

Influence of atmospheric oxygen content in the argon purge process in TIG welding in AISI 304 stainless steel pipe

Segundo Manuel Espín-Lagos ^a, Diana Carolina Coello-Fiallos ^a, Jorge Patricio Guamanquispe-Toasa ^a, Cristian Fabián Pérez-Salinas ^a & Jorge Alexandro Paredes-Zumbana ^b

^a Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. sespin@uta.edu.ec, dc.coello@uta.edu.ec, jp.guamanquispe@uta.edu.ec, cf.perez@uta.edu.ec

^b Energías del Agro San Juan, Playas, Ecuador. j.paredes@eneragro.com.ec

Received: February 09th, 2018. Received in revised form: November 11th, 2018. Accepted: December 12th, 2018.

Abstract

TIG welding was performed on AISI 304 stainless steel pipes purged with argon, the amounts of atmospheric oxygen in the purge chamber analyzed in this work were 999, 500, 200, 100, 50, 25 and 10 ppm that used to determine as the amount of oxygen affects the superficial quality of the heat affected zone (HAZ) in the internal part of the pipe. In this study, mechanical tests, metallographic analysis and morphological study were carried out. We determined that the levels of discoloration in the HAZ are directly influenced by the amount of atmospheric oxygen present in the purge, with amounts between 50 to 10 ppm the discoloration is according to AWS D18.1 and AWS D18.2 standards. While was evidenced good resistance in the welded joint because the failure occurs in the base metal and not in the HAZ which has not influence of surface discoloration corresponding to 10 ppm.

Keywords: purged; atmospheric oxygen; discoloration; heat-affected area; mechanical strength.

Influencia del contenido de oxígeno atmosférico en el proceso de purgado con argón en la soldadura TIG de tubería de acero inoxidable AISI 304

Resumen

Se realizaron soldaduras TIG en tuberías de acero inoxidable AISI 304 purgadas con argón, con 999, 500, 200, 100, 50, 25 y 10 ppm de oxígeno atmosférico en la cámara de purga para determinar si esto influye en la calidad superficial de la zona afectada por el calor (ZAC) en la parte interna de la tubería. En este estudio se realizaron ensayos mecánicos, análisis metalográfico y morfológico. Se determinó que los niveles de decoloración en la ZAC están directamente influenciados por la cantidad de oxígeno atmosférico presente en la purga, por lo que con cantidades entre 50 a 10 ppm se evidencia decoloraciones de acuerdo a las normas AWS D18.1 y AWS D18.2. Se evidenció buena resistencia en la junta soldada debido a que la falla se da en el metal base y no en la ZAC que no ha tenido influencia de la decoloración superficial que corresponde a 10 ppm.

Palabras clave: purgado; oxígeno atmosférico; decoloración; zona afectada por el calor; resistencia mecánica.

1. Introducción

Los aceros inoxidables son un gran grupo de aleaciones de Fe-Cr y Fe-Cr-Ni con presencia de otras aleaciones como Mo, C, Ti, Nb, Si o Mn, que entre sus campos de uso se encuentra la industria alimenticia, las mismas que deben cumplir especificaciones de soldadura de los metales reactivos. La

soldadura correcta de estos materiales es una combinación de técnicas de soldadura y la creación de un entorno inerte [1].

En Ecuador existen varias industrias azucareras, por su gran producción de la caña de azúcar [2]; estas industrias deben garantizar buenas prácticas de manufactura (BPM) en la que interviene el uso de tuberías de acero inoxidable [3,4]. La gran mayoría de estas industrias usa tuberías de acero inoxidable AISI

How to cite: Espín-Lagos, S.M., Coello-Fiallos, D.C., Guamanquispe-Toasa, J.P., Pérez-Salinas, C.F. and Paredes-Zumbana, J.A., Influencia del contenido de oxígeno atmosférico en el proceso de purgado con argón en la soldadura TIG de tubería de acero inoxidable AISI 304. DYNA, 86(208), pp. 355-361, January - March, 2019

© The author; licensee Universidad Nacional de Colombia. 
Revista DYNA, 86(208), pp. 355-361, January - March, 2019, ISSN 0012-7353
DOI: <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.70364>

304 en el transporte y procesado del producto alimenticio, las mismas que son adaptadas a los requerimientos de cada industria mediante procesos de soldadura que deben ser libre de elementos que pueden afectar la calidad del producto alimenticio, como son los óxidos de cromo y hierro presentes en un proceso inadecuado de soldadura [1].

En las tuberías de diámetro reducido (hasta 6 pulgadas) por lo general se realiza soldadura TIG (Tungsten inert gas) [5,6], la función principal del gas inerte utilizado en los procesos de soldadura es mantener la atmósfera protectora en la zona de fusión, para evitar la corrosión-oxidación inmediata de la zona soldada, mejorando su calidad y aspecto. La función del argón como gas de purga, dentro de las tuberías o canalizaciones a soldar, es desalojar al máximo la presencia de oxígeno atmosférico, creando un entorno inerte a la junta de soldadura [7-9].

En los estudios de la soldadura TIG de dos aceros inoxidable se toma en cuenta la evolución microestructural, así como de las propiedades mecánicas [6].

Los aceros inoxidable austeníticos por ejemplo el 304L tiene la tendencia marcada a la formación de óxidos sobre su superficie durante la soldadura. Estos óxidos cambian a diferentes colores, como amarillo, rojo o azul, dependiendo tanto de la concentración de oxígeno a la que están expuestos, como a la temperatura que alcanzan al ser calentados por la soldadura [10,11].

La norma BPE: 2009 Tabla MJ-3, menciona que la decoloración presente en la superficie de la ZAC debe estar bien adherida de tal manera que las operaciones normales no las eliminen y en cualquier caso la ZAC no deberá tener adiciones de “sugaring” [12].

Taban E. y otros [13] reportan que las juntas soldadas sin algún tipo de purga revela un área con capas de óxido de cromo que reduce la resistencia a la corrosión y que en las juntas soldadas con gas de purga, la profundidad de los tintes de calor se reducen y los colores son claros comparados con las soldaduras sin purga.

Una cámara inerte puede proteger la parte inferior de la soldadura y las superficies del metal base adyacente de la contaminación atmosférica [5,14,15]. Alba Obrutsky y otros realizaron la caracterización de discontinuidades reales en un tubo recto con costura de acero inoxidable AISI 304L, perteneciente a un condensador de vapor de una central termoeléctrica encontrando distintos tipos de defectos en las paredes internas del tubo, ubicados en los cordones de soldadura, atribuyendo así al proceso de fabricación del tubo y al uso deficiente o nulo de un proceso de purgado con gas de respaldo al efectuar la soldadura [16].

En este estudio se analiza como la presencia de oxígeno atmosférico en la cámara de purgado modifica el grado de calidad en la parte interna de la junta soldada de una tubería de acero inoxidable AISI 304. Se ha estudiado el nivel de decoloración de la soldadura, la presencia de defectos superficiales y la resistencia mecánica en la zona afectada por el calor (ZAC).

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Tubería de acero inoxidable AISI 304 cédula 40 de 4 pulgadas de diámetro, varilla de aporte ER308L de 3/32

pulgadas de diámetro, electrodo de tungsteno WT20 punta roja de 3/32 pulgadas de diámetro, argón de alta pureza (99.998 %) con contenido de oxígeno < 2 ppm, cinta adhesiva de aluminio para alta temperatura, tubería de acero inoxidable “tubing” de 5/16 pulgadas de diámetro y espesor de 3/64 pulgadas, caucho de neopreno espesor de 9/16 pulgadas y malla de acero inoxidable de mesh 80.

2.2. Equipos

Soldadora Lincoln Invertec V350 PRO, antorcha TIG STAREX, flujómetros para argón VICTOR, medidor de oxígeno residual INTERPURGE 772, lámpara magnificadora RT 202, Microscopio óptico VAN GUARD y el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM de sus siglas en inglés) TESCAN Vega3.

2.3. Métodos

2.3.1. Cámara de purga

Para el diseño de la cámara de purga se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- La hermeticidad para evitar fugas de argón o el ingreso del oxígeno atmosférico desde el exterior,
- Permitir que el argón libere presión proveniente del envase evitando formar turbulencia y mezclas argón-oxígeno dentro de la cámara,
- Garantizar que la dosificación del argón se dirija a la zona de la junta de soldadura,
- Limitar el volumen de la cámara evitando gastos innecesarios en el consumo de argón y
- Permitir que el excedente de argón salga de la cámara.

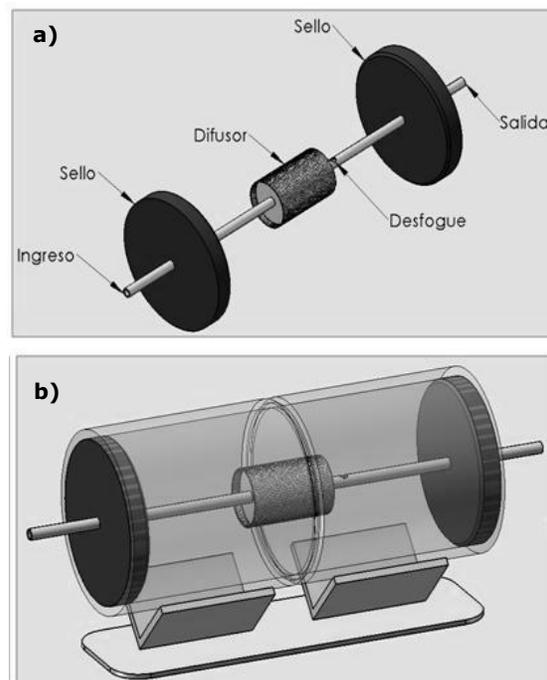


Figura 1. Diseño para ensamblaje de los elementos de la cámara de purga. Fuente: Los autores.

