



*Estudio de los Efectos de la Temperatura de Pre calentamiento sobre la Microestructura y Propiedades Mecánicas de Aceros ASTM A36 y A572 GR. 50*

*Study of the Effects of Preheating temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of Steels ASTM A36 y A572 GR. 50*

*Estudo dos efeitos da temperatura de pré-aquecimento na microestrutura e propriedades mecânicas dos aços ASTM A36 e A572 GR. cinquenta*

Marco Homero Almendariz-Puente <sup>I</sup>  
[marco.almendariz@esepoch.edu.ec](mailto:marco.almendariz@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8743-9459>

Ronald Patricio Vaca-Guadalupe <sup>II</sup>  
[ronald.vaca@esepoch.edu.ec](mailto:ronald.vaca@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9386-5393>

Erika Pahola Medina-Guaman <sup>III</sup>  
[erika.medina@esepoch.edu.ec](mailto:erika.medina@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-5585-0112>

**Correspondencia:** [marco.almendariz@esepoch.edu.ec](mailto:marco.almendariz@esepoch.edu.ec)

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de revisión

\***Recibido:** 30 de noviembre de 2020 \***Aceptado:** 20 de diciembre de 2020 \* **Publicado:** 09 de enero de 2021

- I. Magister en Docencia Universitaria e Investigacion Educativa, Ingeniero Mecanico, Docente de la Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Estudiante de Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Estudiante Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.



## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad determinar los efectos del pre calentamiento en juntas de acero ASTM A36 de 6 mm y ASTM A572 Gr. 50 4 mm soldadas por proceso SMAW. Utilizando dicho procedimiento, se elaboran juntas a tope sin bisel, aplicando un pre calentamiento a 115°C, 300°C y 500°C, para compararlas con juntas soldadas sin pre calentamiento. Se comparan los cambios microestructurales y propiedades mecánicas con la realización de ensayos de microdureza, tracción e impacto, todos ellos basados en los estándares de normas AWS y ASTM. Mediante el análisis metalográfico de las muestras se observa que en la ZAC, se forman microestructuras como ferrita acircular y Widmanstatten con presencia de Bainita. Posterior a esto, se realiza el ensayo de microdureza Vickers, el mismo que evidencia una disminución de microdureza en el cordón y la ZAC, a medida que la temperatura de pre calentamiento aumenta. En el ensayo de tracción se pudo observar un ligero incremento de resistencia a la tracción, mientras que la resistencia al impacto Charpy disminuye considerablemente al aplicar temperaturas de pre calentamiento. Por lo que, al aplicar temperaturas de pre calentamiento elevadas en placas delgadas, se observa que no hay cambios significativos en las propiedades mecánicas.

**Palabras clave:** Análisis metalográfico; propiedades mecánicas; temperatura de pre calentamiento; junta soldada; microestructura.

## Abstract

The purpose of this research work is to determine the effects of preheating in steel joints ASTM A36 6 mm and ASTM A572 Gr. 50 4 mm welded by SMAW process. Using this procedure, butt joints without bevel are made, applying a preheat to 115 ° C, 300 ° C and 500 ° C, to compare them with welded joints without preheating. Microstructural changes and mechanical properties are compared with the performance of microhardness, tensile and impact tests, all of them based on the standards of AWS and ASTM norms. Through the metallographic analysis of the samples, it is observed that in the HAZ, microstructures such as acircular ferrite and Widmanstatten are formed with the presence of Bainite. After this, the Vickers microhardness test is carried out, which shows a decrease in microhardness in the cord and the HAZ, as the preheating temperature increases. In the tensile test, a slight increase in tensile strength could be observed, while the Charpy impact

resistance decreases considerably when applying preheating temperatures. Therefore, when applying high preheating temperatures to thin plates, it is observed that there are no significant changes in mechanical properties.

**Keywords:** Metallographic analysis; mechanical properties; preheating temperature; welded joint; microstructure.

## Resumo

O objetivo deste trabalho de pesquisa é determinar os efeitos do pré-aquecimento em juntas de aço ASTM A36 6 mm e ASTM A572 Gr. 50 4 mm soldadas pelo processo SMAW. Com este procedimento, são feitas juntas de topo sem bisel, aplicando um pré-aquecimento a 115 ° C, 300 ° C e 500 ° C, para compará-las com juntas soldadas sem pré-aquecimento. Alterações microestruturais e propriedades mecânicas são comparadas com a realização de testes de microdureza, tração e impacto, todos baseados nos padrões da AWS e normas ASTM. Através da análise metalográfica das amostras, observa-se que na ZTA, microestruturas como ferrita acircular e Widmanstatten são formadas com a presença de Bainita. Em seguida, é realizado o teste de microdureza Vickers, que mostra uma diminuição da microdureza do cordão e da ZTA, conforme aumenta a temperatura de pré-aquecimento. No teste de tração, um ligeiro aumento na resistência à tração pode ser observado, enquanto a resistência ao impacto Charpy diminui consideravelmente ao aplicar temperaturas de pré-aquecimento. Portanto, ao aplicar altas temperaturas de pré-aquecimento em chapas finas, observa-se que não há alterações significativas nas propriedades mecânicas.

**Palavras-chave:** Análise metalográfica; propriedades mecânicas; temperatura de pré-aquecimento; junta soldada; Microestrutura.

## Introducción

Los aceros ASTM A36 y ASTM A572 GR. 50 son ampliamente utilizados en la fabricación de planchas y perfiles estructurales, los cuales se usan en la construcción de estructuras metálicas. En la actualidad están siendo empleados en grandes construcciones debido a que se logra disminuir peso, en comparación con edificaciones y proyectos que ocupan hormigón (McCorman y Csernak, 2014). Por esta razón el trabajo pretende determinar los efectos que causa el precalentamiento en microestructuras y propiedades mecánicas de las juntas soldadas mediante proceso SMAW en

aceros estructurales, determinando si se puede realizar el precalentamiento para ayudar a disminuir defectos que en ocasiones se presentan (Zhai et al, 2019). Entre ellos, evita el agrietamiento tanto en frío como en caliente en el metal de la soldadura o en la zona afectada por el calor (Howard y Scott, 2010).

En artículos científicos se investigan los efectos de los tratamientos térmicos en las soldaduras. En todos los estudios revisados se observa que la aplicación de un tratamiento térmico a la soldadura no afecta de forma adversa al desempeño de la junta, en la mayoría de casos de estudio la aplicación de un precalentamiento mejora las propiedades mecánicas de las soldaduras (Rodríguez, 2013). Por ello, al existir poca información de estudios, en el cual se empleen espesores menores a 10mm, se observa la necesidad de realizar la presente investigación con el fin de determinar la influencia de un precalentamiento en juntas soldadas de acero ASTM A36 de 6mm y A572 de 4mm. Los espesores seleccionados se basan en estudios similares para espesores mayores, pero en la industria de la construcción de estructuras metálicas se emplean vigas y planchas de espesores menores a 10mm (NEC, 2014). Además se escoge el proceso de soldadura por arco eléctrico (SMAW), debido a que es el más utilizado en este tipo de conexiones soldadas, además es de fácil transporte y más accesible económicamente para cualquier industria o empresa en comparación con otros procesos de soldadura (Niebles y Arnedo, 2009)

El calentamiento previo se lo realiza a diferentes temperaturas, para compararlas con muestras en las que no se efectúa un precalentamiento con el fin de observar los resultados mediante la aplicación de las mismas. Donde, las microestructuras formadas en el metal de soldadura y en la ZAC cumplen un papel importante para el control de las propiedades mecánicas finales de la junta (Muhaed y Sharir, 2013). La entrada de calor y la velocidad de enfriamiento también tienen influencia directa en las microestructuras resultantes en el metal de soldadura y la ZAC (Lichan, Li; et al, 2013). Con la necesidad de resolver los defectos presentes en la soldadura, es de gran importancia realizar un estudio con el cual se pueda observar los efectos de precalentamiento en juntas de diferentes aceros estructurales soldados mediante proceso SMAW, tanto en propiedades mecánicas como en la microestructura. (Kumar y Singh, 2019)

Debido a esto, en la presente investigación se compara los valores obtenidos en ensayos mecánicos y microestructurales de juntas soldadas a diferentes temperaturas de precalentamiento, con una junta sin ningún tratamiento previo y con estos resultados establecer ciertas recomendaciones para

mejorar este tipo de procedimientos. De no hallar cambios significativos en los análisis de los ensayos realizados, se puede establecer una referencia donde se puede proponer el variar otro tipo de condiciones de trabajo como el amperaje de soldeo. (Sudhir y Ragender, 2019)

### Metodología

Para el trabajo de investigación se utiliza una metodología experimental pues basado en los estudios preliminares relacionados al tema se realizan pruebas en laboratorio donde se determina que el diseño de juntas soldadas es muy importante en el presente estudio, ya que a partir de las mismas se van a obtener probetas tanto para ensayos destructivos, con el fin de establecer las propiedades mecánicas, microscopia y dureza, esto basado en los estándares de las normas AWS Y ASTM. Por lo tanto, se debe garantizar el adecuado proceso de soldadura para obtener juntas soldadas de buena calidad.

### Materiales de ensayo

En el Ecuador, el acero ASTM A36 es uno de los más comunes y comerciales dentro de los aceros de tipo estructural, utilizado para la construcción de estructuras, puentes y demás aplicaciones estructurales (NEC, 2014). Se encuentra bajo la norma ASTM A36, la misma se aplica en la manufactura de perfiles estructurales laminados en caliente y placas, tiene un esfuerzo de fluencia de 250 MPa (36 Ksi) y una resistencia a la tracción de 400 a 550 MPa (58 a 80 Ksi). (ASTM A36, 2008).

**Tabla 1:** Características y composición química del acero ASTM A36

Espesor	6mm
Carbono, máx. %	0,25
Manganeso, máx. %	---
Fosforo, máx. %	0,04
Azufre, máx. %	0,05
Silicio, máx. %	0,4 máx.
Cobre, máx. %	0,2

El acero ASTM A572 Gr.50, es un tipo de acero estructural, es soldable y de baja aleación con micro aleantes como Vanadio y Niobio, los mismos que actúan como afinadores de grano. Posee

mejores propiedades mecánicas en comparación con el acero ASTM A36, gracias a estas se reduce peso y espesores en estructuras como puentes, carrocerías, etc. (ASTM A572/A572M-07,2007)

**Tabla 2:** Características y composición química del acero ASTM A572 Gr 50

Acero ASTM	Grado 50
Espesor	4mm
Carbono, máx. %	0,23
Manganeso, máx. %	1,35
Fosforo, máx. %	0,04
Azufre, máx. %	0,05
Silicio %	0,40
Placas hasta 1 ½ in. Espesor	

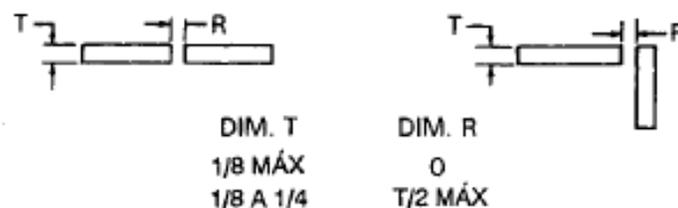
### Selección de las temperaturas de pre calentamiento

Se selecciona 3 temperaturas de pre calentamiento para cada uno de los aceros, la primera temperatura de 115°C es determinada por el método de Seferian, que es uno de los métodos más usados para calcular temperaturas de pre calentamiento en soldadura, mientras que, las temperaturas de 300°C y 500°C fueron asumidas arbitrariamente para poder observar cambios significativos a nivel microestructural y en propiedades mecánicas, al comparar con las probetas sin pre calentamiento.

### Diseño de la junta

Para el proceso de soldadura por pre calentamiento se utilizan planchas de acero estructural ASTM A572 Grado 50 de espesor 4mm y acero ASTM A36 de espesor 6mm. A partir de las cuales se elaborarán juntas soldadas. El diseño de juntas soldadas se lo realizará mediante el manual de soldadura de la AWS, el mismo que especifica que para espesores menores a 6mm (1/4 in) se realizan soldadura a tope y dependiendo del espesor se hace o no un bisel (AWS D1.1, 2015).

**Figura 1:** Diseño para juntas soldadas a tope



Fuente: (AWS D1.1, 2015).

En la fig. 1, se observa placas de espesor 1/8 in a 1/4 in (3,1mm – 6,3 mm), no se deben realizar el bisel para soldar y la soldadura se hace por ambos lados con una separación de 2mm, para las placas de 4mm y con una separación de 3mm, para las placas de 6mm. Como lo recomienda el manual de soldadura.

### Parámetros del proceso de soldadura

Es importante conocer los parámetros de soldadura, los equipos de soldadura SMAW trabajan a una corriente constante, en la soldadora empleada para la realización de placas soldadas se regula el amperaje con el que se va a soldar y este permanece constante durante el proceso. Siendo el amperaje constante cuando se genera el arco eléctrico en el electrodo, el voltaje de circuito abierto sufre una caída desde el voltaje de abierto (VCA), hasta el voltaje de arco (VA).

**Tabla 3:** Especificaciones técnicas del proceso de soldadura

Corriente	AC
Artículo	Soldadora de electrodo revestido
Rango de salida (Amperes)	40-225
Ciclo de trabajo	20%
Entrada (Amperes)	50
Frecuencia (Hz)	60
Voltaje de entrada (Voltios)	225
Voltaje de circuito de Salida (Voltios)	25
Material de aporte	Electrodo Revestido E6011

### Ensayos metalográficos

Para observar las fases que se encuentran en las diferentes zonas de soldadura, se realiza un análisis metalográfico basado en la norma ASTM-E3-11, la misma que indica el procedimiento para la preparación de las muestras para su análisis (ASTM-E3-11, 2011)

### Tamaño se grano

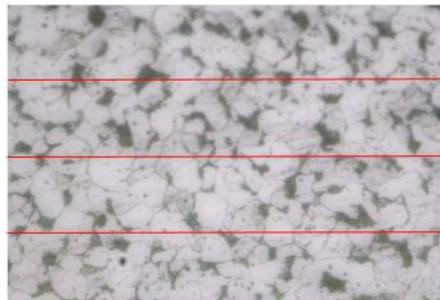
El cálculo de tamaño de grano se realizará mediante la norma ASTM E112 por el método de Intercepción lineal de Heyn. Por ello, se emplean las siguientes ecuaciones (1) y (2) para el cálculo del tamaño de grano. (ASTM E112, 2013)

$$N_L = Ni(L/M) \quad (1)$$

$$G = (6,643856 * \log(N_L)) - 3,288 \quad (2)$$

Para el conteo del número de intercepciones se trazan líneas paralelas en la micrografía como se muestra en la fig. 2. Al realizar el conteo de los granos se debe tener en cuenta que: si la línea pasa por el grano Ni es igual a 1, si la línea es tangencial a un límite de grano o termina dentro del grano Ni es 0,5.

**Figura 2:** Micrografía a 400X. Medición de tamaño de grano a 110  $\mu\text{m}$ , ataque químico:  $\text{HNO}_3$ + etanol (95%), fases: ferrita + perlita.



### Ataque químico

De acuerdo a la norma ASTM E407 – 07, el ataque químico se lo realizó con Ácido Nítrico (1-5ml  $\text{HNO}_3$ ) + Etanol (95%). La norma indica que la inmersión se debe realizar por unos pocos segundos, sin exceder el minuto; en este caso se mantuvo por 10 segundos. Este ataque químico se lo realiza con el fin de diferenciar las fases presentes en las muestras (ASTM E407, 2007).

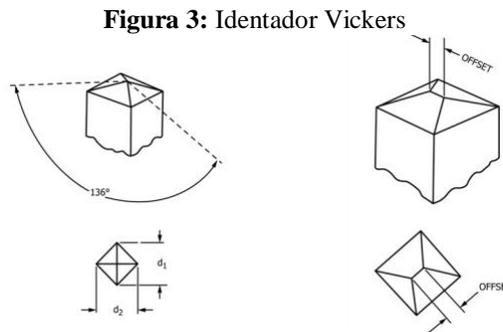
### Ensayo de microdureza Vickers

El objetivo de realizar este ensayo es obtener un perfil de durezas en la junta soldada. Para esto se empleó la norma ASTM E 384, la misma que cubre la determinación de la dureza de micro-identación de los materiales. Se realizó la medición de este tipo de durezas al tener un espesor de material de 4mm y 6mm.

Esta norma de prueba cubre las pruebas de micro-identación realizadas con penetradores Knoop y Vickers bajo fuerzas de prueba en el rango de  $9.8 \times 10^{-3}$  a 9.8 N (1 a 1000 gf). La norma recomienda que para que el resultado sea más preciso las caras de las muestras deben poseer superficies planas y uniformes (ASTM E384, 2017).

El cálculo del valor de microdureza se lo realiza mediante la ecuación 3.

$$HV = 1,8544 * P_1/d_1^2 \quad (3)$$



El indentador para medición de dureza Vickers, tiene forma piramidal de base cuadrada de diamante con ángulos de cara de 136 °.

### Ensayos de tensión

Previo a la obtención de probetas para los diferentes ensayos se realizó el corte de cupones de soldadura de menor tamaño para la preparación de probetas y también se procedió a enderezar las placas soldadas. Para la obtención de probetas de ensayos de tracción se lo realizó mediante la norma AWS B4.0, la misma que determina métodos estándar para pruebas mecánicas de soldaduras, entre ellas, el ensayo de tracción. Para la preparación de las mismas, se observa que la parte del redondeo de las probetas se debe realizar mediante un mecanizado, por lo que estas probetas serán realizadas en una fresadora CNC. Los ensayos de tensión fueron realizados bajos los parámetros establecidos en la tabla 4 (AWS B4.0, 2016).

**Tabla 4:** Datos del ensayo de tracción

Método de ensayo	AWS B4.0 (AWS D1.1)
Tipo de probeta	Plana
Equipo utilizado	Máquina de ensayos universal para metales Metro Test 1500 kN
Velocidad de ensayo	10 mm/min
Precarga	5000 N

### Ensayos de impacto Charpy

Las muestras serán obtenidas a partir de la norma ASTM E 23. Cabe recalcar que no se usará la norma AWS B4.0 que detalla el proceso para ensayos de juntas soldadas ya que los espesores de

las placas de pruebas son de 4mm y 6mm y en esta norma únicamente encontramos para un espesor de 10mm, por lo tanto se buscó una norma para espesores menores. Los ensayos de impacto fueron realizados bajos los parámetros establecidos en la tabla 5 (ASTM E23, 2011).

**Tabla 5:** Datos de ensayo de Impacto

Método de ensayo	ASTM E23
Tipo de probeta	Subestándar
Equipo utilizado	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J
Tipo de muesca	Entalle en “V”
Precarga	5000 N

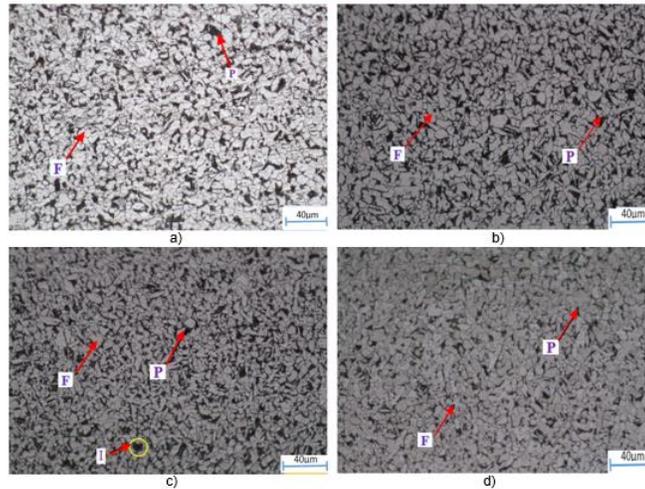
## Resultados y discusión

Los datos obtenidos de los ensayos metalográficos y ensayos mecánicos, se los analiza detalladamente para el acero ASTM A36 y A572 Gr.50, con esto se realiza una comparación objetiva de los efectos de la temperatura de pre calentamiento, en función a las probetas que no tenían tratamiento previo.

## Metalografías

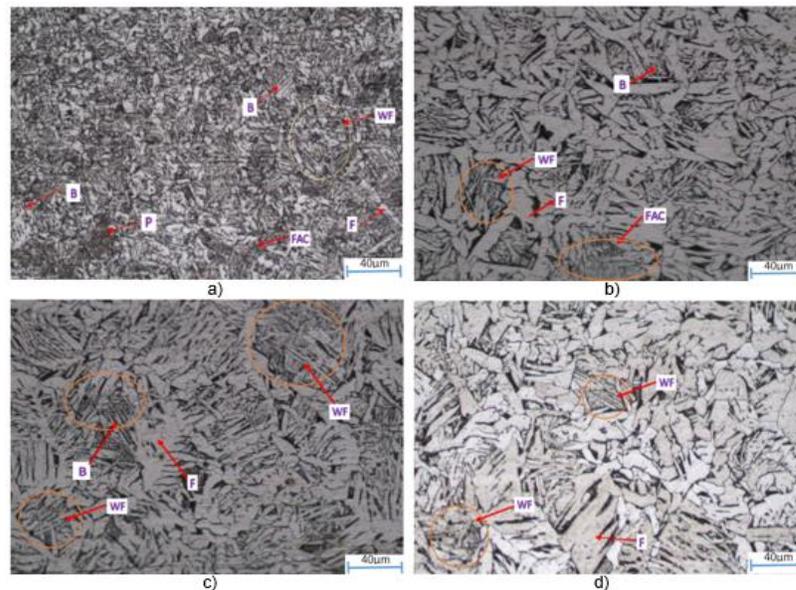
Las micrografías tomadas en el cordón y en la ZAC son de fundamental importancia ya sirven para verificar los cambios que se generan en la microestructura al realizar o no un pre calentamiento en el proceso de soldadura por arco eléctrico. Para ello las metalografías del cordón de soldadura fueron tomadas en el centro del cordón y para la ZAC a una distancia de 1mm desde el límite de fusión, esto para todas las muestras analizadas.

**Figura 4:** Micrografía a 100X del cordón de soldadura del acero ASTM A36. a) Junta sin precalentamiento. b) Junta con precalentamiento de 115°C. c) Junta con precalentamiento de 300°C. d) Junta con precalentamiento de 500°C.



En la zona del cordón de soldadura se observa una microestructura ferrítica (zonas claras), también se encuentran zonas con presencia de perlita (zonas oscuras). En la junta soldada sin precalentamiento y con precalentamiento de 115°C, se observa mayor presencia de zonas con perlíticas al comparar las microestructuras a temperaturas de 300°C y 500°C, donde estas se ven reducidas considerablemente. Además, en la junta soldada con precalentamiento de 300°C se observa la presencia de inclusiones, que son propias del material debido a su proceso de manufactura.

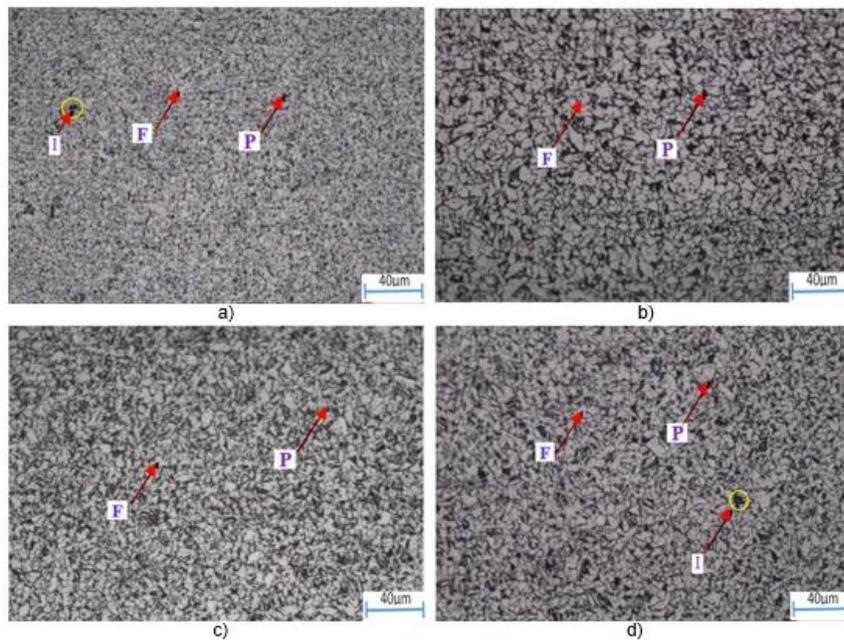
**Figura 5:** Micrografía a 100X de la ZAC del acero ASTM A36. a) Junta sin pre calentamiento. b) Junta con pre calentamiento de 115°C. c) Junta con pre calentamiento de 300°C. d) Junta con pre calentamiento de 500°C.



En la zona afectada por el calor ZAC de la junta sin pre calentamiento que es la más cercana a la línea de fusión, se puede determinar que en la junta sin pre calentamiento la microestructura es de tipo ferrita Widmanstater y zonas con ferrita acicular y la presencia de ferrita en los límites de grano. Adicionalmente se observa la presencia de Bainita en varias zonas de la micrografía. Se observa que en las juntas soldadas sin pre calentamiento y a 115°C, no se encuentra presencia de Martensita, que es común en las juntas soldadas. Sin embargo, se nota la presencia de pequeñas zonas con perlita. En la junta pre calentada a 300°C, se idéntica la presencia de ferrita, Bainita y perlita. Con la temperatura de pre calentamiento de 500°C, se obtiene una microestructura compuesta por ferrita perlítica pero en este caso desaparece la Bainita encontrada en las anteriores micrografías aunque se puede notar zonas pequeñas marcadas de ferrita Widmanstater pero ya muy reducidas.

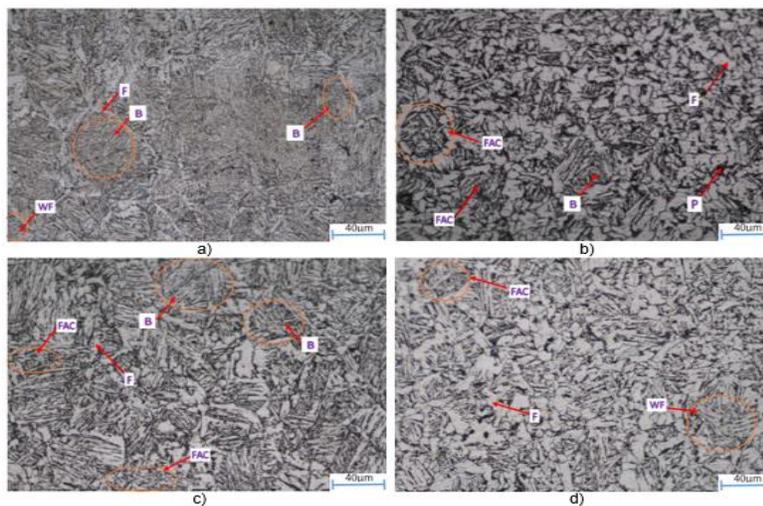
Para el acero ASTM A572 Gr. 50, se realiza el análisis mediante las micrografías de la fig. 6 y 7, tomadas en el cordón de soldadura y en la ZAC.

**Figura 6:** Micrografía a 100X del cordón de soldadura del acero ASTM A572 Gr. 50. a) Junta sin precalentamiento. b) Junta con precalentamiento de 115°C. c) Junta con precalentamiento de 300°C. d) Junta con precalentamiento de 500°C.



En la zona del cordón de soldadura se observa una microestructura ferrítica (zonas claras) también se encuentran zonas con presencia de perlita (zonas oscuras). En la junta soldada sin precalentamiento y con precalentamiento de 500°C se observa la presencia de inclusiones.

**Figura 7:** Micrografía a 100X de la ZAC del acero ASTM A572 Gr. 50. a) Junta sin precalentamiento. b) Junta con precalentamiento de 115°C. c) Junta con precalentamiento de 300°C. d) Junta con precalentamiento de 500°C.



En la zona afectada por el calor (ZAC), que se encuentra cerca de la zona de fusión del metal base con el material de aporte se ve afectada por las altas temperaturas. En esta zona se identifica en la junta soldada sin precalentamiento la formación de ferrita alotriomórfica en los límites de grano y la presencia de Bainita en zonas muy marcadas. Adicionalmente se evidencia la presencia de ferrita Widmanstatten. En la junta soldada a 115 °C, se identifica la presencia de ferrita acicular en gran parte de la micrografía, también se observa la presencia de perlita. Adicionalmente, se observa la presencia de Bainita y la presencia de placas de ferrita en los límites de grano.

En la junta soldada a 300 °C, se observa ferrita acicular en dos zonas. Además, la micrografía está compuesta de placas laterales de ferrita y ferrita en los límites de grano, también se identifica la presencia de Bainita, pero en menor cantidad en relación a las micrografías anteriores.

En la junta soldada a 500 °C, se nota la presencia de ferrita en forma de placas laterales, no se determina la presencia de Bainita. En esta microestructura el grano ferrítico es más equiaxial en comparación con la junta soldada a 300 °C, adicionalmente se observa la presencia de zonas con más perlita. Microestructuras como la ferrita acicular y Widmanstatten son propias de estas zonas en soldaduras de aceros al carbono.

### Calculo del tamaño de grano en cada zona de las juntas

En las tablas 6 y 7 se observa los tamaños de grano del acero ASTM A36, principalmente en la ZAC que, a medida que la temperatura de precalentamiento aumenta el tamaño de grano ASTM lo hace de igual forma, el mismo que se da por las múltiples pasadas que experimenta la junta soldada sobre los cordones de soldadura y la ZAC haciendo las veces de normalizado y recristalizado del metal, lo que hace que el grano se refine.

**Tabla 6:** Comparación entre tamaño de grano de juntas soldadas ASTM A36

Acero ASTM A36		Tamaño de grano
Cordón de soldadura	Sin precalentamiento	7,8
	115°C	6,8
	300 °C	8
	500 °C	7,9
ZAC	Sin precalentamiento	3,9
	115°C	4,5
	300 °C	5,1

	500 °C	5,8
Metal base	Sin precalentamiento	6,8
	115°C	
	300 °C	
	500 °C	

De acuerdo a los tamaños de grano obtenidos en el cordón de soldadura se puede determinar que la variación del mismo es mínima por lo que se espera que no influya directamente en cuanto a propiedades mecánicas de la junta, ya que de acuerdo a las micrografías de las fig. 6 y 7, se observa un tipo de grano ferrito perlítico equiaxial. Además en el metal base podemos ver que los tamaños de grano se mantiene, esto debido a que las temperaturas de precalentamiento no son lo suficientemente altas para hacer que se produzca un refinamiento de grano o lograr que estos varíen.

**Tabla 7:** Comparación entre tamaño de grano de juntas soldadas ASTM A572 Gr.52

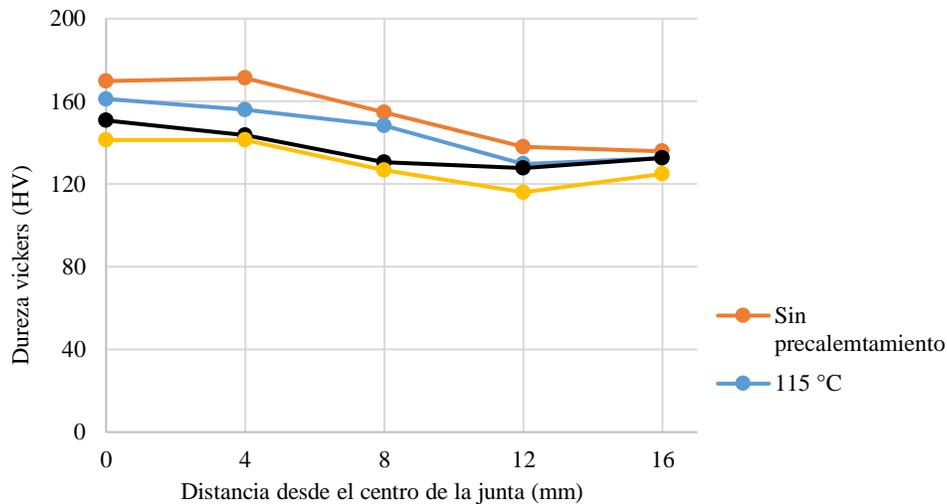
Acero ASTM A 572 Gr. 50		Tamaño de grano
Cordón de soldadura	Sin precalentamiento	9
	115°C	8,9
	300 °C	9
	500 °C	8,1
ZAC	Sin precalentamiento	4,6
	115°C	4
	300 °C	5,6
	500 °C	6,3
Metal base	Sin precalentamiento	9
	115°C	
	300 °C	
	500 °C	

Al comparar los tamaños de grano de ambos aceros se observa que la zona mayormente afectada es la ZAC, esto debido a las temperaturas pico que alcanza la misma al momento de ejecutar las pasadas de los cordones de soldadura, actuando sobre el metal como una especie de tratamiento térmico con lo que a nivel de su microestructura hace que esta se vea muy afectada como se observó en la fig. 6 y 7.

### Ensayo de microdureza

En esta investigación se realiza una comparación de durezas medidas a una misma distancia de indentación entre las diferentes juntas soldadas. En el fig. 8, se observa la comparación de las microdurezas para el acero ASTM A36. Se visualiza que a medida que la temperatura de pre calentamiento aumenta la microdureza disminuye.

**Figura 8:** Perfil de durezas Acero ASTM A36.



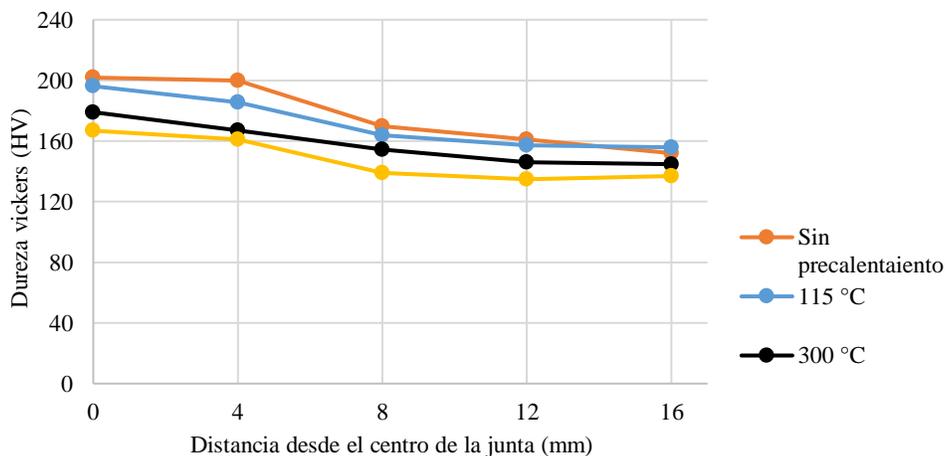
En el centro del cordón de soldadura, la microdureza de la junta sin pre calentamiento es de 170 HV, en comparación con la microdureza de la junta pre calentamiento a 115°C que es de 161 HV; con una disminución de 5,3%. Realizando una comparación de microdurezas de la junta sin pre calentamiento y la soldada con pre calentamiento de 300°C (151 HV) esta baja en 11,2%. Mientras que para la junta pre calentada a 500°C (141 HV) se observa que la microdureza baja en un 17,1% en relación a la junta sin pre calentamiento. Con esto se puede decir que la junta soldada sin pre calentamiento tiene más probabilidad de sufrir una fisuración en frío, en relación a las juntas soldadas con pre calentamiento. Las mediciones de microdureza tomadas a 4mm (zona del cordón de soldadura), se logra observar un comportamiento similar a las mediciones tomadas en el centro del cordón.

En la zona próxima a la ZAC (indentación a 8mm del cordón) se observa aumento en la microdureza a medida que se aproxima al cordón de soldadura en todas las probetas; los mayores valores de microdureza los registra la probeta sin pre calentamiento, esto debido a su mayor sensibilidad al efecto térmico del proceso de soldadura causado por una menor entrada de calor con mayores

velocidades de enfriamiento, lo cual deriva en la formación de microestructuras más duras como los listones de Bainita, que se observaron con más presencia en esta junta. Las microdurezas medidas a 12mm del cordón de soldadura sufren una disminución, esto debido a que se encuentra muy cerca del metal base que no se afectó térmicamente por el proceso de soldeo. La microdureza medida a una distancia de 16mm que es la zona del metal base se observa que en todas las probetas (135-133 HV) a excepción de la probeta a temperatura de precalentamiento de 500°C (125 HV), la microdureza se mantiene relativamente uniforme, esto debido a que no se observó cambios a nivel microestructural de esta zona.

En la fig. 9, se realiza una comparación de las microdurezas de las juntas soldadas de acero ASTM A572 Gr. 50. Al igual que el acero ASTM A36, en estas juntas la microdureza disminuye si se aplica un precalentamiento. Al medir la microdureza en el cordón de soldadura, la junta sin precalentamiento posee una microdureza de 202 HV, en comparación con la microdureza de la junta precalentamiento a 115°C que es de 196 HV; se observa una disminución de 3% que es un porcentaje relativamente bajo. Al comparar con la microdureza obtenida en la junta de 300°C (179 HV), esta baja en 11,4% con relación a la obtenida sin precalentamiento (202 HV). Mientras que para la junta precalentada a 500°C (167 HV) se observa que la misma baja en un 17,3% en relación a la junta sin precalentamiento. Se observa que en la junta soldada sin precalentamiento tiene más probabilidad de sufrir un agrietamiento en frío, que en relación a las juntas soldadas con precalentamiento.

**Figura 9:** Perfil de durezas Acero ASTM A572 Gr. 50



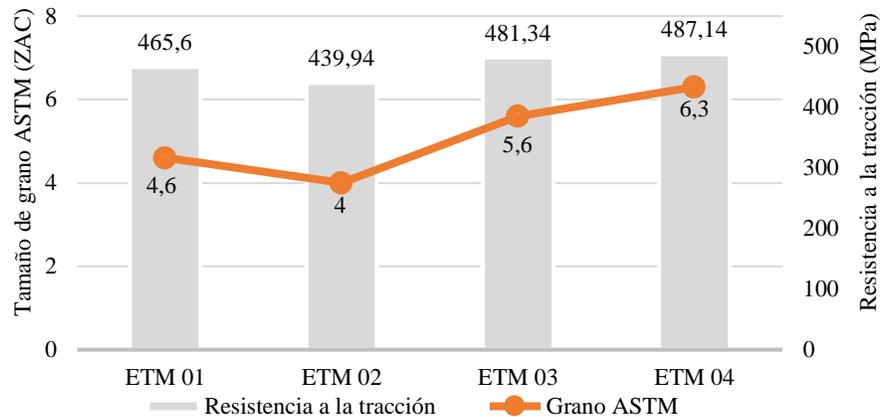
En la zona próxima a la ZAC, se observa aumento en la microdureza a medida que se aproxima al cordón de soldadura en todas las probetas; los mayores valores de microdureza HV los registra la probeta sin precalentamiento, las microdurezas medidas en la ZAC de las juntas soldadas con precalentamiento son menores, esto debido al efecto del ciclo térmico provocado por cada proceso de soldadura causado por una entrada de calor mayor con velocidades de enfriamiento más lentas, por lo que a nivel microestructural se observa una disminución de listones de Bainita. La junta precalentada a 500°C (139 HV) tiene un 18,2% menos microdureza que la junta sin precalentamiento (170 HV). La dureza medida a una distancia de 12mm y 16mm, que es una zona muy próxima al metal base no se observa grandes variaciones de microdureza debido a que no se afecta por las altas temperaturas.

### **Ensayo de tensión**

Los resultados obtenidos en el ensayo de tensión para las juntas de acero ASTM A572 Gr.50 se observan en la fig. 10, donde se puede determinar que la junta soldada ETM 04, posee mayor resistencia a la tracción (487,14 MPa), con relación con otras muestras. Realizando una comparación con la muestra ETM 01 (465,641 MPa), la resistencia a la tensión aumenta en un 4,6% y al comparar con la probeta ETM 03 (481,34 MPa) esta propiedad aumenta en un 3,4%. Mientras que la resistencia a la tracción de la muestra ETM 02 (439,94 MPa) disminuye en relación a la muestra ETM 01 (465,641 MPa) en un porcentaje de (5,5%).

Se observa que mientras la temperatura de precalentamiento aumenta también lo hace la resistencia a la tracción en todas las muestras, a excepción de la probeta ETM 02 que esta propiedad se ve disminuida, por ello, para poder realizar una evaluación de este incremento de la resistencia a la tracción a medida que se eleva la temperatura de precalentamiento en las juntas soldadas se realiza una comparación entre el tamaño de grano, temperatura de precalentamiento y resistencia a la tracción.

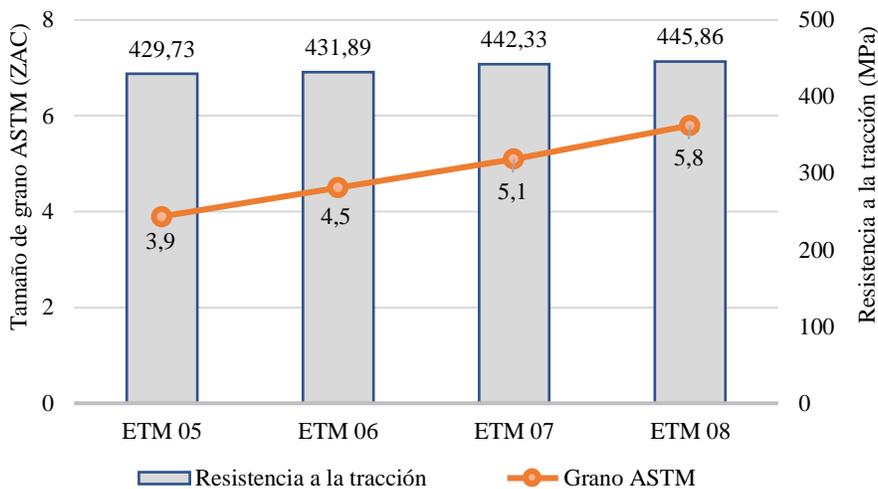
**Figura 10:** Tamaño de grano ASTM - Resistencia a la Tracción acero ASTM A572 Gr.50: (ETM 01) Sin precalentamiento, (ETM 02) 115 °C, (ETM 03) 300 °C, (ETM 04) 500 °C



Se debe mencionar que la rotura ocurrió en el límite de fusión es decir en la zona de grano grueso de la zona afectada por el calor (ZAC), entonces se puede esperar un incremento de la resistencia mecánica al elevar la temperatura de precalentamiento, debido a que el tamaño de grano se reduce, por lo que a medida que la temperatura incrementa la resistencia mecánica aumenta. Entonces tamaños de grano más grandes tienen menor resistencia mecánica y a medida que incrementa la temperatura se obtiene un grano más fino por lo que la resistencia mecánica aumenta. En la probeta ETM 02 se observa una disminución de la resistencia a la tracción, así como también disminuye el tamaño de grano ASTM; lo que representa un tamaño de grano más grueso, esto influye directamente en una disminución de resistencia mecánica.

Al observar el fig. 11, se determina que mientras la temperatura de precalentamiento aumenta la resistencia a la tracción también aumenta. Al realizar una comparación de esta propiedad de la muestra ETM 05 (429,73 MPa) con la muestra ETM 06 (431,898 MPa), se observa que esta aumenta en un 0,5 %. De igual forma al realizar la comparación con la probeta ETM 07 (442,334 MPa) la resistencia a la tracción aumenta en un 3% y al comparar con la muestra ETM 05 (429,73 MPa) la resistencia a la tracción aumenta en un 3,75%. Al igual que en el caso de las juntas soldadas de acero ASTM A572 Gr.50, se realiza una evaluación de este incremento de la resistencia a la tracción a medida que se eleva la temperatura de precalentamiento en las juntas soldadas con una comparación entre el tamaño de grano, temperatura de precalentamiento y resistencia a la tracción.

**Figura 11:** Tamaño de grano ASTM vs Resistencia a la Tracción acero ASTM A36: (ETM 05) Sin pre calentamiento, (ETM 06) 115 °C, (ETM 07) 300 °C, (ETM 08) 500 °C

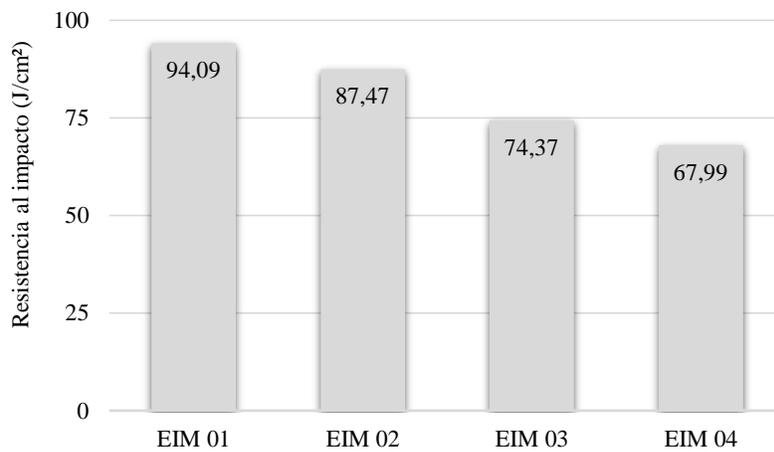


Ya que la rotura ocurre en la zona afectada por el calor (ZAC), entonces se puede esperar un incremento de la resistencia mecánica al elevar la temperatura de pre calentamiento, debido a que el tamaño de grano se reduce, por lo que a medida que la temperatura incrementa la resistencia mecánica aumenta. Lo que da como resultado que tamaños de grano más grandes tiene menor resistencia mecánica y a medida que incrementa la temperatura se obtiene un grano más fino por lo que la resistencia mecánica aumenta. Un tamaño de grano ASTM mayor; lo que representa un tamaño de grano más fino influye directamente en un incremento de la resistencia mecánica.

#### Ensayo de impacto

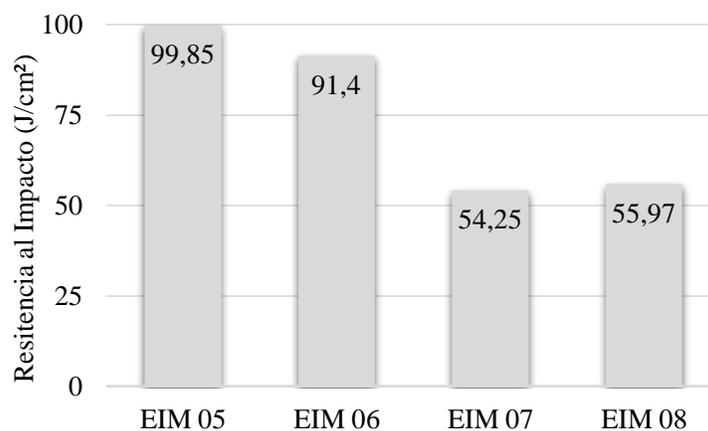
Con los resultados obtenidos en el ensayo Charpy se logró comparar la tenacidad de cada junta soldada. Los valores de resistencia al impacto y energía absorbida se muestran en la fig. 12 y 13.

**Figura 12:** Resistencia al impacto para el acero ASTM A572 Gr.50: (EIM 01) Sin precalentamiento, (EIM 02) 115 °C, (EIM 03) 300 °C, (EIM 04) 500 °C



Al observar la fig. 12, se puede determinar que la junta soldada con mayor resistencia al impacto por ende la mayor energía absorbida, es la muestra EIM 01 con valor de 94,09 J/cm<sup>2</sup>, la probeta EIM 02, que corresponde a un precalentamiento de 115°C, se observa una disminución en la tenacidad obteniéndose un valor de 87,47 J/cm<sup>2</sup>, esta disminución es representa el 7%. Mientras que al realizar una comparación entre las muestras EIM 01 (94,09 J/cm<sup>2</sup>) y EIM 03 (74,37 J/cm<sup>2</sup>) se observa una disminución de 20% y finalmente estableciendo una comparación con la muestra EIM 04 (67,99 J/cm<sup>2</sup>) se determina que la resistencia al impacto decrece en un porcentaje de 27,7%.

**Figura 13:** Resistencia al impacto para el acero ASTM A36: (EIM 05) Sin precalentamiento, (EIM 06) 115 °C, (EIM 07) 300 °C, (EIM 08) 500 °C



En la fig. 13, se compara los resultados de los valores promedio obtenidos para las diferentes muestras ensayadas y se determina que la junta que más energía absorbe por ende tiene mayor resistencia al impacto, es la junta EIM 05 (99,85 J/cm<sup>2</sup>) que corresponde a la junta soldada sin pre calentamiento. Al realizar una comparación con la probeta obtenida de la junta soldada con pre calentamiento de 115°C que corresponde a la muestra EIM 06 (91,4 J/cm<sup>2</sup>), la resistencia al impacto disminuye en un 8,5%. Mientras que al realizar una comparación con la muestra EIM 07 (54,25 J/cm<sup>2</sup>) se determina una reducción del 45,7 % en relación a la probeta EIM 01. Finalmente, al comparar la muestra EIM 08 (55,97 J/cm<sup>2</sup>) con la muestra EIM 05 se observa una disminución de 43,9%. La probeta EIM 08 y EIM 07 poseen valores muy parecidos de resistencia al impacto. Como se observó en las micrografías tanto para el acero ASTM A36 y ASTM A572 Gr.50, al tener estructuras principalmente ferrito perlíticas, es la morfología de grano ferrítico lo que produce una reducción de la resistencia al impacto, debido a que a medida que incrementamos la temperatura empieza a aparecer ferrita en forma de placas, las misma que pueden producir un deslizamiento entre placas muy fácil al momento de la prueba de impacto, entonces al existir un fácil recorrimiento entre placas debido a que presenta superficies de corrimiento fácil se da una reducción de la resistencia al impacto. Ya que si se tiene un grano más equiaxial es muy difícil el movimiento entre granos por la morfología del mismo y cuando se presenta ferrita en forma placas estas placas exhiben muy poca resistencia al impacto.

## Conclusiones

En el presente estudio se investigó la influencia de la aplicación de temperaturas de pre calentamiento tanto en las propiedades mecánicas y microestructurales en juntas soldadas de acero ASTM A36 y ASTM 572 Gr.50. Basado en el análisis de los resultados se obtienen las siguientes conclusiones:

El pre calentamiento y la composición química de cada acero, influyen en la formación de microestructuras finales de cada tipo de junta y por ello se nota principalmente la presencia de ferrita y en poca cantidad perlita.

En la zona afectada por el calor (ZAC) de las juntas soldadas de acero ASTM A36, se determina microestructura de tipo ferrita Widmanstatten, zonas con ferrita acicular y la presencia de ferrita en

los límites de grano y a medida que la temperatura de precalentamiento aumenta se observa que la presencia de Bainita va disminuyendo y que se forma placas laterales de ferrita.

En la ZAC de las muestras de acero ASTM A572 Gr.50 se observa microestructuras de tipo ferrita acicular y Widmanstatten y la formación de ferrita en los límites de grano además la cantidad de Bainita presente en las micrografías disminuye hasta desaparecer completamente en las juntas soldadas a 500°C, donde se observa únicamente la presencia de ferrita en forma de placas.

Mediante ensayos de microdureza realizados a las juntas soldadas de acero ASTM A36 como para acero ASTM A572, se confirma que al aumentar la temperatura de precalentamiento los valores de microdureza disminuyen.

En las juntas de acero ASTM A36 y ASTM A572 Gr.50 un incremento de la resistencia mecánica al elevar la temperatura de precalentamiento, debido a que el tamaño de grano se reduce, por lo que a medida que la temperatura incrementa la resistencia mecánica aumenta.

Para las micrografías del acero ASTM A36 y ASTM A572 Gr.50, al tener morfologías de grano ferrítico se da una reducción de la resistencia al impacto, a medida que se incrementa la temperatura empieza a aparecer ferrita en forma de placas, las mismas que pueden producir un deslizamiento entre placas muy fácil al momento de la prueba de impacto, entonces al existir un fácil recorrimiento entre placas debido a que presenta superficies de corrimiento fácil se da una reducción de la resistencia al impacto.

## **Notacion**

### *Símbolos*

AC = corriente alterna en tabla 3

NL = número de intercepciones por unidad de longitud

Ni = número de intercepciones

L = longitud de las líneas

M = aumento de la micrografía

G = tamaño de grano ASTM.

HV = dureza Vickers

### *Abreviaciones*

ASTM = Asociación Americana de Ensayo de Materiales

SMAW = Soldadura por Arco Metálico Protegido

ZAC = Zona Afectada por Calor

AWS = Sociedad Americana de Soldadura

CNC = Control Numérico por Computadora

ETM = Ensayo de Tracción Mecánico

EIM = Ensayo de Impacto Mecánico

## Referencias

1. AWS D1.1/D1.1M:2010. Código de Soldadura estructural- acero.(2010).
2. ASTM A36/A36M-08. Especificación Normalizada para Acero al Carbono Estructural. (2008).
3. ASTM A572/A572M-07. : Especificación Normalizada para Acero Estructural de Alta Resistencia de Baja Aleación de Columbio-Vanadio. (2007).
4. ASTM E 3-11. 2017. Standar Practice for Preparation of Metallographic Specimens. (2017).
5. ASTM E112. 2013. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.(2013).
6. ASTM E23. 2011. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. (2011).
7. ASTM E384. 2017. Standar Test Method for Knoop and Vickers hardness of materials. (2017).
8. AWS A5.1. 2004. Specificartion for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. (2004).
9. AWS B1.10M/B1.10:2016. 2016. Guide for the Nondestructive Examination of Welds. (2016).
10. AWS B4.0. 2016. Standard Methods for Mechanical Testing of Welds. (2016).
11. AWS D1.1/D1.1M:2015. