que consiste en establecer las características del galvanizado por inmersión en

caliente, describir las características de la soldadura por electropunto, identificar los parámetros de dicha soldadura y describir la microestructura de la soldadura de electropunto del acero galvanizado por inmersión en caliente.

Resultados

Este tipo de soldadura difiere de las convencionales porque el electrodo no es consumible y además no requiere de gas protector. Se realiza mediante un proceso en el cual se genera el calor necesario para soldar, por la resistencia al paso de una corriente eléctrica, además se requiere la aplicación de presión mecánica para unir las partes por forjado (Horwitz, 1990).

La presión y la energía eléctrica son fundamentales en el proceso. Para obtener una buena soldadura, se aplica presión hasta que se elimina la corriente, por lo que es esencial el control exacto y la sincronización de estas dos variables (Kalpakjian, 2002). La presión refina la estructura de los cristales, y produce una soldadura con propiedades físicas que en la mayoría de los casos son iguales, y a veces superiores a las del metal base (Horwitz, 1990). Este proceso se puede observar en la Figura 6.

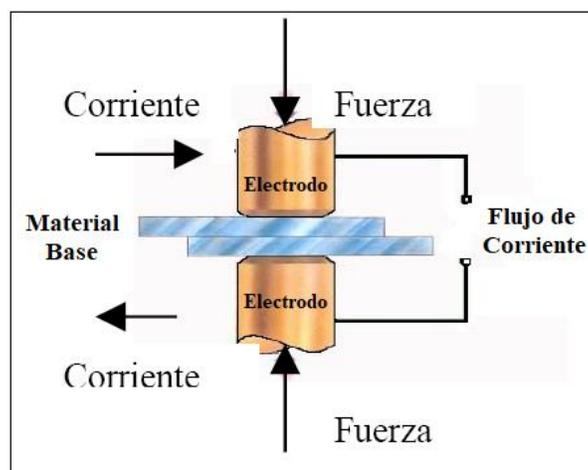


Figura 6. Esquema de la soldadura por electropunto. Fuente: (Esquivel Hernández, 2009)

Los parámetros utilizados en este proceso de soldadura son la corriente a utilizar, la presión ejercida por medio de los electrodos y el tiempo de trabajo entre el material base y dichos electrodos. El tiempo de trabajo corresponde al tiempo de compresión, al tiempo de soldadura

y al tiempo de mantenimiento de la presión. Estos tiempos se detallan en la Tabla 2. Esto produce un ciclo de soldadura por puntos que cada vez se realizara cuando se efectuó la presión sobre el material base. En la Figura 7 se puede detallar este ciclo.

Tabla 2.

Características de los tiempos en la soldadura por electropunto.

TIEMPOS	CARACTERÍSTICAS
Tiempo de compresión	El tiempo comprendido entre la aplicación inicial de la presión del electrodo sobre la pieza de trabajo, y la primera aplicación de la corriente al hacer soldaduras de puntos y de costura por soldadura por resistencia y en la soldadura de piezas salientes o de juntas de deformación.
Tiempo de soldadura	El tiempo en que pasa la corriente de soldar a través de las partes que se estén uniendo, el cual se expresa ordinariamente en ciclos. Por ejemplo, un conjunto de 0,125pulg de espesor, de acero SAE 1010, que corriente, de frecuencia de 60Hz, el tiempo de soldadura sería de 10 ciclos, o $10 \text{ c}/60\text{Hz} \text{ (c/s)} = 1/6\text{seg.}$
Tiempo de mantenimiento de la presión	El tiempo durante el cual se sigue aplicando presión en el punto de soldadura, después de haber cesado el paso de la corriente de soldar. Este tiempo tiene por objeto permitir que se enfríe o endurezca la pequeña región plástica de soldadura, después de lo cual se suprime la presión y se retira la punta.