En la Fig. 1 se presenta el diseño de la cámara de purga para la tubería de 4 pulgadas que será soldada. El ingreso y salida del argón en la cámara de purga se realiza con tramos de tubing insertados en los sellos (dos discos de caucho de neopreno), con un diámetro que permita conseguir el sellado entre la pared interna del tubo de 4 pulgadas. La difusión del argón a la cámara se da a baja velocidad para evitar turbulencia, esto se consigue con un difusor fabricado en malla de mesh 80, el mismo que debe quedar centrado en la junta de soldadura para que la distribución del argón tome contacto directo con esta zona (Fig. 1a).

La Fig. 1b, muestra la tubería ya lista para soldar con la cámara de purga diseñada. El aislamiento de la cámara de purga con el exterior se consigue envolviendo en su totalidad la junta de soldadura con cinta adhesiva de aluminio, dejando únicamente un orificio para insertar el sensor de oxígeno.

2.3.2. Medidor de oxígeno

El medidor de oxígeno residual INTERPURGE Modelo 772 (Fig. 2); se utilizó siguiendo el siguiente proceso: después de encenderlo se espera 90 segundos para precalentar el sensor; el manómetro del cilindro de argón debe estar cerrado antes de insertar el sensor en la cámara, una vez que el sensor está dentro de la cámara, se enciende la bomba y una luz piloto denominada “flow” deberá encenderse indicando que el flujo es correcto; el flujo de argón dentro de la cámara no debe exceder los 3.5 ft³/h (100 lts/h) para evitar la avería de la bomba, una vez que se permita el ingreso de argón a la cámara el instrumento se encuentra listo para reportar el valor de oxígeno residual.

2.3.3. Soldadura TIG

La soldadura TIG se realizó con una corriente de 89 A y con un flujo constante de argón de 10 ft³/h para la antorcha y 3.5 ft³/h para la cámara de purga, se inicia el monitoreo del oxígeno residual controlando la pantalla del Interpurge, para realizar la soldadura en cada caso de estudio (999, 500, 200, 100, 50, 25 y 10 ppm) de acuerdo al respectivo procedimiento WPS. Después de realizar la soldadura perimetral de las dos tuberías de acero AISI 304 en 4 pulgadas, se procede a la extracción de las probetas para los ensayos de doblado y de tracción que fueron realizados de acuerdo a las normas AWS B4.0:2007 [18] y AWS D18.1:1999 [11] respectivamente, la geometría para la extracción de las probetas se muestra en la Fig. 3.

Los ensayos de tracción se han desarrollado con el equipo Tinius Olsen modelo Super L120, y de acuerdo a la norma ASTM A240 [LAEV-EPN] que indica una resistencia mínima a la tracción del material base AISI 304 de 75 ksi (515 MPa). Para los ensayos de doblado, la probeta anclada de un extremo debe ser envuelta en un rodillo o mandril, mientras se ejerce una fuerza en el otro extremo, hasta alcanzar la curvatura del rodillo y 180 grados de dobles. El diámetro del rodillo utilizado fue de 32.44 mm de acuerdo con la norma AWS B4.0:2007.

Los ensayos de doblado de cara y de raíz, del metal base y la zona afectada por el calor quedaron centrados en la zona de dobles como indica la norma AWS D18.1:199 [6].



Figura 2. Medidor de oxígeno residual INTERPURGE Modelo 772. Vista frontal y posterior con los nombres de sus principales componentes. Fuente: [17].

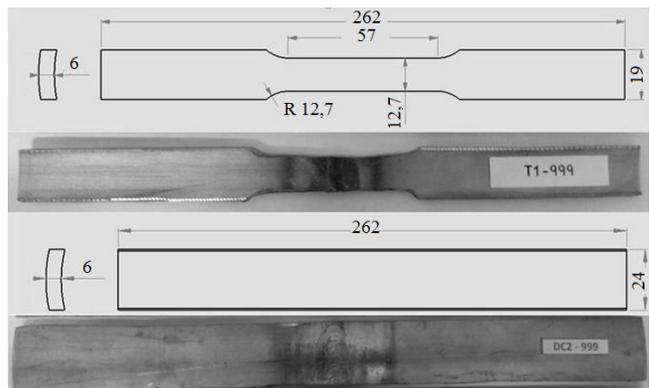


Figura 3. Geometría para los ensayos de tracción con la fotografía de la probeta (superior), y geometría para ensayo de doblado con la fotografía de la probeta (inferior).

Fuente: Los autores

3. Resultados y discusión

3.1. Decoloración de la ZAC

La variación del contenido de oxígeno atmosférico en la cámara de purga con argón muestra cómo, a medida que se reduce su cantidad va mejorando la calidad de la junta soldada; en los casos de estudio en descenso desde 999 a 10

ppm de oxígeno atmosférico, se puede observar que el nivel de decoloración (tinte de calor) en la ZAC decrece favorablemente y disminuye la defectología de la soldadura (Fig. 4).

La Fig. 4a, muestra la presencia de óxidos de aspecto negro y granuloso, conocido como “sugaring”, además el nivel de coloración es alto, con tonalidades oscuras que van desde el centro del cordón hacia los extremos variando desde negro cercano al cordón de soldadura para pasar a colores marrón, azul, lila, rojo hasta alcanzar un color amarillo en el metal base. Para éste caso de estudio, no existió purga con argón, cuando tenemos 999 ppm de oxígeno en la cámara. Este caso es el patrón de comparación para los demás casos de estudio en los que el oxígeno atmosférico en la cámara de purga es controlado.

La Fig. 4b, evidencia una ZAC con un nivel de coloración todavía alto, como resultado del contenido de oxígeno atmosférico en la purga en 500 ppm, continúa la presencia de sugaring e imperfecciones tales como: falta de penetración e inclusiones; además desaparece el color negro y aparece una zona azulada.

En la Fig. 4c, el cordón de soldadura empieza a evidenciar un brillo característico del acero inoxidable, mostrándose más uniforme; el contenido de oxígeno atmosférico a 200 ppm ha permitido una reducción en el nivel de decoloración, los colores oscuros tienden a tomar un color claro, aunque en ciertas zonas existen capas con material removible.

En la Fig. 4d, con un contenido de oxígeno atmosférico en la purga de 100 ppm se observa que predomina el color azul, las capas grises sobre el cordón de soldadura son mínimas, el cordón resalta más su brillo y se nota una mejor fusión del material de aporte.

En la Fig. 4e, con un contenido de oxígeno atmosférico de 50 ppm en la purga, se observa las siguientes características: en la decoloración que el color azul se distancia del centro del cordón de soldadura hacia los costados, no existe exceso de penetración, el cordón muestra su forma y brillo, y permaneciendo la presencia del color amarillo claro.

La Fig. 4f, muestra como han desaparecido los tintes de color amarillo/lila/azul oscuro, quedando zonas en color azul claro y amarillo pajizo, el brillo del cordón de soldadura es natural del acero inoxidable y la decoloración se muestra bien adherida a la superficie.

En la Fig. 4g, con un contenido de oxígeno atmosférico en la purga de 10 ppm, se observa delimitada la ZAC con colores claros, únicamente son visibles dos colores en tinte de calor, el azul claro y el amarillo pajizo, el cordón de soldadura se muestra completamente brillante y sin contaminación.

Con este análisis se determina que las Figs. 4f, 4g se sujetan a lo establecido en la norma AWS D18.1:1999 [11] en cuanto a la decoloración presente en la zona afectada por el calor. Adicionalmente no se evidencia la presencia de óxido, hierro libre o adiciones de “sugaring” en ningún caso concordando con lo establecido en la norma BPE: 2009 [12].

Las juntas soldadas sin algún tipo de purga comúnmente revelan un área con capas de óxido de cromo que reduce la resistencia a la corrosión, pero varios estudios han demostrado que en las juntas soldadas con gas de purga se

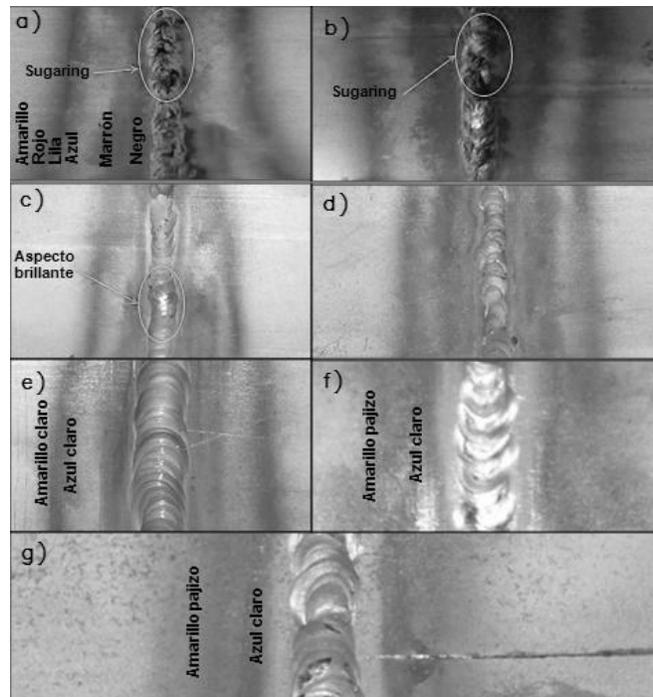


Figura 4. Niveles de decoloración y presencia de imperfecciones de soldadura en la ZAC, según el contenido de oxígeno atmosférico en la cámara de purga. a) 999 ppm, b) 500 ppm, c) 200 ppm, d) 100 ppm, e) 50 ppm, f) 25 ppm, g) 10 ppm.

