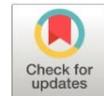


Evaluación del PWHT en el acero ASTM A743 mediante el análisis de datos de microdureza y metalografía

Evaluation of PWHT in ASTM A743 steel by analyzing microhardness and metallography data

- 1 Juan Carlos Quinchuela Paucar  <https://orcid.org/0000-0002-4469-3035>
Maestría en Diseño Industrial y de Procesos Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
juan.quinchuela@esPOCH.edu.ec
- 2 Raúl Gregorio Martínez Pérez  <https://orcid.org/0000-0002-1552-7580>
Maestría en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
raul.martinez@esPOCH.edu.ec
- 3 Edison Patricio Abarca Pérez  <https://orcid.org/0000-0001-7041-4805>
Maestría en Diseño Producción y Automatización Industrial, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
edison.abarca@esPOCH.edu.ec
- 3 Cristhian Fabián Cañizares Silva  <https://orcid.org/0000-0001-7850-9147>
Ingeniero Mecánico
cristhiancanizares@outlook.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 06/04/2022

Revisado: 21/05/2022

Aceptado: 23/06/2022

Publicado: 05/07/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.220>

Cítese:

Quinchuela Paucar, J. C., Martínez Pérez, R. G., Abarca Pérez, E. P., & Cañizares Silva, C. F. (2022). Evaluación del PWHT en el acero ASTM A743 mediante el análisis de datos de microdureza y metalografía. AlfaPublicaciones, 4(3), 6–21. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.220>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

palabras**claves:**

Tratamiento
térmico post
soldadura,
microdureza,
acero
inoxidable
martensítico,
microestructura,
martensita.

Keywords:

Post weld heat
treatment,
microhardness,
martensitic
stainless steel,
microstructure,
martensite.

Resumen

Introducción: El acero inoxidable ASTM A743 grado CA-6NM es un material ampliamente usado en la construcción de turbinas hidráulicas por sus excelentes propiedades mecánicas, debido a ello, su costo y el de los elementos construidos son bastante elevados, por eso resulta importante recurrir a procedimientos de reparación como la soldadura con el fin de aprovechar al máximo su vida útil. **Objetivo:** Evaluar la influencia del tratamiento térmico post soldadura por medio del análisis de valores de microdureza que se obtienen en un cordón de soldadura, empleando como material de aporte varilla de soldar E410NiMo-15. **Metodología:** La metodología aplicada fue de tipo experimental, se desarrolló el ensayo de microdureza Vickers y las identaciones realizadas fueron cada 500µm en la zona fundida y cada 200µm en la zona afectada térmicamente tanto en las direcciones horizontal y vertical con respecto al eje de soldadura. **Resultados:** El efecto del tratamiento térmico se evidenció en la reducción de la dureza con un aproximado del 12.68% en la raíz del cordón y valores similares en las demás zonas del pozo de soldadura, considerando las mediciones que se obtuvieron del ensayo, el ancho de la zona afectada térmicamente es de 2.5mm aproximadamente, mientras tanto que en el análisis microestructural se evidencia una reducción en los tamaños de grano de la martensita revenida en todas las zonas después del PWHT, con una disminución del tamaño de las agujas de la matriz martensítica. **Conclusión:** Se evidenció el efecto de tratamiento térmico post soldadura al analizar los cambios microestructurales que se produjeron, sumado a esto se obtuvo una homogeneización de la dureza en todas las zonas del cordón, sin embargo, se concluye que al someter al material a un proceso de reparación por soldadura se reducen sus propiedades mecánicas, acortando su vida útil.

Abstract

Introduction: ASTM A743 grade CA-6NM stainless steel is used material in the construction of hydraulic turbines due to its excellent mechanical properties, for this reason, its cost is quite high, that is why it is important to resort to repair procedures such as welding to maximize its useful life. **Objective:** To evaluate the influence of post-weld heat treatment through the analysis of microhardness values obtained in a weld bead, using E410NiMo-15 welding rod as

filler material. **Methodology:** The methodology applied was of an experimental type, the Vickers microhardness test was developed, and the indentations made were every 500 μ m in the molten zone and every 200 μ m in the thermally affected zone both in the horizontal and vertical directions with respect to the welding axis. **Results:** The effect of the thermal treatment was evidenced in the reduction of the hardness with an approximate of 12.68% in the root of the cord and similar values in the other zones of the weld pit, considering the measurements obtained from the test, the width of the thermally affected zone is approximately 2.5mm, while the microstructural analysis shows a reduction in the grain sizes of the tempered martensite in all the zones after the PWHT, with a decrease in the size of the needles of the martensitic matrix. . **Conclusion:** The effect of post-welding heat treatment was evidenced by analyzing the microstructural changes that occurred, added to this, a homogenization of hardness was obtained in all areas of the weld, however, it is concluded that by subjecting the material to a process of repair by welding its mechanical properties are reduced, shortening its useful life.

Introducción

El acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA-6NM es el material empleado para la construcción de una turbina hidráulica, el cual debe ser resistente a la corrosión, abrasión, esfuerzos mecánicos, etc. (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2019). La fabricación de estas máquinas se da por procesos de fundición, sin embargo, debido al movimiento y trabajo que desarrollan durante su funcionamiento reciben directamente todas las cargas producidas por el choque del agua, lo cual produce un desgaste superficial perjudicando su funcionamiento. Entre los métodos de recuperación de los perfiles hidrodinámicos de los componentes de las turbinas hidráulicas está la soldadura ya sea como proceso de relleno o unión (Marra & Ramírez, 2012).

El proceso de soldadura incluye consideraciones metalúrgicas muy importantes y delicadas, debido a las transformaciones de fase que se producen en la microestructura por efecto de las grandes variaciones de temperatura y velocidades de enfriamiento que pueden originar la fragilización del material influyendo en su resistencia mecánica (The Welding Institute, 2009).

Según Pástor (2004), se definen distintas zonas metalúrgicas en el pozo de soldadura, entre ellas están la zona fundida donde se produce la fusión del metal de aporte y el metal base, la zona afectada térmicamente que está ubicada adyacente a la zona fundida, aquí se produce un cambio en la microestructura del metal aún sin haber cambiado de estado sólido a líquido durante el proceso de soldadura, mientras más ancha sea esta zona es más perjudicial en las propiedades del material (Carrouge, 2002). Estas variaciones importantes que se generan en la microestructura del material provocan la acumulación de esfuerzos y un incremento no deseado en la dureza de este (Mirakhorli, 2017).

Según Boudreault (2014), el tratamiento térmico post soldadura (PWHT) se emplea para producir una estructura más homogénea en la zona de la soldadura con respecto al metal base no afectado y hacer que las propiedades mecánicas del pozo de soldadura se encuentren dentro de los límites permitidos del material original. Una forma de evaluar el efecto del PWHT sobre el metal soldado de una manera cuantitativa es desarrollando ensayos de micro dureza en el cordón de soldadura que además complementado con un análisis metalográfico permite revelar los procesos de recuperación, tratamientos térmicos a los que se ha sometido un componente, lo cual resulta muy útil para analizar el comportamiento del material e incluso predecir su vida útil (Villavicencio, 2010).

La búsqueda bibliográfica ha permitido concluir que no existe un estudio en específico que analice el efecto del PWHT sobre la soldadura del acero ASTM A743 grado CA-6NM que considere la dureza obtenida en el cordón y la microestructura desarrollada en el material durante este proceso, es por eso la importancia del presente artículo ya que mediante su desarrollo permitirá evaluar la influencia del tratamiento térmico y determinar la posibilidad de someter los componentes contruidos de este material a un proceso similar de reparación sin que se vean comprometidas sus propiedades mecánicas y garantice el cumplimiento de las condiciones de trabajo para las cuales fue diseñado.

Metodología

La metodología desarrollada fue de tipo experimental en donde, para garantizar los resultados de la investigación, en primer lugar, se comprobó que el material base empleado corresponda a un acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM, ya que fue obtenido de un álabe directriz de turbina hidráulica dada de baja, la verificación de la composición del material fue mediante espectrometría, empleando un espectrómetro portátil de emisión óptica por chispa marca BRUKER, manteniendo un porcentaje de error menor al 5% y bajo los procedimientos de estandarización y calibración del equipo descrito por el fabricante.

El ensayo de soldadura se desarrolló bajo los procesos y especificaciones descritas en la tabla 1, el material de aporte empleado fue E410NiMo-15 por su compatibilidad química con el metal base y el diseño de los cupones permitió desarrollar un proceso de unión con

múltiples pases de soldadura. Se optó por aplicar el proceso de soldadura GTAW para garantizar soldaduras de gran calidad y asegurar la penetración del material de aporte en el pase de raíz y caliente (American Welding Society [AWS], 2015).

Tabla 1
Parámetros de soldadura

Pase N°	Proceso	Material de aporte	Voltaje	Amperaje	Velocidad de avance (mm/min)	Flujo de calor (KJ/mm)
1: Raíz	GTAW	ER410NiMo	11,5-12,5	130-135	96,0	0,374-0,422
2: Caliente	GTAW	ER410NiMo	12-13,5	160-165	102,6	0,449-0,521
3: Relleno	SMAW	E410NiMo-15	23-27	115-117	218,2	0,582-0,695
4: Relleno	SMAW	E410NiMo-15	25-28	115-117	214,3	0,644-0,734
5: Capa	SMAW	E410NiMo-15	25-28	115-117	222,2	0,621-0,708
6: Capa	SMAW	E410NiMo-15	25-30	115-117	210,5	0,656-0,800

Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

Para definir los parámetros del PWHT se consideró lo recomendado en el Welding Handbook (AWS, 2019), donde se especifica que para el acero martensítico grado CA6NM la temperatura del PWHT debe ser entre 593-621°C, como se indica en la Tabla 2 mostrada a continuación:

Tabla 2
Tratamiento térmico post soldadura para aceros inoxidable martensíticos

Tipo	Rango de temperatura de PWHT		Rango de temperatura de recocido completo	
	°C	°F	°C	°F
CA-6NM	593-621	1100-1150	788-816	1450-1500
CA-15, CA-40	621-649	1150-1200	843-899	1550-1650
403,410,416	649-760	1200-1400	829-885	1525-1625

Nota: Calentamiento a 595°C-620°C, una hora de mantenimiento (-0, +15 minutos) y enfriamiento al ambiente. **Fuente:** AWS (2019)

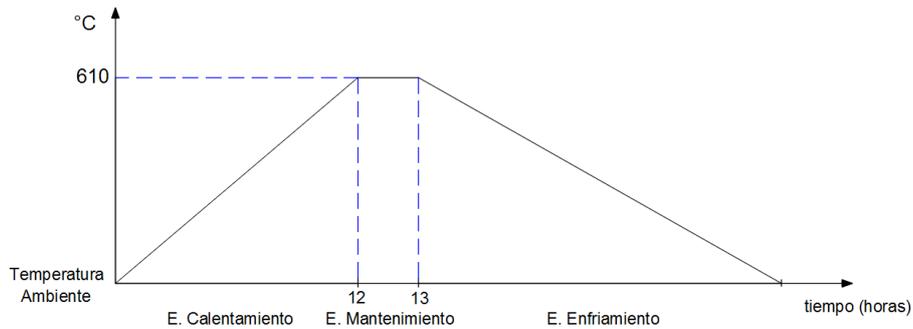
Estos rangos de temperatura guardan relación con lo recomendado por el AWS A5.4/A5.4M con respecto al tratamiento térmico post soldadura para el material de aporte.

Según Zappa (2017), el efecto del PWHT tiene mayor influencia con la variación de la temperatura de sostenimiento que con respecto al tiempo que se aplique y como recomendación general el tiempo de mantenimiento debe ser de 2 min/mm (1h/in) con una tasa de calentamiento y enfriamiento menor a 80°C/h. Tomando en cuenta estos

parámetros el ciclo del PWHT quedó definido de la siguiente manera: Calentamiento hasta los $610 \pm 10^\circ\text{C}$ con sostenimiento de 1 hora a una tasa de calentamiento de $50^\circ\text{C}/\text{hora}$ y posterior enfriamiento a temperatura ambiente y aire calmado. La curva del ciclo térmico se muestra en la figura 1.

Figura 1

Ciclo térmico del PWHT



Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

El ensayo de micro dureza Vickers sobre los cordones de soldadura en la probeta antes y después del PWHT se desarrolló bajo las especificaciones de *ASTM E384 Standard Test Method for Microhardnes of Materials*. La obtención de las muestras se realizó mediante corte en frío y una preparación adecuada de la superficie para garantizar los resultados del ensayo. El equipo empleado fue un microdurómetro automático marca EMCOTEST serie ES384896 y los parámetros para el ensayo son los indicados en la Tabla 3.

Tabla 3

Parámetros para ensayo de microdureza Vickers

Microdureza	Equipo	Marca	Registro
Vickers	Microdurómetro	EMCOTEST	ES 384896
Identador	Precarga	Carga	Tiempo
Pirámide de diamante 136°	0,05 kgf	0,3 kgf	10 s

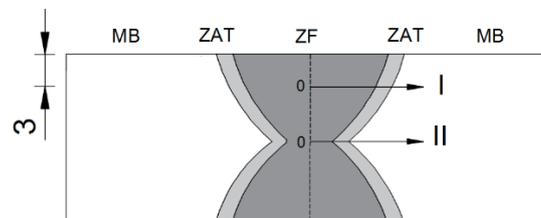
Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

El procedimiento para la realización del ensayo consistió en realizar identaciones a lo largo de las líneas I y II que se trazaron desde el eje del cordón de soldadura, mostrado en la

Figura 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** , dichas identaciones se llevaron a cabo cada $500\mu\text{m}$ en la zona fundida (ZF) y cada $200\mu\text{m}$ en la zona afectada térmicamente (ZAT), así mismo se llevaron a cabo identaciones cada $500\mu\text{m}$ sobre el eje vertical que une las líneas II y I.

Figura 2

Distribución de las indentaciones para el ensayo de microdureza



Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

Es importante mencionar que los valores obtenidos del ensayo de microdureza vickers fueron cambiados y exportados en escala de medición de dureza Brinell HBW30 con el fin de facilitar la comparación con los datos bibliográficos disponibles.

Las muestras para el análisis metalográfico se obtuvieron de las juntas soldadas antes y después del PWHT, la preparación metalográfica se llevó a cabo bajo las especificaciones *ASTM E3 Standar Practice for Preparation of Metallographic Specimens*, haciendo uso de una máquina de corte en frío marca STRUERS para evitar el calentamiento del material. Para el desbaste se emplearon discos abrasivos desde 80 hasta 1200 μm en tanto que el pulido se efectuó con pasta de diamante y óxido de alúmina con tamaños abrasivos desde 9 a 0.1 μm hasta obtener una superficie tipo espejo. El Ataque químico para todas las muestras se llevó a cabo bajo los parámetros que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Ataque para aporte martensítico

Reactivo	Composición	Procedimiento
	5ml HCL	
Vilella's	1 g ácido Pícrico	Esparcir por toda la superficie y dejar
	100 ml Ethanol (95%)	actuar por 30 segundos

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM, 2015).

Finalmente, con el uso del microscopio metalográfico invertido Olympus GX51 se analizó la microestructura de la muestra preparada.

Resultados

Los resultados del ensayo de espectrometría se muestran en la

Tabla 5 y al tomar como referencia lo indicado en la ASTM (2019) se verifica que el material es un acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM.

Tabla 5

Resultados ensayo de espectrometría

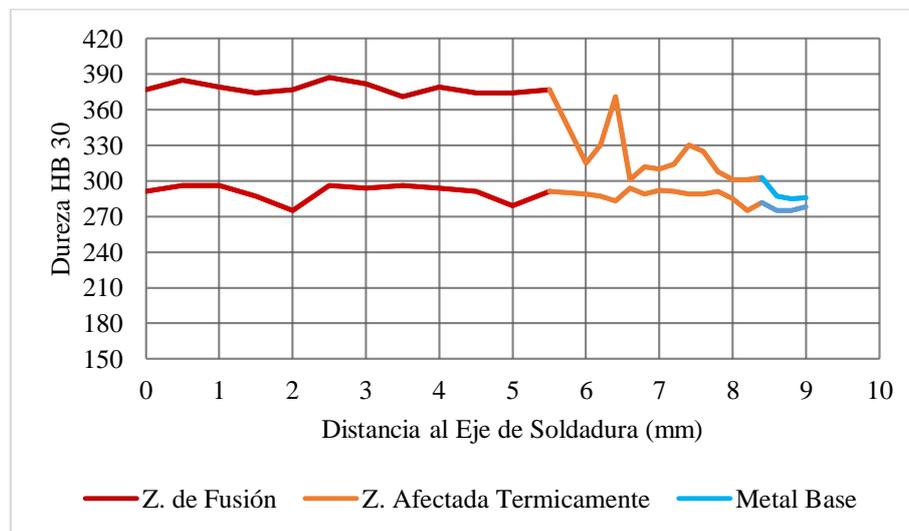
C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]
0.044	0.6	0.587	0.025	<0.0035	12.02	3.805	0.507

Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

Los valores de dureza obtenidos permitieron construir la Figura 3 mostrada a continuación, en ella se puede observar los resultados de los ensayos llevados a cabo sobre la línea de investigación N°1 en la muestra antes y después del tratamiento térmico post soldadura, además mediante un código de colores se puede observar los resultados en las distintas zonas del cordón de soldadura.

Figura 3

Comparación de dureza en la línea N°1 antes y después del PWHT



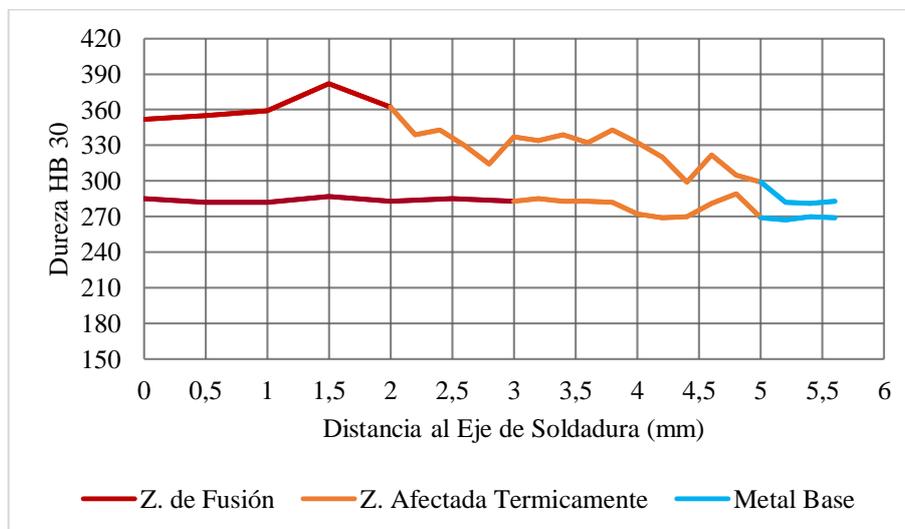
Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

En tanto que los resultados obtenidos en la línea de investigación N°2 se observan en la

Figura 4, de la misma manera se indican los resultados de una muestra antes y después del PWHT.

Figura 4

Comparación de dureza en la línea N°2 antes y después del PWHT

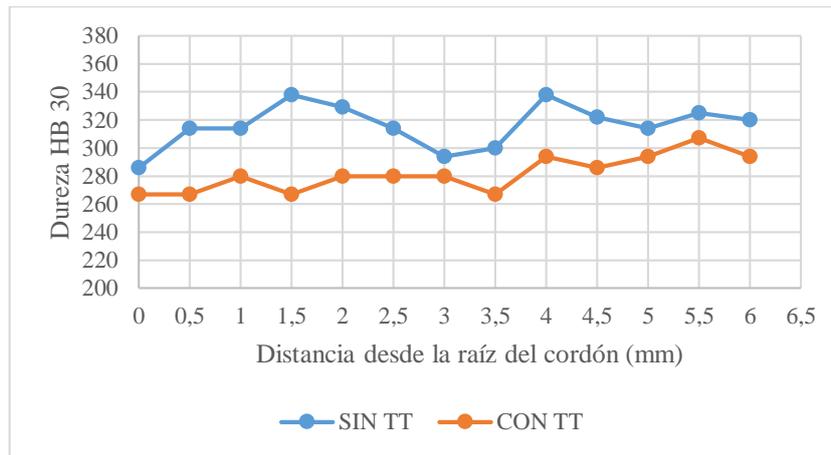


Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

La Figura 5 representa los resultados de dureza medida a lo largo del eje vertical del cordón de soldadura, cuya medida empieza desde la raíz hacia las capas más superficiales como se graficó en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 5

Dureza sobre el eje vertical del cordón de soldadura



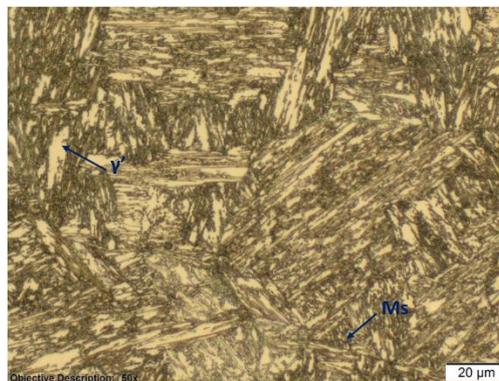
Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

El análisis metalográfico del acero ASTM A743 CA-6NM en estado de suministro se muestra en la

Figura 6.

Figura 6

Microestructura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM

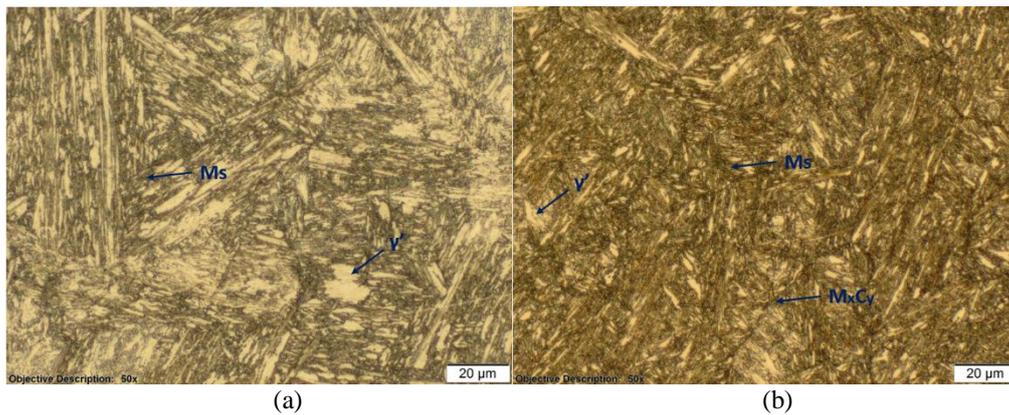


Nota: Objetivo: 500X. Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

La Figura 7 (a) muestra la microestructura presente en la ZAT antes del PWHT, la cual se caracteriza principalmente por la presencia en su totalidad de martensita revenida (Ms) y austenita retenida (γ'), mientras que en la Figura 7 (b) se muestra el resultado después del PWHT.

Figura 7

Microestructura de la ZAT



Nota: Objetivo: 500X. **Fuente:** Cañizares & Quinchuela (2017)

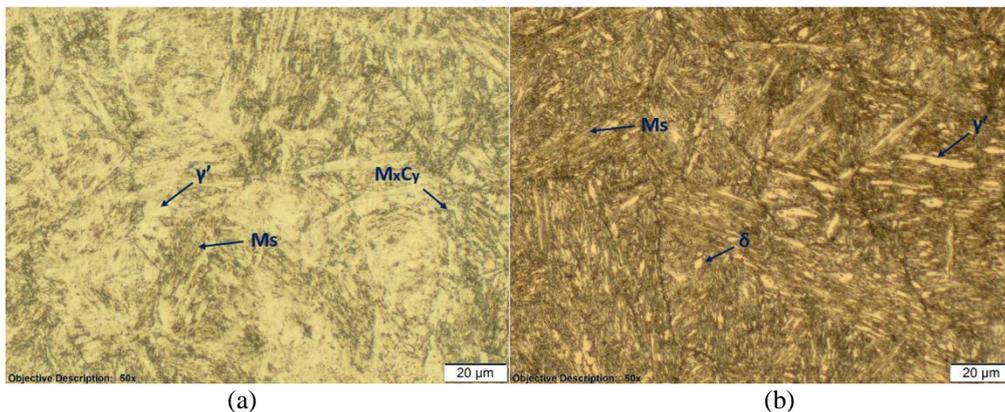
La

Figura 8 (a) representa la microestructura de la ZF antes del PWHT, se observa presencia de martensita revenida (Ms), austenita retenida (γ') y carburos (M_xC_y), mientras que en la

Figura 8 (b) se muestra la microestructura después del tratamiento térmico.

Figura 8

Microestructura de la ZF



Nota: Objetivo: 500X. **Fuente:** Cañizares & Quinchuela (2017)

Discusión

Los altos picos de temperatura que se alcanzan durante el proceso de soldadura se manifiestan en el elevado incremento de la dureza en el pozo de soldadura, donde se evidencian valores máximos de 387 HBW30 en la zona fundida. Este valor de dureza representa un incremento de aproximadamente el 45% en comparación con la dureza del metal base.

Las gráficas permiten observar claramente el efecto del tratamiento térmico en la reducción de los valores de microdureza en todas las zonas y además se evidencia que después del tratamiento térmico post soldadura se logra una homogenización de la dureza en el cordón de soldadura hasta llegar al material base.

En la Tabla 6 mostrada a continuación se han resumido los resultados obtenidos con respecto al tamaño de la zona afectada térmicamente en base a los valores de microdureza después del tratamiento térmico post soldadura, en donde se evidencia que el porcentaje de reducción de dureza es del 24% aproximadamente.

Tabla 6

Tamaño del ZAT y reducción de la dureza

	Tamaño de ZAT (mm)		Reducción de Dureza (%)
	Por Microdureza	Calculado	
Línea 1	2,4	2,706	24
Línea 2	2,6	2,181	24

Fuente: Cañizares & Quinchuela (2017)

La Figura 5 muestra un comportamiento similar al que descrito por Hoyos (2009), donde se aporta información muy importante relacionada al comportamiento de la dureza correspondiente a los pases sucesivos de soldadura que se realizan ya que en la muestra

sin PWHT se observa como la dureza es menor en la raíz de soldadura que en las capas superficiales.

El análisis metalográfico del metal base en estado de suministro presenta básicamente una estructura martensítica en su totalidad y una vez que el material ha sido sometido al proceso de soldadura es importante analizar los cambios en la ZAT, en esta zona se puede evidenciar principalmente martensita revenida (Ms) y austenita retenida (γ'), en la ZF se observa presencia de martensita revenida (Ms), austenita retenida (γ') y carburos (M_xC_y), la presencia de la fase martensítica, conjuntamente con sus características mecánicas supone un incremento en la dureza del material lo cual se evidencia claramente en los valores obtenidos (Uzunali & Cuvalci, 2015).

Una vez que las muestras se han sometido al PWHT tanto en la ZAT como en la ZF se identifica la presencia de los mismos elementos microestructurales (Ms, γ' , M_xC_y), sin embargo, es importante mencionar que en la ZAT se evidencia una reducción en el tamaño de los listones de martensita, en tanto que en la ZF los límites de grano se han vuelto más marcados y se evidencia pequeñas islas de ferrita (δ), factores que sin duda influyen en el comportamiento mecánico del material generando la disminución de su dureza (Wang, 2010).

Se muestra una gran influencia del PWHT, ya que al aplicarlo muestra una incidencia del 5% al realizar una homogeneización de las propiedades del pozo de soldadura con respecto al MB. Ninguna zona posee una dureza mayor o igual a 300 HBW30 después del tratamiento térmico.

Conclusiones

- El efecto del PWHT sobre el procedimiento de soldadura desarrollado se evidencia en la reducción de la dureza del pozo de soldadura, ya que sobre la línea N°1 la reducción es de aproximadamente 19.4% y sobre la línea N°2 de 12.68%, lo cual favorece a las propiedades mecánicas de resistencia del metal, además el perfil de microdurezas permite verificar la homogeneización del pozo de soldadura entre sus distintas zonas. El ancho final aproximado del ZAT es de 2.5mm de acuerdo con los valores de microdureza.
- En el análisis de la muestra sin PWHT se evidencia la influencia de los pases múltiples de soldadura en la dureza del material sobre todo en la zona fundida ya que se reduce por el efecto de revenido parcial que sufre esta zona por efecto de los pases sucesivos realizados, la reducción aproximada es del 16.4% al igual que provoca un menor tamaño de grano en la zona central de la junta.
- El análisis microestructural concluye un refinamiento en el tamaño de grano de la martensita revenida en todas las zonas después del PWHT, con una disminución

del tamaño de las agujas de la matriz martensítica por lo cual se justifica la reducción de su dureza, este parámetro es fundamental ya que permite evaluar si el material ha sido previamente sometido a un procedimiento de reparación o tratamiento térmico y determinar hasta qué punto la vida útil del acero puede mantener sus propiedades mecánicas apropiadas.

Referencias Bibliográficas

- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2019). *Standard Specification for Castings, Iron- Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application*. Aenor. <https://tienda.aenor.com/norma-astm-a743-a743m-19-102609>.
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2015). *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. Academia. https://www.academia.edu/32908100/Standard_Practice_for_Microetching_Metals_and_Alloys_1
- American Welding Society [AWS]. (2019). *Materials and Applications Welding Handbook*. Welding and its alloys notes and resources. <https://1filedownload.com/welding-and-its-alloys-notes-and-resources/>
- American Welding Society [AWS]. (2015). *Welding Processes Welding Handbook*. Welding and its alloys notes and resources. <https://1filedownload.com/welding-and-its-alloys-notes-and-resources/>
- Boudreault, E. (2014). In situ post-weld heat treatment on martensitic stainless steel turbine runners using a robotic induction heating process to control temperature distribution. *Earth and Environmental Science*, 22. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/22/1/012016/pdf>
- Cañizares, C. & Quinchuela, J. (2017). *Tecnologías para la recuperación por soldadura de álabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM (UNS J91540)* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Dspace Espoch. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6977>
- Carrouge, D. (2002). Microstructural change in elevated temperature heat-affected zone of low carbon weldable “13 %Cr” martensitic stainless steels. *Stainless Steel World*, 6. https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2003/SSW_article.pdf

- Hoyos, E. (2009). Efecto de la técnica de pases de revenido en las propiedades mecánicas del acero ASTM A743: Grado CA6NM. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Unal. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2172/>.
- Marra, J & Ramírez, A. (2012). Análisis de causas de las fisuras en el rodete de la turbina de la U06 de la central hidroeléctrica ITAIPU [seminario]. *X Seminario del sector eléctrico paraguayo – CIGRÉ*, Asunción, Paraguay. <https://docplayer.es/98174927-Analisis-de-causas-de-las-fisuras-en-el-rodete-de-la-turbina-de-la-u06-de-la-central-hidroelectrica-itaipu-joao-m-marra-aldo-m.html>
- Mirakhorli, F. (2017). Phase structures and morphologies of tempered CA6NM stainless steel welded by hybrid laser-arc process. *Materials Characterization* 123, 264-274. https://www.researchgate.net/publication/309541262_Phase_structures_and_morphologies_of_tempered_CA6NM_stainless_steel_welded_by_hybrid_laser-arc_process
- Pástor, Mario. (2004). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. <https://es.scribd.com/document/374551029/INTRODUCCION-A-LA-METALURGIA-DE-LA-SOLDADURA-DE-M-PASTOR-pdf>
- The Welding Institute. (2009). *Materials joining and engineering technologies*. Training and Examination Services Worldwide. <http://www.twittraining.com/home/course-schedule/cswip-senior-welding-inspector-level-3>.
- Uzunali, U. & Cuvalci, H. (2015) The effects of post weld heat treatment on the mechanical properties of tempered martensite and high strength steel welded joints [conferencia]. The 2015 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics. Incheon, Korea. http://www.i-asem.org/publication_conf/asem15/2.ICSCS15/2t/T2C.1.SC157_2096F1.pdf
- Villavicencio, J. (2010) *Relación, microestructura/propiedad en la soldadura GTAW entre aceros inoxidable y aceros al carbono*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo] DSpace Espoch. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/393>.
- Wang, P. (2010). Effect of delta ferrite on impact properties of low carbon 13Cr–4Ni martensitic. *Materials Science and Engineering A.*, 527, 3210-3216. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509310001310>.
- Zappa, Sebastián. (2017). Effect of post-weld heat treatment on the mechanical properties of supermartensitic stainless steel deposit. *Journal of Materials Engineering and*

Performance, 26. <https://www.springerprofessional.de/en/effect-of-post-weld-heat-treatment-on-the-mechanical-properties-/11946946>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