Fuente: (Horwitz, 1990)

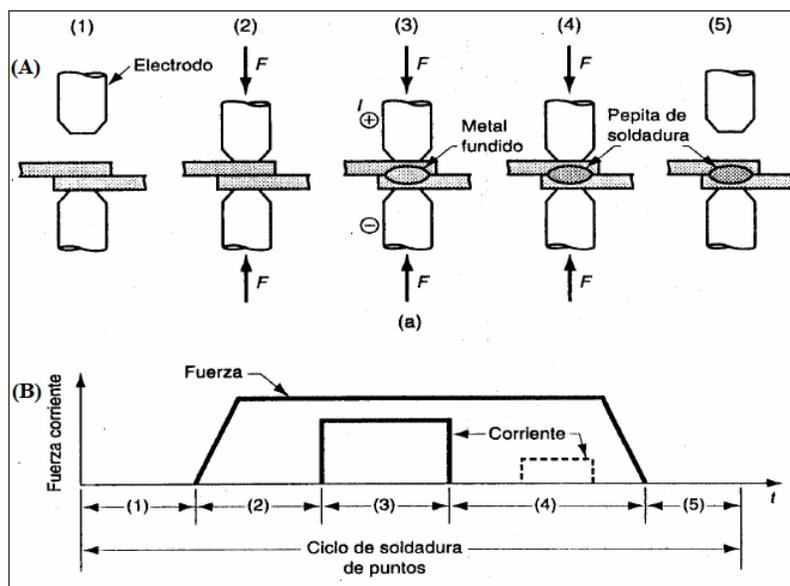


Figura 7. (A) Pasos en un ciclo de soldadura de puntos, y (B) gráfica de la fuerza de presión y la corriente durante el Ciclo. La secuencia es: (1) partes insertadas entre los electrodos abiertos, (2) los electrodos se cierran y se aplica una fuerza, (3) tiempo de soldadura (se activa la corriente), (4) se desactiva la corriente, pero se mantiene o se aumenta la fuerza (en ocasiones se aumenta una corriente reducida cerca del final de este paso para liberar la tensión en la región de la soldadura) y (5) se abren los

electrodos y se remueve el ensamble soldado. Fuente: (UMSS, 2004)

Existen consideración para poder realizar un proceso de soldadura correctamente. La resistencia de la unión depende de la rugosidad y la limpieza de las superficies de los materiales, por lo que no debe existir aceite, pintura o capas gruesas de óxido antes de soldar (Kalpakjian, 2002).

Después de realizar el proceso de soldadura, el material queda unido a través de la formación de la pepita que no es más que el punto de soldadura. El punto de soldadura tiene en general de 6 a 10mm de diámetro y las corrientes van desde 3000 a 40000Amp donde va a depender de los materiales y espesores (Kalpakjian, 2002). En la Figura 8 se puede visualizar el esquema de la formación del punto de soldadura.

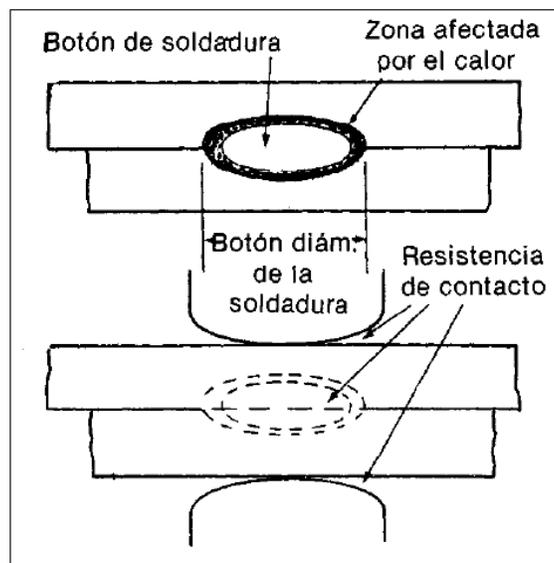


Figura 8. Esquema de la formación del punto de soldadura. Fuente: (Horwitz, 1990)

