

Comparación de la ZAC en aceros inoxidable AISI 304 en soldaduras GTAW manuales y automáticas

Comparison of the HAZ in AISI 304 stainless steel in manual and automatic GTAW welds



Ernesto Quishpe Sacancela: Instituto Superior Universitario Central Técnico, Doctor en Ciencias de la Educación: Investigación, Evaluación y Formulación de Proyectos
<https://orcid.org/0000-0001-5773-8485>

Autor de correspondencia: qshernesteim@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.64424/rcu42202581>

Recibido: 08 agosto 2025
Publicado: 25 septiembre 2025

Resumen:

Este trabajo realiza un análisis comparativo de la Zona Afectada por el Calor (ZAC) en acero inoxidable AISI 304 en las posiciones 1G y 3G, utilizando procedimientos de soldadura GTAW manual y automático. El objetivo es determinar cómo varía la ZAC en función de parámetros como espesor de la placa, intensidad, materiales de aporte y velocidad de soldadura, con el fin de optimizar las condiciones para minimizar el tamaño de la ZAC. La metodología incluye una revisión de las propiedades, clasificación y tratamientos térmicos del acero inoxidable, seguida de un análisis experimental comparando probetas con diferentes composiciones de carbono y condiciones de soldadura. Los resultados indican que un mayor contenido de carbono incrementa la extensión de la ZAC, aunque en aceros de bajo carbono la influencia es menor. Además, la dirección del flujo de calor y la velocidad de soldadura afectan significativamente el tamaño de la ZAC; velocidades menores aumentan la extensión, mientras que en espesores mayores la diferencia es menos notable. Esta investigación compara soldaduras GTAW manuales y automáticas en acero inoxidable AISI 304. Analiza la ZA), evaluando cómo el enfriamiento, amperaje y la composición del material influyen en la microestructura y la calidad de la unión soldada.

Palabras clave: Soldadura GTAW, Tratamientos térmicos, ZAC, Acero inoxidable.

Abstract:

This study presents a comparative analysis of the Heat-Affected Zone (HAZ) in AISI 304 stainless steel at positions 1G and 3G, utilizing both manual and automatic GTAW welding procedures. The primary objective is to evaluate how the HAZ varies as a function of parameters such as plate thickness, welding current, filler materials, and welding speed, with the aim of optimizing conditions to minimize the HAZ size. The methodology encompasses a review of the properties, classification, and thermal treatments of stainless steel, followed by an experimental analysis comparing specimens with different carbon contents and welding conditions. Results demonstrate that higher carbon content increases the extent of the HAZ, although its impact is less significant in low-carbon steels. Furthermore, heat flow direction and welding speed substantially influence the HAZ size; lower speeds tend to enlarge the zone, whereas in thicker plates, the differences are less pronounced. This investigation compares manual and automatic GTAW welding in AISI 304 stainless steel. It analyzes the ZA, evaluating how cooling, amperage, and material composition influence the microstructure and quality of the welded joint.

Keywords: GTAW welding, Heat treatments, ZAC, Stainless steel.



Introducción

La soldadura es un proceso fundamental en diversas ramas de la industria, cuya durabilidad contribuye a la creación de productos seguros y confiables. Se ha convertido en una tecnología de vanguardia, lo que exige una mayor investigación para su continuo desarrollo (Arciniegas, 2014). La investigación propuesta se orienta a profundizar en el análisis de la zona afectada por el calor, desde este punto, el fenómeno será denominado (ZAC); este aspecto es crucial para lograr una unión permanente y segura en áreas críticas, ya que, debido a sus características, la ZAC se presenta como la zona más débil en la soldadura (Villavicencio Cevallos, 2010). El proceso GTAW ofrece importantes beneficios teórico y práctico para la industria tales como: alta calidad y limpieza, precisión y control, soldadura sin distorsión, versatilidad y principal beneficio es el control del crecimiento del grano que minimiza la sensibilidad en los aceros inoxidables (Jaramillo, 2015). Generalmente, a menor velocidad de soldadura, aumenta el tamaño del grano en la ZAC y en la zona fundida; esto, a su vez, provoca alteraciones en las propiedades mecánicas finales, esfuerzos residuales y distorsiones en las juntas soldadas (Badajos Huaytalla, 2024). La ventaja de la soldadura lisa es que se emplea en diversas uniones y posiciones consiguiendo soldadura de alta calidad, se requiere gran habilidad por parte del soldador y no resulta económico para espesores mayores de 10 mm (Gamarra Yopez, 2020).

Para evaluar la calidad de una soldadura se emplean tres métodos principales: 1. La inspección visual, 2. Ensayos no destructivos realizando la inspección con tintas penetrantes y 3. Las pruebas mecánicas de dobles y tracción mediante ensayos destructivos. La inspección visual es el primer paso y se centra en la apariencia del cordón, buscando uniformidad en ancho y altura, buena penetración y la ausencia de defectos superficiales como porosidad, fisuras o salpicaduras. El análisis microestructural se enfoca en la ZAC, evaluando su anchura, el tamaño de grano y el riesgo de sensibilización en materiales como el acero inoxidable, ya que el exceso de calor puede afectar las propiedades del material. Por último, se eligieron la inspección visual y tintas penetrantes por su rapidez, bajo costo y eficacia para detectar defectos superficiales; ambos métodos permiten una evaluación inicial confiable en el desarrollo experimental, priorizando practicidad y resultados inmediatos.

La calidad general de una soldadura depende de la interacción entre las características de la máquina, como el control de arco de la soldadora Fronius TransSteel 2700, y el tipo de material, lo que afecta directamente a los indicadores evaluados. Las soldadoras FRONIUS Trans-Steel 2700 (manual) y FRONIUS Flextrack 45 PRO (automática) ofrecen diferentes

ventajas según su uso. La Trans Steel 2700 permite regular el amperaje para ajustar la soldadura según la densidad del material, evitando durezas y fisuras, y ofrece opciones como el diámetro de la varilla (ER308L) y el gas Argón (Ar). En cambio, la Flextrack 45 PRO es una soldadora automática con diferentes tipos de rieles, ideal para trabajos en superficies con geometrías variadas y en lugares donde se requiere movilidad, ya que es ligera y fácil de trasladar (Fronius, 2015).

En este estudio, se verificó la reacción del acero inoxidable AISI 304 mediante prácticas experimentales, con el fin de establecer las diferencias entre los procesos proporcionados por las soldadoras FRONIUS Trans-Steel 2700 en modo manual y FRONIUS Flextrack 45 Pro en modo automático. Un aspecto a estudiar es el efecto del calentamiento, que influye durante el ciclo térmico de la soldadura.

El acero inoxidable es una aleación principalmente compuesta por un 11% de cromo, lo que le confiere resistencia a la corrosión. Se clasifica en tres categorías: ferríticos, con resistencia moderada a buena y poca soldabilidad; martensíticos, con resistencia mecánica elevada y fortalecidos por tratamiento térmico; y austeníticos, que ofrecen la mejor resistencia a la corrosión, son no magnéticos, fáciles de soldar y adecuados para temperaturas extremas. El AISI 304, un acero austenítico, destaca por su alta ductilidad, excelente soldabilidad y uso en diversas industrias, debido a su composición mayoritaria en cromo, níquel y manganeso (Badajos Huaytalla, 2024).

El acero inoxidable AISI 304 es una aleación austenítica, no magnética, reconocida por su excelente conformabilidad, soldabilidad y propiedades higiénicas (Flores Suárez, 2020). Se puede utilizar en temperaturas criogénicas y elevadas, siendo ideal para aplicaciones en industrias química, alimenticia, médica, así como en tanques y tuberías como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1

Composición química

Compuesto	%	Compuesto	%	Compuesto	%
Carbono (C)	0,08	Cromo (Cr)	18,20	Níquel (Ni)	8-10,5
Manganeso (Mn)	2	Silicio (Si)	1	Fosforo (P)	0,03
Azufre (S)		Ausente o en cantidades muy bajas			

Nota. AISI 304 es una aleación austenítica

Sus propiedades destacan por: Alta ductilidad y excelentes propiedades mecánicas, facilidad para procesos de embutición profunda, rodado y corte, alta resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza, lo que lo hace adecuado para aplicaciones higiénicas y de alta exigencia (Pérez Puig, 2014)

El material de aporte recomendado para la soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) del acero inoxidable AISI 304 debe ser una aleación que conserve las propiedades de resistencia a la corrosión, ductilidad y compatibilidad con la base. Generalmente, se utilizan electrodos de tungsteno con un material de aporte en forma de varillas o alambres de acero inoxidable austenítico, similares en composición química al material base (Bonilla Falconi, 2024). La varilla de aportación es igual al núcleo del electrodo, pero sin revestimiento. Estas se clasifican en:

Tabla 2

Material de aporte

Material	Designación	Material	Designación
Acero inoxidable	TIG WELD 304L, 308L, 309L, 316L	Acero al carbono	Acero al carbono
Níquel	Alloy 82	Aluminio	TIG 4043
Core	APSIL 0, LOW FUMING BRONCE RF, LOW FUMING BRONCE	Plata	OXIWELD 600, OXIWELD 800

Nota. Varilla de aporte (Pazmiño chimba, 2023)

La varilla de aporte ER308L es la opción más utilizada para soldar el acero inoxidable AISI 304, especialmente cuando se requiere una unión de alta calidad y resistencia a la corrosión. Tiene un diámetro típico de 1.6 mm, aunque existen otros diámetros y longitudes que se seleccionan en función del espesor de la placa a soldar.

Tabla 3

Propiedades y usos de la varilla de aporte ER308L

Características	Descripción
Bajo contenido de carbono	Contiene aproximadamente 0.02% de carbono, lo que ayuda a prevenir la precipitación de carburos en la zona de soldadura, evitando así la corrosión intergranular.
Propósito principal	Está diseñada para procesos de soldadura que requieren mantener la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304 y sus variantes (como 304L, 308L, 321, 347)
Dimensiones	La varilla de aporte ER308L está disponible en diámetros de 1.6, 2.0, 2.4 y 3.2 mm, con una longitud estándar de 915 mm
Aplicación	AISI 304, asegurando una unión de alta calidad y resistencia a la corrosión

Nota. Facilita la soldadura sin la necesidad de precalentamiento (Canahua, 2022)

Actualmente, no se ha caracterizado de manera precisa cómo las condiciones de soldadura manual vs. Automática, con equipos FRONIUS, afectan la ZAC, en acero inoxidable AISI 304, ni cómo estas variaciones inciden en las propiedades mecánicas y la calidad superficial de la unión. La falta de información comparativa limita la capacidad para seleccionar el proceso más adecuado, optimizar parámetros y garantizar soldaduras de alta calidad y seguridad industrial. Por ello, el problema central es determinar y comparar el impacto de ambos métodos de soldadura sobre la ZAC y las propiedades del material, utilizando ensayos destructivos (tracción y doblaje) y no destructivos (tintas penetrantes), para establecer criterios técnicos que permitan mejorar el desempeño y la confiabilidad de las uniones soldadas.

El proceso de soldadura GTAW produce una ZAC, más estrecha y controlada en comparación con la soldadura manual, lo que es un beneficio clave. El control preciso sobre el calor, posible gracias a equipos como la FRONIUS TransSteel 2700, minimiza la ZAC. Esto a su vez reduce el crecimiento del grano y previene la sensibilización en aceros inoxidables como el AISI 304, manteniendo su resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas. La calidad de la soldadura se evalúa visualmente, mediante análisis microestructural de la ZAC y pruebas mecánicas, garantizando una unión fuerte y duradera (Cely, 2018). En la práctica de soldadura manual y automática, se empleó un electrodo de tungsteno de lantano de color azul, debido a su bajo nivel de radiactividad y su seguridad, logrando obtener soldaduras con altas características mecánicas y estéticas. Este electrodo se utilizó específicamente en la soldadura de aceros inoxidables AISI 304 con corriente alterna, incorporando un 2% de torio para mejorar la estabilidad del arco y la calidad de la unión. El electrodo de tungsteno de torio, de color rojo, es ampliamente utilizado en la industria para soldar con arco protegido por gases inertes, ya que su punta apenas se desgasta tras un uso prolongado, garantizando una buena estabilidad durante el proceso. Sin embargo, el torio es un material radiactivo que puede almacenarse en los huesos y, con el tiempo, causar cáncer óseo. Aunque el electrodo en sí no presenta peligro en su manipulación, el riesgo radica en la inhalación de limaduras o humos generados durante la soldadura, los cuales contienen partículas radiactivas y pueden afectar la salud. Por otro lado, el electrodo de tungsteno de color gris es uno de los más recomendados en soldadura TIG con corriente continua, ya que proporciona mayor firmeza a la unión, no se deforma fácilmente y evita la dispersión excesiva de calor y residuos en la punta, problemas comunes en electrodos de color verde. Este tipo de electrodo es preferido por su durabilidad y eficiencia en aplicaciones industriales (Giraldo, 2022).