Fuente: Los autores

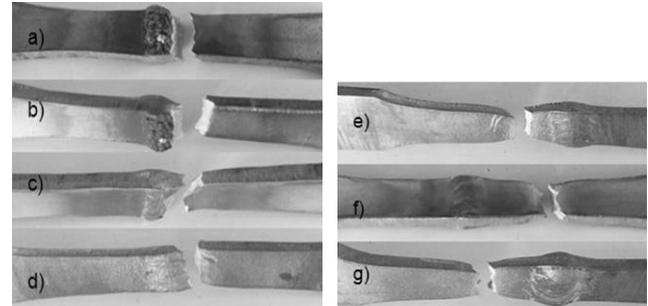


Figura 5. Probetas fracturadas en el ensayo de tracción: a) 999 ppm, b) 500 ppm, c) 200 ppm, d) 100 ppm, e) 50 ppm, f) 25 ppm, g) 10 ppm.

Fuente: Los autores

reduce la defectología al controlar el oxígeno atmosférico en la cámara de purga para la realización del proceso de soldadura. Se evidencia que en las juntas soldadas con gas de purga, la profundidad de los tintes de calor se reduce y los colores son claros [10-13].

3.2. Resistencia a la tracción

La Fig. 5, muestra las probetas ensayadas en la máquina Tinius Olsen modelo Super L120, todas llevadas hasta la fractura. Se conoce que la resistencia a la tracción del metal base (AISI 304) es de 515 MPa (75 ksi) [19] y según el catálogo de consumibles AGA la resistencia a la tracción del metal de aporte (ER 308L) es de 552 MPa (80 ksi) [20].

Tabla 1.
Valores de Resistencia a tracción en probetas a diferente contenido de oxígeno atmosférico en la cámara de purga.

Probeta	Resistencia Tracción (MPa)	Metal base	Metal aporte	Falla
T-999	618,23	515	552	Cordón de soldadura
T-500	570,38	515	552	Cordón de soldadura
T-200	607,66	515	552	Cordón de soldadura
T-100	578,76	515	552	Cordón de soldadura
T-50	618,77	515	552	Metal base
T-25	565,45	515	552	Metal base
T-10	607,25	515	552	Metal base

Fuente: Los autores

En la Tabla 1, se muestra los valores promedio de la resistencia a la tracción en las probetas para cada caso de contenido de oxígeno atmosférico en la purga, notando que, para los casos de contenido de oxígeno atmosférico en 999, 500, 200 y 100 ppm, la fractura se presenta en el cordón de soldadura, mientras que para las probetas con contenido de oxígeno atmosférico en la purga de 50, 25 y 10 ppm, la falla se da en el metal base, alejada del cordón de soldadura.

Se atribuye la fractura de las probetas en el cordón de soldadura (Figs. 5a-5d), debido a que durante el proceso de soldadura existen variables como: la falta de penetración, estabilidad del arco o concentración de temperatura en la ZAC, por el contenido de oxígeno atmosférico presente en la cámara, que impide que el argón actúe en la zona de fusión. Se observa que en las probetas 5e, 5f y 5g la rotura se produjo en el metal base, evidenciando que la soldadura resiste.

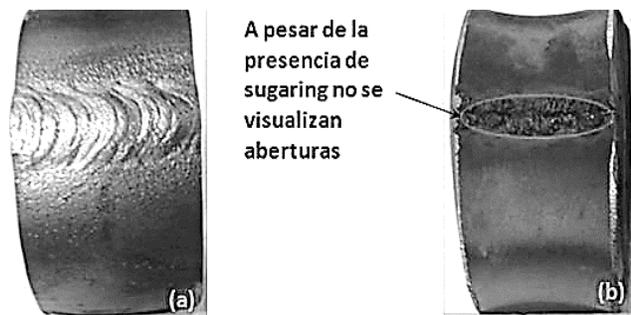


Figura 6. Probeta con contenido de oxígeno atmosférico de 999ppm. a) Doblado guiado de cara, b) Doblado guiado de raíz.

Fuente: Los autores

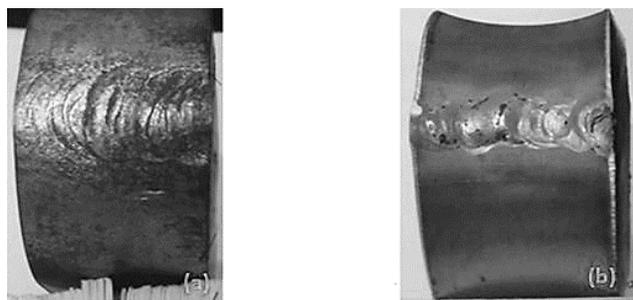


Figura 7. Probeta con contenido de oxígeno atmosférico de 10ppm. a) Doblado guiado de cara, b) Doblado guiado de raíz.

Fuente: Los autores

3.3. Resistencia al doblado

El análisis se realiza mediante ensayos y fotografías realizadas.

Las Figs. 6, 7, muestran las probetas para los casos de contenido de oxígeno atmosférico en la purga de 999 y 10 ppm respectivamente, en las que se realizó el doblado guiado de cara y de raíz.

Se ha determinado una buena resistencia al doblado en ambos casos. La presencia de imperfecciones como sugaring en la probeta con contenido de oxígeno de 999 ppm, no influye en la generación de grietas y aberturas durante el proceso de doblado.

3.4. Metalografía de la junta soldada

El análisis metalográfico se realizó a la probeta de soldadura con 200 ppm y 10 ppm contenido de oxígeno (Fig. 8), dado que han mostrado los mejores comportamientos a los ensayos mecánicos realizados. El ataque previo a la observación en el microscopio óptico se realizó con el reactivo Vilella para observar la microestructura de la junta soldada de acero inoxidable AISI 304 y metal de aporte ER308L.

Las Figs. 9, 10 son muestras de soldadura observadas en el microscopio óptico para analizar la microestructura formada. En la Fig. 8a, (200 ppm de oxígeno atmosférico durante la soldadura), se evidencia dos zonas: la zona equiaxial que corresponde a los granos cuyo crecimiento ha sido igual en todas las direcciones y la zona epitaxial presenta una morfología de cristales sólidos del tipo dendrítico que tienen la forma parecida a un árbol, el tallo principal se llama brazo primario dendrítico y las ramas ortogonales se llaman brazos secundarios dendríticos. La Fig. 8b evidencia la estructura del metal base de tipo planar, y como se solidifica el cordón de soldadura de acuerdo con un gradiente de temperatura.

En la Fig. 9, (10 ppm de oxígeno atmosférico durante la soldadura) se observa algo similar a la microestructura a 200 ppm, en la interfaz de solidificación se observa la presencia de cristales sólidos de tipo dendrítico en la zona epitaxial del cordón de soldadura y una estructura granular del tipo planar en el metal base.

Para complementar el estudio se realizó un estudio morfológico con el microscopio electrónico de barrido (SEM), las observaciones se realizaron en alto vacío obteniendo imágenes con el detector de electrones retro-dispersos. Las imágenes SEM (Fig. 10) revelan con mayor detalle la formación del cordón de soldadura y el metal base comparables con reportes previos [14], evidenciando la formación de cristales sólidos del tipo dendrítico en la zona epitaxial del cordón de soldadura y una morfología planar en el metal base similares para ambas muestras caracterizada 200 ppm (Fig. 10a) y 10 ppm (Fig. 10b). La Fig. 10c, muestra el metal base AISI 304, que tiene un crecimiento de granos de forma equiaxial.

4. Conclusiones

Con este estudio se ha determinado que se obtiene un nivel de decoloración bueno cuando el oxígeno atmosférico es menor a 50 ppm, obteniendo el nivel adecuado cuando el contenido de oxígeno atmosférico es de 10 ppm. Además la

rotura de las probetas se da en el cordón de soldadura cuando el contenido de oxígeno atmosférico es mayor a 100 ppm, a diferencia que cuando es menor a 100 ppm la rotura por tracción será en el metal base.

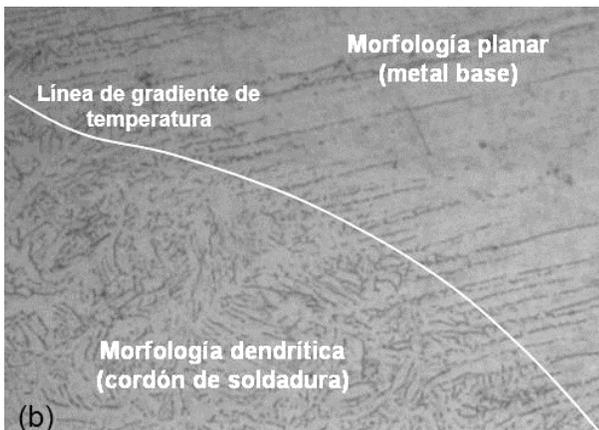
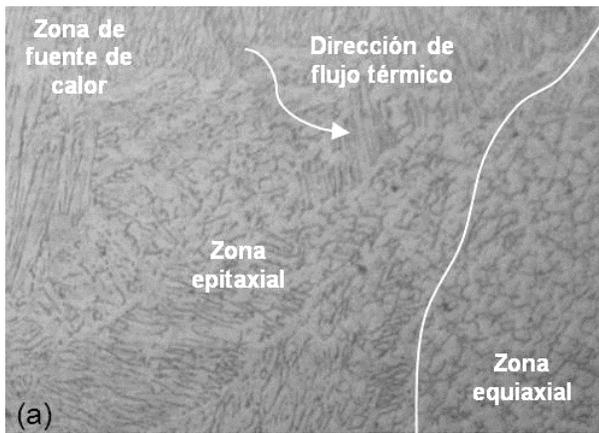


Figura 8. Microestructura a 100X de probeta con contenido de oxígeno en la purga de 200ppm. a) Imagen con zona equiaxial y zona epitaxial del metal base en el límite de fusión, b) Imagen de la zona de solidificación del cordón de soldadura.

Fuente: Los autores

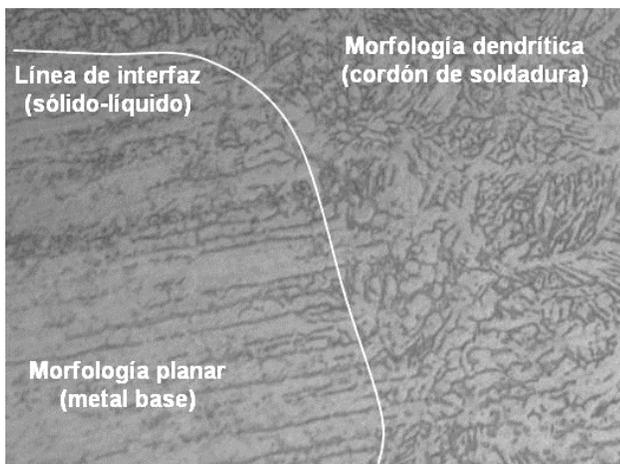


Figura 9. Microestructura a 100X, con contenido de oxígeno en la purga de 10ppm. En la interfaz sólido-líquido se evidencia dos tipos de morfología granular, dendrítica en el cordón de soldadura y planar en el metal base.

Fuente: Los autores

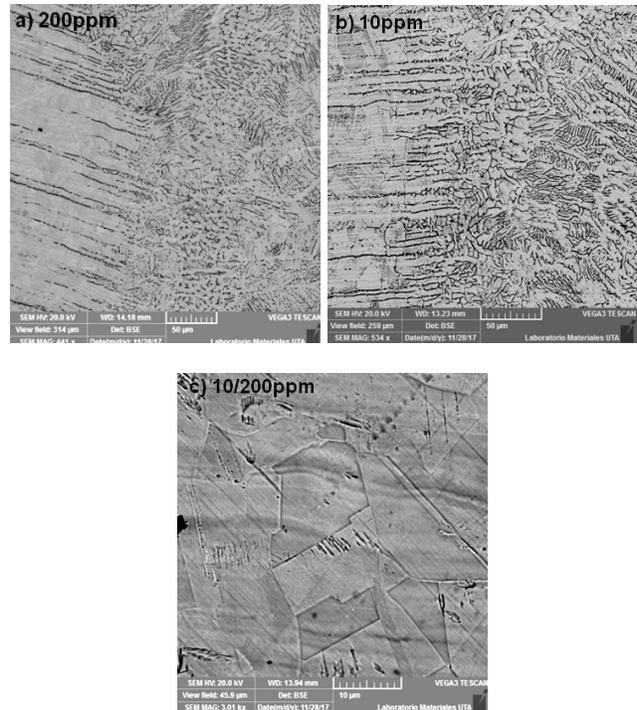


Figura 10. Imágenes SEM de la ZAC en la intercara de la soldadura. a) con contenido de oxígeno en la purga de 200ppm a 534X. b) con contenido de oxígeno en la purga de 10ppm a 441X y c) metal base para ambos casos a 3001X.

Fuente: Los autores

Los ensayos de resistencia muestran que la rotura se da en el metal base para soldaduras con presencia de oxígeno de 50 ppm, 25 ppm y 10 ppm; mientras que en el resto se rompe en el cordón de soldadura. Los análisis morfológicos han permitido corroborar que la junta soldada con tan solo 10 ppm de oxígeno atmosférico en la purga con argón evita la rotura en el cordón de soldadura, lo que brinda tener mejor resistencia mecánica de los aceros AISI 304 para el uso en la industria alimenticia.

Referencias

- [1] Niebles, E.E. and Arnedo, W.G., Welding procedures and welder qualifications: a proposal for teaching and application guide for the industry, *Informacion tecnologica* [online]. 20(3), pp. 19-30, 2009. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-67650726936&origin=inward&txGid=5a0414b44331b6810aa2cbd566ee1274>
- [2] Mendoza-Haro, E.I. and Robles-Salguero, R.E., Recycling of waste oils for power transmission in industry and service in Milagro city Ecuador, *Universidad, Ciencia y Tecnologia* 19(77), pp. 160-165, 2015.
- [3] Flores, C.E., Buenas prácticas de manufactura (BPM), *Revista de Ingenieria Primero*. 20, pp. 122-141, 2010.
- [4] Partington, E., *Stainless steel in the food and beverage industry*, *Materials Applied*. 7, Fairfor (UK), 2006.
- [5] Shirwaikar, C.V. and Reddy, G.P., Purging with nitrogen in the welding of austenitic stainless steels, (n.d.), pp. 12-15, 1975.
- [6] Gómez-de Salazar, J.M., Ureña, A., Cobollo, M., Barranco, V. and Alvarez, M.J., TIG welding of 20-05 duplex stainless steel (Uranus 45N y Avesta). *Microstructural studies and mechanical properties*, *Revista de Metalurgia de Madrid*, 34, pp. 271-275, 1998.

- [7] Welding Handbook, 9th edition, Miami FL, Welding science and technology, vol. 1., s.a.
- [8] Zorc, B., Automatic TIG welding of austenitic stainless steels in nitrogen and nitrogen-based gas mixtures, *Revista Metalurgia*, 4[online], 7, pp. 29-37, 2011. Available at: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/1176/1187>
- [9] Martínez-Conesa, E.J., Estrems-Amestoy, V.M., Mguel-Euguía, V., Garrido-Hernández, A. y Guillén-Martínez, J.A., Soldadura T.I.G. de acero inoxidable. Modelo numerico para el calculo de la temperatura de la ZAC, *DYNA*, 85(2), pp. 123-130, 2010.
- [10] American Welding Society (AWS), Specification for welding of austenitic stainless steel tube and pipe systems in sanitary (hygienic) applications, AWS D18.1, 1999.
- [11] American Welding Society (AWS), Specification for welding austenitic stainless steel tube and pipe systems in sanitary (hygienic) applications, AWS D18.1/D18.1M. Miami, 2009.
- [12] ASME, Bioprocessing Equipment, BPE, 2009.
- [13] Teban, E., Kaluc, E. and Aykan, T.S., Effect of the purging gas on properties of 304H GTA welds, *Welding Journal*, [online]. 93, pp. 124-130, 2014. Available at: http://files.aws.org/wj/supplement/WJ_2014_04_s124.pdf
- [14] Pascual, M., Salas, F., Carcel, F.J., Perales, M. and Sánchez, A., TIG AISI-316 welds using an inert gas welding chamber and different filler metals: changes in mechanical properties and microstructure, *Rev. Metal. Madrid*, [online]. 46(6), pp. 493-498, 2010. Available at: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/1139>.
- [15] Marques, P.V. y Modenesi, P.J., Características del arco de soldadura TIG en diferentes atmósferas. I parte, 292, pp. 292-300, 1999.
- [16] Obrutsky, A., Acosta, C., Scopelliti, J., Méndez, J. y Penas, P., Caracterización de discontinuidades reales en un tubo de acero inoxidable AISI 304L utilizando corrientes inducidas, *Radiografía Industrial y Análisis Metalográfico*, IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires, [en línea]. 2007. Available at: <http://www.ndt.net/search/docs.php3?showForm=off&id=4705>
- [17] Manual Purge Monitor InterPurge 772 Complete 110V - 240V.
- [18] American Welding Society (AWS), Standard methods for mechanical testing of welds, AWS B4.0, Apartado 6.6.3 - 6.6.4., 2007.
- [19] Callister, W., *Materials science and engineering*, Wiley, 9, pp. 415, 2014.
- [20] Catálogo de consumibles AGA

S.M. Espín-Lagos, se titula de Ing. Mecánico en 1992 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador y obtiene su MSc., en Diseño Mecánico en el 2012 en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, tiene 14 años de experiencia en empresa privada y 15 años de docente en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en el área de materiales y diseño, coordinador de la Unidad de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, director del Centro de Apoyo al Desarrollo Metalmeccánico CADME, y actualmente subdecano de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, tiene 11 artículos publicados en revistas indexadas en Latindex y Scopus y 2 artículos en el XII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica CIBIM XII.
ORCID: 0000-0001-8049-452X

J.P. Guamanquispe-Toasa, se titula de Ing. Mecánico en 1994 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y MSc., en Diseño Mecánico en el 2012 en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, tiene 14 años de experiencia en empresa privada y 14 años de docente en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en el área de materiales y diseño, actualmente es coordinador de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
ORCID: 0000-0002-0739-8408

D.C. Coello-Fiallos, se titula de Biofísica en el 2012 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, PhD en Física y Tecnologías Cuánticas en 2017 en la University of Calabria, Italia. Desde el 2013 miembro de Surface Nanoscience Group, donde ha realizado estudios de nano-materiales a base de carbono. Del 2013 al 2015 en el Istituto per la

Tecnologia delle Membrane (ITM) del Consiglio Nazionale della Ricerca, (CNR), en investigaciones de síntesis de materiales para la adsorción de contaminantes en medios líquidos. Actualmente, se encuentra trabajando como docente-investigador en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador y pertenece al Grupo de investigación de Ciencia y Tecnología de Materiales, de la misma universidad.

ORCID: 0000-0003-3628-5004

C.F. Pérez-Salinas, obtiene el título de Ing. Mecánico en 2008 y MSc. en Diseño Mecánico en el 2013 en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Egresado en Diseño y Manufactura Asistido por Computador en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, tiene 8 años de experiencia en producción y manufactura de productos y 4 años como docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en el área de Materiales y Manufactura.
ORCID: 0000-0003-4031-5464

J. Paredes-Zumbana, es Ing. Mecánico en 2007 y MSc. en Diseño Mecánico en 2017, en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Se ha involucrado en el diseño y montaje de equipos de almacenamiento y tuberías destinadas al transporte de productos alimenticios, como aceite de palma para la Terminal BIOPALM en Autoridad Portuaria de Esmeraldas en Ecuador, elaboración de azúcar blanca a partir de la caña de azúcar en Energías del Agro S.A. Ingenio Azucarero San Juan, en Ecuador.
ORCID: 0000-0003-2183-6897



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería Mecánica

Oferta de Posgrados

Doctorado en Ingeniería - Mecánica y Mecatrónica
Maestría en Ingeniería - Ingeniería Mecánica
Especialización en Mantenimiento

Mayor información:

E-mail: acmecanica_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 4259262