El tamaño y la forma del punto de soldadura se determina por medio de la punta de electrodo, la forma de electrodo más común es redonda; pero también se usan formas hexagonales, cuadradas y otras. La pepita de soldadura resultante tiene normalmente un diámetro de 5 a 10 mm, con una zona afectada por el calor que se extiende un poco más allá de la pepita dentro de los metates base. (UMSS, 2004, pág. 307)

De esta Figura 7 se puede detallar una resistencia de contacto. Esto es producido cuando la corriente que circula por los electrodos toca el metal base y hace generar obstáculo que disipa la energía. Cada obstáculo es considerado una resistencia al paso de la corriente. El calor

generado es directamente proporcional al valor de la resistencia y aumenta el cuadro de los valores de la intensidad, o sea, con doble de resistencia doble calor y con doble intensidad, cuatro veces más calor (Esquivel Hernández, 2009). En la Figura 9 se detalla las resistencias presentes al momento de la soldadura por puntos y la Tabla 3 refleja las características de los mismos.

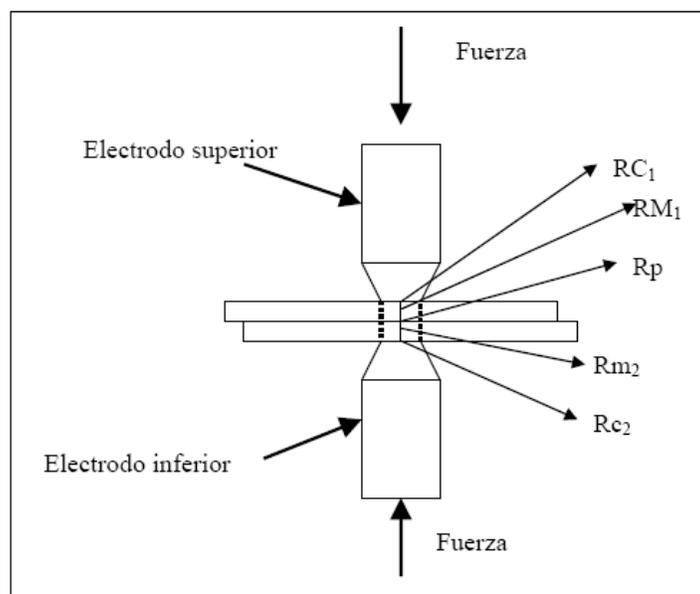


Figura 9. Esquema de las resistencias en el proceso de soldadura electropunto. Fuente: (Esquivel Hernández, 2009)

Tabla 3.

Características de las resistencias presentes al momento de la soldadura por puntos.

RESISTENCIA	CARACTERÍSTICAS
Rp	Esta es la resistencia de contacto entre las piezas a soldar y donde nos convendría que se deposite toda la energía, el calor, durante el proceso.
Rm1 y Rm2	Estas son las resistencias propias del material a soldar y no se puede actuar sobre ellas. En frío, al inicio de la soldadura, estas resistencias tienen un valor pequeño que se multiplica por aprox. 10 al aumentar la temperatura generando un calor inevitable y necesario que poco después de iniciar el proceso será el principal componente de calor aplicado a la soldadura.
Rc1 y Rc2	Estas son las resistencias de contacto del electrodo de la pieza. La energía, el calor, que se disipa en esas zonas debido a esas resistencias es la principal causa de problemas. Reducir esta resistencia es primordial para alargar la vida de los electrodos y reducir las huellas en la superficie de las piezas. El esfuerzo aplicado a la soldadura reduce su valor en mayor proporción que el de la Rp.

Fuente: (Esquivel Hernández, 2009)

Cuando la soldadura de electropunto es realizada sobre un acero galvanizado por inmersión en caliente se produce mayor resistencia debido a que el recubrimiento de zinc ejerce un

efecto de rechazo de la corriente que circula produciendo aún más calor. Para este tipo de material es necesario que los parámetros de soldadura sean más bajos que los de aceros sin recubrimiento para evitar la evaporización del zinc y así no crear concentradores de tensiones en dicha zona. la zona de resistencia para este acero galvanizado se muestra en la Figura 10.