Tabla 4

Comparativa de electrodos de tungsteno para soldadura TIG

Tipo	Características	Aplicaciones	Aleación	Composición	Materiales a soldar
Tungsteno puro	Buena estabilidad de arco eléctrico para soldadura en CA con punta redonda	Corriente alterna CA	Ninguno	99,5% de tungsteno	Aluminio magnesio
Cerio 2%	Buen desempeño en soldadura con CC, bajo amperaje, excelente en CA	Corriente continua CC	Cerio	97,3% tungsteno, 1,8-2,2% Cerio y otros	Acero al carbono, acero inoxidable, aleación de níquel, titanio
Lantano 1,5%	Sustituto del electrodo de tungsteno, sin riesgo de radiación, buena conductividad eléctrica	Corriente continua CC. Corriente alterna CA. Inverso	Lantano	97,3% tungsteno, 1,3-1,7% lantano, otros	Acero al carbón, Acero inoxidable, Aleación de níquel, Titanio.
Lantano 2%	Mejor estabilidad de arco reemplaza al de 2% de Torio	Corriente continua CC. Corriente alterna CA. Inverso	Lantano	97,3% tungsteno, 1,8-2,2% lantano, otros	Acero al carbón, Acero inoxidable, Aleación de níquel, Titanio.
Torio 2%	Gran conductividad eléctrica, arco estable, peligro de radiación	Corriente continua CC	Torio	97,3% tungsteno, 1,7-2,2% lantano, otros	Acero al carbón, Acero inoxidable, Aleación de níquel, Titanio, Cobre

Nota. Características, aplicaciones y materiales de electrodos de tungsteno Autor, (2025)

Los gases de protección en soldadura cumplen la función de proteger el baño de soldadura de la influencia del medio ambiente, evitando la oxidación y la absorción de nitrógeno, además de estabilizar el arco eléctrico. Los principales gases utilizados son argón, helio y dióxido de carbono (Pérez O. H., 2020). El argón proporciona estabilidad del arco y facilidad de encendido, siendo ideal para soldar diversos metales y aleaciones, especialmente en el método TIG (Ramírez Márquez, 2024). El helio permite una soldadura a altas velocidades gracias a su alto potencial de ionización, aunque requiere caudales elevados para mantener la protección (Torres Salinas, 2024). El dióxido de carbono, más económico y con gran capacidad de penetración, aumenta la velocidad de soldadura, pero genera más salpicaduras y oxidación, por lo que a menudo se combina con argón para mitigar estos efectos (Morales, 2024).

La utilización del equipo de protección personal (EPP) se relaciona directamente con los puntos expuestos anteriormente, ya que es el elemento final y más crucial para garantizar un proceso de soldadura seguro y de alta calidad (Camapaza, 2018). Mientras que la soldadora FRONIUS TransSteel 2700 ofrece un control preciso del arco y tecnologías avanzadas para uniones de calidad, y la varilla de aporte asegura las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión del material, la seguridad del soldador es indispensable para que estos beneficios se materialicen (Moncada Santos, 2024). Los riesgos para la salud es el fundamento teórico y práctico que justifica la obligatoriedad del uso de EPP. La máscara, la mascarilla y los tapones auditivos no son solo accesorios, son barreras críticas que protegen al soldador de la inhalación de humos tóxicos, la exposición a metales peligrosos y el ruido excesivo que causan los problemas de salud (Camapaza, 2018).

La ZAC, es la región del metal base que sufre cambios durante la soldadura debido al calentamiento y enfriamiento, afectando sus propiedades metalúrgicas y mecánicas en función de los parámetros de soldadura y tratamientos térmicos (Badajos, 2024). Esta zona se identifica por bandas de colores, conocidas como manchas térmicas, que resultan de la oxidación superficial y reflejan la temperatura alcanzada. La tonalidad de estos colores depende de factores como el contenido de cromo en el acero, la presencia de oxígeno, la rugosidad superficial y la contaminación externa, como pintura o aceite (Huallparimachi Leiva, 2023). Los diferentes colores indican distintos niveles de temperatura y penetración de la soldadura, siendo el amarillo claro el mínimo y tonos como marrón o azul oscuro los más elevados. Sin embargo, algunos productos térmicos pueden debilitar la ZAC, promoviendo la formación de microgrietas que, si no se controlan, pueden comprometer la integridad estructural y provocar fallas en la soldadura (Morales, 2024).

La soldadora Fronius Trans Steel 2700, en modo manual, operó con un amperaje de 92 A, alcanzando una temperatura de soldadura de 490°C, con un voltaje de 220 V, en posición plana 1G, utilizando argón y soldando a una velocidad de 30 cm/min con varilla de tungsteno azul. Por otro lado, la soldadora Fronius Flextrack 45 Pro, en modo automático, funcionó con un amperaje de 113 A, logrando una temperatura de 551°C, también con 220 V y en posición plana 1G, con argón, con velocidades de soldadura de 5 a 150 cm/min en posición horizontal y de 5 a 100 cm/min en posición vertical, usando igualmente varilla de tungsteno azul.

Metodología

El estudio del proceso de soldadura se divide en dos partes principales: una fase exploratoria y teórica, enfocada en analizar la ZAC, y una fase práctica, centrada en el comportamiento estructural de dicha zona. La soldadura implica altas temperaturas que afectan significativamente las propiedades mecánicas del material debido a la transferencia de calor, la cual no toda se transfiere al material, sino que se denomina "calor aportado", ya que el área de influencia es pequeña en comparación con el tamaño total de la pieza (Mendoza, 2024). La velocidad de enfriamiento, determinada por la disipación de energía hacia el ambiente, el material base y la zona soldada, es crucial para definir la estructura final del metal. Un precalentamiento adecuado puede reducir esta velocidad, especialmente en materiales de alta densidad, que presentan un flujo de calor tridimensional (Núñez Velázquez, 2024). En contraste con los de menor densidad, que tienen un flujo bidimensional. El tiempo de solidificación, influido por el calor aportado y la temperatura inicial del material, afecta profundamente las propiedades mecánicas. Para la cual, se emplearon ensayos destructivos de doblez y tracción para evaluar la resistencia estructural, y tintas penetrantes para detectar defectos superficiales, asegurando así una caracterización integral de la zona soldada. (Pérez C. R., 2024).

La ZAC, se forma en función de temperaturas que, aunque no funden el metal, producen cambios estructurales significativos. La recristalización en este proceso de soldadura GTAW, ocurre cuando un metal deformado previamente se somete a recocido, formando nuevos granos libres de esfuerzos residuales, lo que reduce la dureza. Con temperaturas y tiempos mayores, los granos recristalizados crecen, influenciados por la energía superficial, y la estructura microestructural evoluciona en función del ciclo térmico y las propiedades térmicas del material. La zona afectada por el calor puede dividirse en subzonas, cuya extensión está determinada por el ciclo térmico completo, incluyendo calentamiento y enfriamiento, influenciado por el movimiento del arco y las propiedades térmicas del material (Rodríguez, 2024).