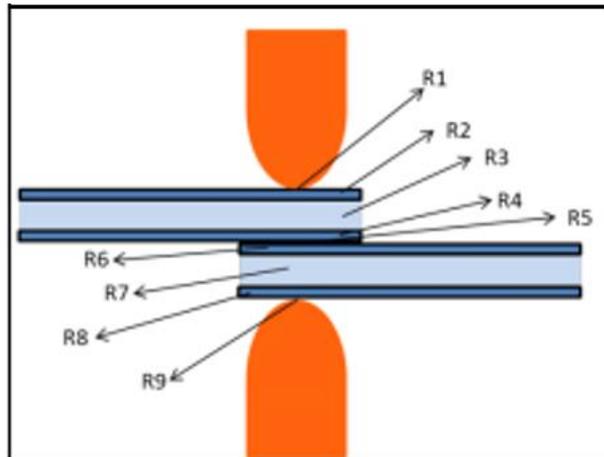


Figura 10. Esquema de la soldadura por electropunto en una lámina de acero galvanizado por inmersión en caliente. Fuente: (Andrade & Rico, 2018)

Existen 4 puntos de resistencia más que los encontrados con una lámina de acero sin recubrimiento. Es decir, los puntos de resistencia en el acero galvanizado son: R2 y R4 en el recubrimiento de cinc de la lámina superior y, R6 y R8 en el recubrimiento de cinc de la lámina inferior.

Del mismo modo, los parámetros afectan la morfología de la microestructura presente en el acero galvanizado. Existen zonas características de este tipo de estructura las cuales se distinguen la zona de fusión (ZF), la zona afectada por el calor (ZAC) donde habitan dos zonas que son la zona de grano grande (ZGG) y la zona interdendrítica (ZIC). Estas se pueden visualizar en la Figura 11, así como también se describen en la Tabla 4.

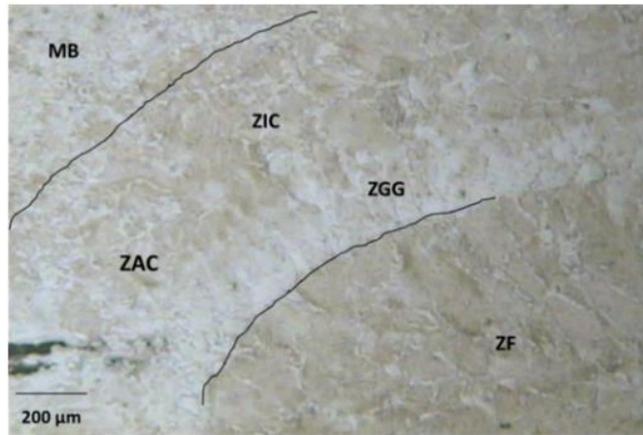
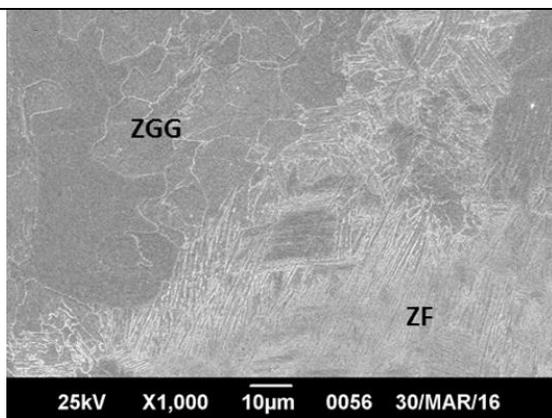
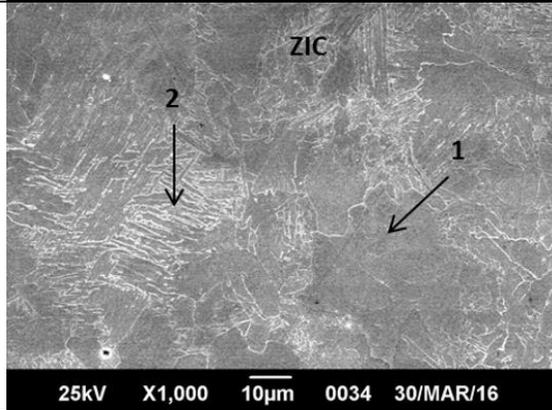
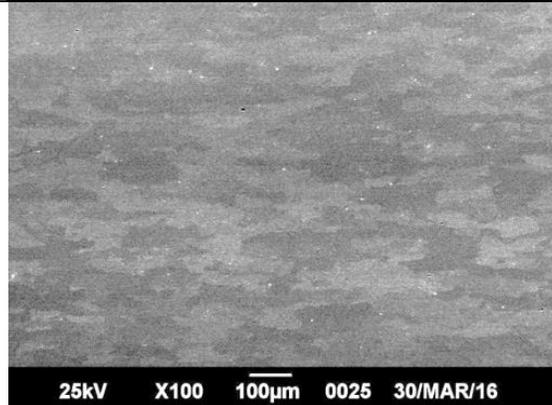


Figura 11. Micrografía óptica de la soldadura por electropunto con recubrimiento G35, se muestran la zona de fusión (ZF), la zona afectada por el calor (ZAC): Zona de grano grueso (ZGG) y la zona intercrítica (ZIC); y el material base (MB). Fuente: (Andrade & Rico, 2018)

Tabla 4.

Microestructuras presentes de la soldadura de electropunto en lámina de acero galvanizadas por inmersión en caliente.

	MICROESTRUCTURA	CARACTERÍSTICAS
ZF		<p>La ZF se caracteriza por poseer una microestructura básicamente de ferrita con morfología acicular, debido a la rápida velocidad de solidificación que se presenta en la zona del punto. En este proceso de soldadura, una vez fundida la zona del punto o núcleo, el enfriamiento interno con agua de los electrodos actúa como un gran disipador de calor y las láminas de acero también transfieren el calor hacia los lados, ocasionando altas velocidades de enfriamiento.</p>

<p>ZGG</p>		<p>La ZGG se ubica alrededor del punto o zona fundida, presenta una estructura básicamente de ferrita equiaxial de gran tamaño con respecto al material base. La temperatura en esta zona supera la temperatura de austenización para este tipo de acero, temperatura crítica superior A_{C3}, ya que el calor que se genera en el punto se transfiere hacia esta zona y se produce un crecimiento de grano austenítico con posterior formación de ferrita equiaxial de gran tamaño.</p>
<p>ZIC</p>		<p>La ZIC, la cual se encuentra dentro de la zona afectada por el calor, presenta una estructura conformada por ferrita equiaxial y ferrita alotriomórfica. Esta microestructura con diferentes morfologías de la ferrita se origina debido a que esta zona (ZIC) alcanza temperaturas que se encuentra entre la temperatura crítica superior (A_{C3}) y la temperatura crítica inferior (A_{C1}), con posterior enfriamiento rápido, originándose una transformación parcial en la morfología de la ferrita.</p>
<p>MB</p>		<p>Finalmente, el MB muestra la microestructura típica de un acero de bajo carbono con ferrita y perlita con deformación plástica producto del proceso de laminación</p>

Fuente: (Andrade & Rico, 2018)

Discusión y conclusiones

Una de las técnicas utilizadas para proteger al acero contra la corrosión es la aplicación de tratamiento superficial por medio de un recubrimiento metálico. Este procedimiento se llama galvanización el cual se puede aplicar a través de dos métodos, la electrogalvanización y la galvanización por inmersión en caliente. la primera deja una capa con mucho menor espesor que la segunda. La finalidad de la capa es que el zinc sea el que se ofrezca en la oxidación que el hierro del acero.

La galvanización por inmersión en caliente se fundamenta en sumergir la lámina de acero dentro de un baño de zinc a 450°C aproximadamente, después de que fue preparada mecánicamente y químicamente con el fin de eliminar impurezas y puede adherirse el zinc sin dificultad. La ventaja de este recubrimiento es que puede sobrevivir después de un arranque de material, debido a que se repone y por lo cual no genera un foco de corrosión y por ende un concentrador de tensión.

Una de las aplicaciones que tiene el acero galvanizado es en el área automotriz, específicamente en el ensamblaje de piezas. Uno de los procesos que se utiliza para dicho fin es la soldadura. Las soldaduras que generan arco eléctrico pueden hacer desaparecer el recubrimiento por efecto de la temperatura que se forma en el arco sino se controlan los parámetros de la técnica. Es por ello, que un método que es utilizado con frecuencia es la soldadura de electropunto.

La soldadura de electropunto realiza un punto de soldadura por efecto de la corriente eléctrica, presión ejercida por unos electrodos y un tiempo de trabajo durante esa fuerza ejercida por los electrodos. Esta máquina posee un pedal en la cual al accionarlo acerca los electrodos y al hacer contacto por la presión, circula una corriente que es la que forma el punto en un determinado tiempo. Este tipo de material ofrece mucha más resistencia al paso de corriente por lo que se debe vencer aplicando mayor intensidad de corriente y por ende genera aún mayor calor, lo que es probable que pueda perderse el recubrimiento sino se controlan las variables, estas últimas dependen de la composición del material y del espesor del recubrimiento.

La microestructura es característica de este tipo de soldadura, la cual presenta un anillo que está conformado en su interior por una zona fundida que tiene una mayor dureza por su morfología acicular, una ZAC que representa el lado más débil de la estructura debido a que en esta habita una ZGG con grano equiaxial de menor dureza y una ZIC que presente estructuras de ferrita equiaxial y ferrita alotrópica, y por último esta el material base con una morfología característica de un proceso de conformado y que por ende posee una resistencia por deformación.

Referencias

- ACESCO. (2000). *Manual técnico del Acero Galvanizado*. Acerías de Colombia. S. A.
- AGA. (1996). *Galvanización en Caliente para la Protección contra la Corrosión de los Productos de Acero*. AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION. .
- Andrade, J. A., & Rico, Y. (2018). Caracterización microestructural de la soldadura por electropunto en láminas de acero AISI 1015 galvanizado. *Acta Microscopica*, 27(1), 8-15. Obtenido de http://actamicroscopica.ivic.gob.ve/Vol.27_1_2018.htm
- CEMESA. (2014). *Galvanizado por inmersión en caliente*. San José, Costa Rica.: Cemesa Galvanizadora.
- Esquivel Hernández, L. A. (2009). *Proceso de soldadura por el método de resistencia para la manufactura de chasis en la industria automotriz*. México, D. F. : Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Robótica Industrial del Insituto Politécnico Nacional.
- Horwitz, H. (1990). *Soldadura: Aplicaciones y Práctica*. México, D. F.: Alfaomega, S.A. de C.V.
- Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México, D.F.: Editorial Pearson.
- LATIZA. (2013). *GALVANIZADO GENERAL POR INMERSIÓN EN CALIENTE*. Lima, Perú: ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE ZINC - LATIZA.
- Lu, J., Che, C., Kong, G., Xu, Q., & Jinhong, C. (2006). Influence of silicon on the α -Fe/ Γ interface of hot-dip galvanized steels. *Surface & Coatings Technology* 200, 5277-5281.
- Rico Oviedo, Y. (2012). ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE, SOBRE ACEROS. *REDIP. UNEXPO. VRB. Venezuela*, 2(5), 368-378.
- Rico, O., & Carrasquero, E. (2017). Efecto de la composición química en el comportamiento mecánico de recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente: una revisión. *Ingénus. Revista de Ciencia y Tecnología*, (18), 30-39.
- Rueda Romero, C. A. (2014). *Efecto De La Deformacion Plastica Sobre La Fragilizacion Por Galvanizado En Un Acero Sae 1020*. Bucaramanga, Colombia: Trabajo de Grado, presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Metalúrgico de la Universidad Industrial de Santander.
- UMSS. (2004). *Soldadura por resistencia*. Guía de Tecnología Mecánica II de la carrera Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias y Tecnologías.