Estas subzonas incluyen: metal depositado, fusión incompleta, campo de sobrecalentamiento, campo normalizado, recristalización incompleta, zona de recristalización y zona de fragilidad. El control principal de los cambios se basa en la cantidad de calor aplicada durante el proceso de precalentamiento y soldadura. Un enfriamiento rápido incrementa la resistencia mecánica del acero, pero reduce su ductilidad. La temperatura y las propiedades mecánicas del material se modifican en función de la estructura microestructural resultante. En particular, el sobrecalentamiento puede disminuir la ductilidad y aumentar la fragilidad, especialmente en aceros simples con bajo contenido de carbono, aunque en estos casos, los cambios en las zonas cercanas a la soldadura no afectan significativamente la resistencia global del material (García & Vargas, 2020).

El método de inspección con tintas penetrantes es una técnica no destructiva fundamental para detectar imperfecciones superficiales en soldaduras, especialmente en componentes de acero inoxidable realizados mediante soldadura TIG. Este proceso consiste en aplicar un líquido penetrante sobre la superficie, que infiltra fisuras, poros y otras discontinuidades abiertas. Tras un tiempo de penetración, se remueve el exceso y se utiliza un revelador que facilita la visualización de las imperfecciones, garantizando la integridad estructural del componente. Para garantizar la fiabilidad del ensayo, se emplearon tintas penetrantes que cumplen con normativas internacionales, como la norma ASTM E1417 o la ISO 3452 (Arcos Aguilar, 2011), que establecen requisitos específicos de sensibilidad, compatibilidad y procedimientos de aplicación. Este método es especialmente importante en la soldadura de acero inoxidable con proceso TIG, donde la detección de fisuras o poros en la superficie puede prevenir fallas estructurales futuras. La correcta aplicación de las tintas penetrantes, siguiendo las normas técnicas, asegura la detección efectiva de defectos, contribuyendo a la calidad, seguridad y cumplimiento de los estándares en la fabricación de componentes soldadas.

Tabla 5

Proceso de soldadura Fronius


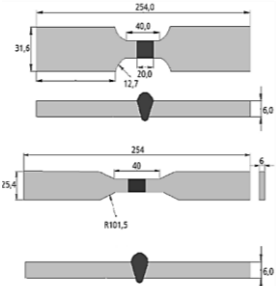
Soldadura	Amperaje	Temperatura (°C)	Voltaje	Plana 1G	Material de soldadura	Gas	Velocidad de cordón	Electrodo de aporte
Fronius Trans Steel 2700	92	490	220/60Hz	Plana	Varilla de aporte ER308L	Argón	30cm/min	Varilla de tungsteno azul
Fronius Flextrack 45 PRO	113	551	220/60Hz	Plana	Varilla de aporte ER308L	Argón	Horizontal 5-150cm/min Vertical 5-100 cm/min	Varilla de tungsteno azul

Nota. Autor, (2025)

El ensayo de doblez se realizó para evaluar la deformación y la resistencia de las placas soldadas, verificando la integridad de la soldadura y detectando posibles agrietamientos. La prueba se efectuó en una probeta de 5 mm de espesor, sometida a un doblez automático a 20°C y humedad relativa de 60±20%, utilizando un equipo EQP-012 en posición 3G y un pie de rey para medición.

Tabla 6

Registro de ensayos de tracción

 SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO Acreditación N° SAE LEN TS-011 LABORATORIO DE ENSAYOS							
ILPM ENGINEERING CIA. LTDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8 INFORME N°. ILPM 2024 - 514 - T							
Cliente	ISUCT	Fecha de ensayo	Enero 2024				
Material	INOX 304 ENS-09	Probeta elaborada por	ILPM				
Equipo	Máquina de ensayo de Tensión	Calibración	Oct-2018	Verificación	Ene-2024		
Temperatura	20±3°C	Humedad Relativa	60±20%				
Objetivo del ensayo	Control de calidad de soldadura						
Probeta #	Espeor Menor mm	Ancho Menor mm	Longitud Inicial mm	Longitud final mm			
AUTO-T1	4,97	22,29	50,00	60,46			
MAN-T2	4,94	20,60	50,00	53,45			
OBSERVACIONES: APROBADO							
Probeta #	Area mm ²	Carga de fluencia KN	Límite de fluencia Sy U=+0.097 KSI MPa	Carga máxima KN	Resistencia de la tracción SUT U=+0.13% Mpa	Elongación 50mm U=+0.65% %	Localización de rotura
Auto-T1	110,78	33,88	44,36 306	59,36	77,72 536	21	FJS
Man-T2	101,76	31,74	45,24 312	41,42	59,03 407	7	FJS

Nota. Registro de ensayos de tracción. Autor, (2025)

El proceso experimental se realizó con chapas metálicas inoxidables 304, aplicando técnicas rigurosas de evaluación. La metodología experimental empleó electrodos de tungsteno de lantano y gas argón, explorando un acero austenítico con composición de 18-20% cromo y 8-10.5% níquel. La comparativa sobre la ZAC, en soldaduras GTAW de acero inoxidable AISI 304, desarrollada en ILPM ENGINEERING CIA. LTDA, bajo condiciones ambientales estándar de 22°C. El estudio utilizó una muestra de 46 estudiantes de la carrera de Mecánica Industrial, empleando dos equipos de soldadura: FRONIUS Trans Steel 2700 (manual) y FRONIUS Flextrack 45 PRO (automático).

Estos ensayos destructivos de doblez y tracción se comparó conforme las normas AWS B4.0 y AWS B4.0M, respectivamente, garantizando una evaluación muy confiable de la resistencia y ductilidad de las soldaduras. Para los ensayos no destructivos, en la inspección visual como el método de tintas penetrantes siguieron los estándares AWS D1.1 y AWS D3.6M, permitiendo comparar la calidad superficial y detectar posibles discontinuidades. Los resultados obtenidos bajo estas normas evidenciaron claramente las diferencias significativas en las características metalúrgicas y estructurales entre los procesos manual y automático con las soldadoras Fronius, validando la metodología aplicada. La metodología incluyó ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes y ensayos destructivos de dobles y tracción, con el objetivo de analizar comparativamente las características metalúrgicas de las soldaduras.

La Fronius TransSteel 2700 es una máquina inversora multiproceso, lo que significa que puede realizar soldadura MIG/MAG, MMA y TIG (GTAW) (Fronius, 2015) Su diseño compacto y sus funciones avanzadas la hacen ideal para una variedad de aplicaciones. La soldadora FRONIUS TransSteel 2700 es una máquina multiproceso versátil, lo que le permite soldar una gran variedad de metales y grosores. Su preciso control de arco es fundamental para el proceso GTAW, ya que permite al soldador manipular la intensidad y la estabilidad para una mayor calidad del cordón. Además, incluye tecnologías específicas como Hot Start y Anti-Stick que mejoran la eficiencia del proceso y reducen los defectos desde el inicio.

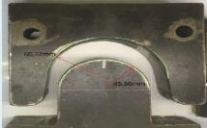

Resultados

La investigación comparó los procesos de soldadura manual y automática GTAW en acero inoxidable AISI 304, ZAC), mediante ensayos destructivos y no destructivos. Los resultados revelaron diferencias significativas entre ambas técnicas como se muestran en las tablas anteriores. La soldadura manual (92 A, 490°C) mostró mayor variabilidad en la ZAC, con rangos de color entre 8,45 y 45 mm, mientras que la soldadura automática (113 A, 551°C) presentó mayor uniformidad, con rangos más reducidos y controlados. Los ensayos de tracción evidenciaron comportamientos mecánicos distintos: la probeta automática exhibió mayor ductilidad (estiramiento de 10,46 mm, límite de fluencia 306 MPa) comparada con la manual (3,45 mm, 312 MPa). El ensayo de doblez confirmó la calidad de las soldaduras, con una fisura de 1,67 mm dentro de los parámetros aceptables. Las tintas penetrantes detectaron discontinuidades superficiales menores, y el análisis metalográfico demostró que el proceso automático ofrece mayor consistencia térmica y estructural. Conclusivamente, la soldadura automática GTAW mostró ventajas en uniformidad, control térmico y propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304.

En el resultado también se mostró una fisura de 1,67 mm en la cara doblada, considerada dentro de los límites de tolerancia aceptables para estructuras metálicas, garantizando la calidad y la resistencia de la unión soldada. La norma técnica de referencia para chapas metálicas Inox 304: UNE-EN 10088-2:2014 - Acero inoxidable (Morales, 2024). Los materiales. Especificaciones para productos de acero inoxidable. Parte 2: Clasificación de los productos y requisitos particulares para los tipos de productos de acero inoxidable austenítico, incluyendo las chapas de Inox 304.

Tabla 7

Registro de ensayo de doblado automático

		ILPM ENGINEERING CIA. LTDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales REGISTRO DE ENSAYO DE DOBLADO INFORME N°. ILPM 2024 - 514 – D Auto DCI	
Nombre	ISUCT		 <i>Automatic-DCI AWS D1.6</i> APROBADO
Solicitado Por	ISUCT		
Temperatura	20°C±3°		
Humedad Relativa	60°C±20%		
Identificación Soldador	Automatic DCL		
Equipo Utilizado	EQP-012 Dobladora/INST-07 Pie de Rey		
Probeta	Posición	Tipo de Ensayo	Observaciones (U=±0,01 mm)
AUTO-DCI	3G	Doblado de Cara	Indicación 1,67 mm dentro de la tolerancia
<small>ILPM Cia. Ltda. ha sido evaluado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) y aprobado como LABORATORIO ACREDITADO para la evaluación de la conformidad (OEC), en base a la resolución SAE LEN 19-011 para la ejecución de ensayos de Doblado.</small>			

Nota. Ensayo de doblado en proceso de soldadura automática. ILPM. Autor, (2025)

Probeta de 5 mm de espesor sometida a ensayo destructivo de doblez de cara en condiciones ambientales de 20°C y humedad relativa de 60% ± 20%, utilizando soldadura automática. Con equipo EQP-012 y pie de rey en posición 3G, se realizó prueba según normas ASME IX, AWS D1.1 y ASTM E290 (Rabia, 2017), cuyo objetivo fue evaluar la integridad estructural del cordón de soldadura. El método de doblez, ejecutado a 180°, busca determinar la ductilidad y sanidad del material mediante deformación controlada. El resultado reveló ausencia total de fisuras, indicando soldadura de alta calidad, adecuada fusión y correcta técnica de unión. La probeta demostró excelente comportamiento mecánico, superando satisfactoriamente los criterios de aceptación establecidos en la normativa técnica de ensayos destructivos.

Tabla 8

Registro de ensayo de doblado automático

		ILPM ENGINEERING CIA. LTDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales REGISTRO DE ENSAYO DE DOBLADO INFORME N°. ILPM 2024 - 514 – D Auto DCI	
Nombre Solicitado Por Temperatura Humedad Relativa Identificación Soldador	ISUCT ISUCT 20°C±3° 60°C±20% Automatic DCL		
Equipo Utilizado	EQP-012 Dobladora/INST-07 Pie de Rey		
Probeta AUTO-DCI	Posición 3G	Tipo de Ensayo Doblado de Cara	Observaciones (U=±0,01 mm) Ausencia de indicaciones
ILPM Cia. Ltda. ha sido evaluado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) y aprobado como LABORATORIO ACREDITADO para la evaluación de la conformidad (OEC), en base a la resolución SAE LEN 19-011 para la ejecución de ensayos de Doblado.			
			
Las probetas analizadas satisfacen los requerimientos de AWS D1.6 Ed.2017. Sección VI para la aceptación de ensayos de doblado			

Nota. Ensayo de doblado en proceso de soldadura manual. ILPM. Autor, (2025)

Ensayo de tracción. Estudio de ensayo destructivo en probetas de soldadura, evaluando tracción automática y manual. Probeta automática (4,97mm, 22,29mm) presentó estiramiento de 10,46mm y límite de fluencia de 306 MPa. Probeta manual (4,94mm, 20,60mm) mostró estiramiento de 3,45mm con límite de fluencia de 312MPa. Metodología basada en normas ASTM E8/E8M, ISO 6892-1, AWS D1.1 y ASME IX. Resultados revelan comportamiento mecánico similar, con ligeras variaciones dimensionales y de deformación, confirmando integridad estructural de la soldadura mediante técnicas de tracción controlada.

Resultado gráfico de la tracción en probeta con soldadura automática. Probeta de acero inoxidable AISI 304, espesor 5 mm, soldada automáticamente, sometida a ensayo de tracción. Gráfico revela comportamiento mecánico con punto de estiramiento máximo en 306 MPa, marcando transición entre deformación elástica y plástica. Punto final de tracción alcanzado a 536 MPa, indicando máxima resistencia antes de fractura. Análisis basado en normas ASTM E8/E8M e ISO 6892-1, evidencia la ductilidad y capacidad estructural del material, demostrando características típicas de aceros inoxidables austeníticos bajo esfuerzo de tensión.

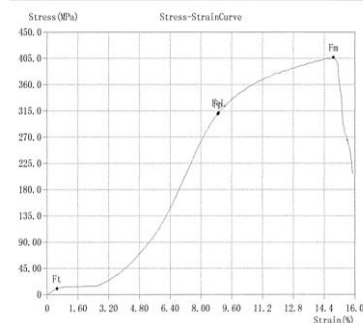
Tabla 9

Gráfico de tracción de probeta con soldadura manual y automática. TIG

Resultado gráfico de la tracción en probeta con soldadura automática	Resultado gráfico de la tracción en probeta con soldadura manual
Probeta INÓX_AISI 304 de 5mm, soldada automáticamente, deforma entre 306 MPa y 536 MPa, revelando comportamiento estructural bajo tensión.	Probeta AISI 304 soldada manualmente deforma entre 312 MPa y 407 MPa, evidenciando menor ductilidad respecto a soldadura automática.

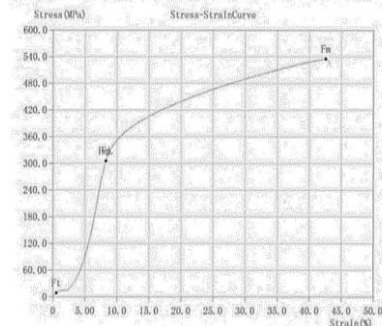
ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	FELIPE CRIBLLO CHILPE/ILPM 2020-514		
Probeta No.	MAN-12	Type	Flat
TestDate	12/21/2020	So (mm ²)	101.86
Size (mm)	20.62*4.94	Lu (mm)	53.45
Lo (mm)	50	ST (MPa)	407
Ft (kN)	41.42	ST (MPa)	312
Fel (kN)	31.74		



ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	FELIPE CRIBLLO CHILPE/ILPM 2020-514		
Probeta No.	AUTO-11	Type	Flat
TestDate	12/21/2020	So (mm ²)	110.78
Size (mm)	22.29*4.97	Lu (mm)	60.46
Lo (mm)	50	ST (MPa)	536
Ft (kN)	59.36	ST (MPa)	306
Fel (kN)	33.88		



Nota. Registro de ensayo de tracción manual y automática. Lab. ILPM. Autor, (2025)



Las gráficas obtenidas en el ensayo de tracción muestran el comportamiento típico de un material dúctil, con una zona elástica inicial, seguida de una zona plástica y finalmente la fractura. Al comparar ambos métodos de soldadura, se observa que la probeta soldada de forma automática presentó mayor estiramiento antes de la ruptura (10.46 mm) y un límite de fluencia de 306 MPa, lo que evidencia mejor ductilidad y una ZAC, más controlada y uniforme. Por otro lado, la probeta soldada manualmente mostró menor estiramiento (3.45 mm) y un límite de fluencia ligeramente superior (312MPa); sin embargo, la menor deformación indica una ZAC más amplia y menos controlada, afectando negativamente la ductilidad y generando una transición más repentina hacia la fractura, lo que sugiere

lo que sugiere mayor variabilidad térmica y posibles concentraciones de esfuerzos.

Tintas penetrantes. Las Probetas de acero inoxidable AISI 304 (200mm x 50mm x 5mm) tuvieron las siguientes características: 1. Material: Placas inoxidables AISI 304. 2. Dimensiones: 200mm x 50mm x 5mm. 3. Biselado: 30° con 1mm de cara de raíz. 4. Separación entre placas: 1mm. 5. Proceso de Soldadura: GTAW (Soldadura TIG). Estas fueron sometidas a ensayo de tintas penetrantes mediante proceso GTAW. Se utilizaron tres tintas: limpiador, penetrante y revelador. Siguiendo normativa AWS D1.1:2010 (Aguilar Sisa, 2023), el método permite inspección no destructiva para detectar discontinuidades superficiales en soldaduras, garantizando la calidad e integridad estructural de las uniones metálicas.

Tabla 10

Registro de ensayo de doblado automático

	INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO CENTRAL TÉCNICO CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL REGISTRO PRÁCTICA TINTAS PENETRANTES	
---	---	---

Objetivo: Detectar discontinuidades superficiales en soldaduras de placas metálicas mediante inspección no destructiva.

Proceso:	Código:	Material:	Consumible	Fecha:
GTAW	AWS D1.1:2010	INOX 304	Argón-Tungsteno azul	Enero 2024

ESQUEMA DE LA JUNTA LISTA PARA EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO



TABLA DE IDENTIFICACION DE DISCONTINUIDADES

Numero de discontinuidad	Tipo de discontinuidad	Tamaño	Aceptable/No Aceptable
1	Falta de fusión Visible	0.72 mm	No aceptable
	Mordeduras	0.5 mm	No aceptable
	Socavación	≤1/32	No aceptable
	Porosidades en la superficie	≤1/2	No aceptable
2	Falta de fusión Visible	Dentro del parámetro	Aprobado
	Mordeduras	Dentro del parámetro	Aprobado
	Socavación	Dentro del parámetro	Aprobado
	Porosidades en la superficie	Dentro del parámetro	Aprobado

Nota. Ensayos no destructivos. Norma ANSI B31.3. Taller Soldadura ISUCT. Autor, (2025)

Discusión

El estudio analiza comparativamente la ZAC, en soldaduras GTAW de acero inoxidable AISI 304, utilizando procedimientos manuales y automáticos con soldadoras FRONIUS Trans Steel 2700 y Flextrack 45 Pro. La investigación reveló que el contenido de carbono influye significativamente en la extensión de la ZAC, con incrementos más pronunciados en aceros con mayor concentración de carbono. Las velocidades de soldadura demostraron un impacto directo en las características microestructurales, donde velocidades menores aumentan el tamaño de la ZAC, especialmente en espesores menores. Los resultados evidenciaron que un amperaje mínimo de 250 Amperios garantiza una fusión adecuada.

La comparación de los resultados obtenidos en función de las probetas realizadas, se verifica claramente varias coincidencias importantes: los ensayos de doblez confirman la alta ductilidad del AISI 304, alineándose con investigaciones previas sobre su comportamiento mecánico. Los ensayos destructivos tanto de dobles como de tracción muestran que parámetros como el amperaje y la velocidad de soldadura influyen directamente en la resistencia, corroborando hallazgos similares en estudios comparativos de procesos GTAW con la soldadora Fronius. Finalmente, las pruebas con tintas penetrantes evidencian que una correcta preparación y control de parámetros minimizan defectos superficiales, respaldando la efectividad de este método no destructivo en la detección temprana de discontinuidades.

El análisis comparativo de la ZAC, en las soldaduras GTAW de acero inoxidable AISI 304, realizado con equipos FRONIUS Trans Steel 2700 de forma manual y automático, permitió identificar diferencias significativas en la microestructura y propiedades mecánicas de las juntas. El contenido de carbono demostró ser un factor determinante en la extensión de la ZAC, ya que una mayor concentración de carbono promueve la formación de carburos y puede incrementar la susceptibilidad a la fragilización local, especialmente en procesos con menor control térmico.

En torno a los parámetros de soldadura, se verificó que velocidades de avance más bajas favorecen el crecimiento de la ZAC, lo que puede afectar la homogeneidad de la microestructura y la distribución de esfuerzos residuales. La soldadura automática, al operar con mayor uniformidad térmica (amperaje promedio de 113 A y temperatura de 551°C), generó una ZAC más estrecha y controlada, mientras que la manual mostró mayor variabilidad (amperaje de 92 A y temperatura de 490°C), lo que se traduce en rangos de color y tamaño de ZAC más amplios.

Los ensayos de tracción revelaron que las probetas automáticas alcanzaron mayor estiramiento (10.46 mm) y presentaron una transición suave entre las zonas elástica y plástica, lo que indica una microestructura homogénea y una mejor capacidad de absorción de energía. Por el contrario, las probetas manuales mostraron menor estiramiento (3.45 mm) y una transición más brusca hacia la fractura, evidenciando una mayor variabilidad térmica y posibles concentraciones de esfuerzos.

En los ensayos de dobléz, ambas variantes mantuvieron la ductilidad característica del AISI 304, con fisuras dentro de parámetros aceptables (1.67 mm), aunque la soldadura automática mostró menor tendencia a la formación de discontinuidades. Las pruebas no destructivas con tintas penetrantes confirmaron que una adecuada preparación superficial y el control estricto de los parámetros de soldadura minimizan la aparición de defectos superficiales, validando la efectividad de este método para la detección temprana de discontinuidades.

En conjunto, los resultados confirman que el ajuste preciso de amperaje (mínimo 250 A), velocidad de soldadura y técnicas de enfriamiento entre pases son fundamentales para optimizar la calidad de la ZAC y las propiedades mecánicas de las juntas soldadas. Estos hallazgos se alinean con investigaciones previas y destacan la importancia del control de parámetros en procesos industriales de soldadura de precisión.

Conclusiones

La investigación compara el comportamiento de la ZAC, en soldaduras GTAW de acero inoxidable AISI 304, empleando equipo de soldadura FRONIUS en modo manual y automático. Se evidencia que velocidades de soldadura más lentas y mayor variabilidad térmica, especialmente en el modo manual, incrementan el tamaño de grano y la extensión de la ZAC, lo que afecta directamente las propiedades mecánicas del material. Esto se confirma en los ensayos destructivos: las probetas automáticas presentaron mayor estiramiento (10.46 mm) y una microestructura más homogénea, mientras que las manuales mostraron menor ductilidad (3.45 mm) y mayor variabilidad. En el ensayo de dobléz, ambas técnicas se mantuvieron dentro de parámetros aceptables, aunque la soldadura manual evidenció mayor riesgo de fisuración. Los ensayos no destructivos de tintas penetrantes demostraron que la uniformidad térmica del proceso automático reduce la presencia de discontinuidades superficiales. Por lo tanto, el control preciso de los parámetros térmicos y de soldadura es fundamental para optimizar la integridad estructural y la calidad de las uniones, resaltando la sensibilidad metalúrgica del AISI 304 a las condiciones específicas del proceso.

La optimización del proceso de soldadura GTAW en acero inoxidable requiere una selección meticulosa de parámetros críticos. La implementación de un amperaje mínimo de 250 Amperios asegura una fusión metalúrgica óptima, mientras que la técnica de enfriamiento entre pases permite reducir significativamente la ZAC. La elección estratégica del electrodo de tungsteno de lantano (color azul) emerge como una solución innovadora que minimiza los riesgos de contaminación radiactiva, manteniendo simultáneamente la estabilidad del arco eléctrico. Este enfoque sistemático representa una aproximación integral para mejorar la calidad y seguridad de las uniones soldadas.

Se evidenció claramente las características diferenciales de las soldadoras FRONIUS Trans Steel 2700 (manual) y FRONIUS Flextrack 45 PRO (automática), evidenciando sus particulares contribuciones al proceso de soldadura en acero inoxidable AISI 304. La soldadora manual Trans Steel 2700 ofrece una flexibilidad superior en la regulación del amperaje, permitiendo ajustes precisos según la densidad del material, mientras que la Flextrack 45 PRO destaca por su versatilidad geométrica y movilidad en superficies complejas. Ambos equipos comparten características técnicas similares como voltaje de red (115/230V), capacidad de carga (15 kg) y un rango de temperatura de trabajo diferenciado, lo que sugiere que la selección del equipo debe realizarse considerando las condiciones específicas de cada aplicación industrial. El estudio concluye que la elección entre modo manual y automático dependerá de factores como precisión requerida, geometría de la pieza, espesor del material y complejidad de la unión soldada. Elementos clave de comparación: Regulación de amperaje; Velocidad de desplazamiento; Rango de temperatura; Versatilidad geométrica y la Capacidad de carga.

El control preciso de los parámetros térmicos y mecánicos en la soldadura GTAW de acero inoxidable AISI 304 es esencial para optimizar la calidad de la unión. Los ensayos de dobléz y tracción confirman la alta ductilidad y resistencia del material, en línea con estudios recientes, mientras que las pruebas de tintas penetrantes evidencian la eficacia de este método para detectar discontinuidades superficiales. El equipo de soldadura Fronius conjuntamente con la aplicación de procedimientos normalizados, permite minimizar defectos y asegurar la integridad estructural, respaldando la importancia de la evidencia científica actualizada en el desarrollo de procesos industriales seguros y eficientes.

Se recomienda implementar un protocolo integral de control de parámetros de soldadura que considere: a) selección del electrodo de tungsteno de lantano (color azul), b) mantenimiento de un amperaje mínimo de 250 Amperios, c) aplicación de técnicas de enfriamiento entre pases, y d) evaluación sistemática de la velocidad de soldadura. La elección del equipo (manual FRONIUS Trans Steel 2700 o automático Flextrack 45 PRO)

debe realizarse considerando las especificidades del proyecto, priorizando la minimización de la ZAC, y garantizando la integridad metalúrgica de la unión. Esta aproximación metodológica permitirá optimizar la calidad, seguridad y rendimiento de las soldaduras en acero inoxidable, reduciendo potenciales defectos estructurales y mejorando las propiedades mecánicas del material soldado.

Referencias

- Aguilar Sisa, P. F. (2023). Estudio de la aplicabilidad de tintas penetrantes no convencionales en la inspección de juntas soldadas para la detección de discontinuidades superficiales-AWS D1. 1. Universidad Técnica de Ambato.
- Arciniegas, J. A. (2014). Proceso de soldadura. Ediciones de la U.
- Arcos Aguilar, O. G. (2011). Ensayo de tintas penetrantes fluorescentes y su incidencia en el control de calidad de las juntas soldadas en aceros al carbono. Universidad Técnica de Ambato.
- Badajos Huaytalla, E. R. (2024). Determinación de las propiedades mecánicas de múltiples soldaduras de un proceso de soldadura GTAW en una tubería inoxidable AISI 304, para establecer la cantidad de veces que puede ser soldada. Universidad Tecnológica de Perú.
- Badajos, H. E. (2024). Determinación de las propiedades mecánicas de múltiples soldaduras de un proceso de soldadura GTAW en una tubería inoxidable AISI 304, para establecer la cantidad de veces que puede ser soldada. Universidad Tecnológica de Perú.
- Bonilla Falconi, D. E. (2024). Diseño y construcción de una máquina para soldadura de acoples tipo clamp rectos ferrulados de una pulgada y media de acero AISI 304 para tubería sanitaria, con soldadura TIG de rayos de alta frecuencia. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Camapaza, A. m. (2018). Enfermedad Ocupacional del Sistema Respiratorio en el Sector Metalúrgico. Facultad de Ciencias Experimentales Bogotá.
- Canahua, A. N. (2022). Comparación de procesos de soldadura en aceros inoxidables austeníticos. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
- Cely, M. S. (2018). Identificación de defectos en soldaduras de acero estructural ASTM A36 mediante ensayos no destructivos según el código AWS D1. 1. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Flores Suárez, C. A. (2020). Caracterización de juntas soldadas en acero inoxidable AISI 304 mediante los procesos SMAW, GMAW y GTAW. Escuela Politécnica Nacional.

- Fronius. (2015). Fronius Operating Instructions, TransSteel 2700c, TransSteel 2700c MV, TransSteel 3500c. Pettenbach, Alta Austria: Fronius International GmbH.
- Fronius. (2015). TransSeteel 2700. Fronius International.
- Gamarra Yopez, D. A. (2020). Determinación de los parámetros óptimos de la soldadura TIG, para tuberías de diámetro estándar de 1" y 4" con especificación técnicas ASTM A270 Tipo 304 y evaluación por ensayos no destructivos. Universidad Politécnica Salesiana Obtenido de UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18546/1/UPS%20%20ST004478.pdf>
- García, J. C., & Vargas, B. (2020). Análisis microestructural y mecánico de la ZAC en uniones soldadas CMT robotizadas en acero aleado HSLA. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Giraldo, A. R. (2022). Actividad radiactiva de un electrodo de tungsteno toriado. Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares. Revista de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares.
- Huallparimachi Leiva, Y. H. (2023). Soldabilidad del acero avanzado de alta resistencia (AHSS) del tipo martensítico de doble fase por el proceso TIG. Escuela Politécnica Nacional.
- Jaramillo, L. E. (2015). Análisis comparativo de los procesos de soldadura GTAW-SMAW, GTAW-GMAW y GMAW-GMAW aplicados en dos posiciones de soldadura 6G y 1GR utilizado en la industria petrolera en tubería de acero ASTM A-106 GR B. Escuela Politécnica Nacional.
- Mendoza, E. M. (2024). Tecnología de recuperación de un eje del torno 16K20. Ciencia & Futuro.
- Moncada Santos, P. N. (2024). Implementación de un entorno virtual para capacitación en procesos de soldadura y el uso respectivo de equipos de protección personal. Universidad Politécnica Salesiana.
- Morales, D. A. (2024). Estudio de la susceptibilidad a la corrosión intergranular de un acero inoxidable austenítico AISI 304L laminado en frío sometido a proceso de soldadura arco eléctrico TIG. Doctoral dissertation, Universidad de Concepción.
- Núñez Velázquez, T. G. (2024). Efecto de la velocidad de enfriamiento en la microestructura de aleaciones complejas de aluminio. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pazmiño Chimbana, J. R. (2023). Análisis del proceso de soldadura GTAW y su incidencia en las propiedades mecánicas en juntas a tope del acero AISI 304 empleadas en la industria alimenticia. Universidad Técnica de Ambato.
- Pérez Puig, M. A. (2014). Investigación del comportamiento tribológico de chapas recubiertas con Zn-Ni en el proceso de embutición de piezas de automoviles. Universitat. Politècnica de València.

- Pérez, C. R. (2024). Influencia de los elementos aleantes y el ciclo térmico en las propiedades de las soldaduras de aceros de alta resistencia. *Metales & Procesos Industriales*.
- Pérez, O. H. (2020). Soldadura por arco con electrodo refractario en la atmósfera protectora de gas interior (soldadura TIG). Editorial Universitaria (Cuba).
- Rabia, S. (2017). AWS D1. 6-D1. 6M-2017-Structural Welding Code-Stainless Steel. *Structural Welding Code-Stainless Steel*.
- Ramírez Márquez, J. J. (2024). Virtualización de equipo y proceso para aplicación docente: soldadura oxiacetilénica. Universidad de Málaga.
- Rodríguez, P. &. (2024). Efecto de la velocidad de enfriamiento en la microestructura de soldaduras de acero de alta resistencia. *Revista Internacional de Ingeniería Metalúrgica*.
- SOLDADORAS. (16 de 12 de 2017). SOLDADORAS. Obtenido de SOLDADORAS: <https://soldadoras.com.ar/insumos-para-soldar/tipos-usos-las-varillas-aportes/>
- Torres Salinas, Y. V. (2024). Influencia de los recursos tecnológicos en el aprendizaje del proceso de soldadura GTAW en los alumnos de construcciones metálicas del VIII ciclo-Huacho-2023. Universidad Nacional de José Faustino Sanches Carrión.
- Villavicencio Cevallos, J. C. (2010). Relación, Microestructura/Propiedad en la Soldadura Gtaw entre Aceros Inoxidables y Aceros al Carbono. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.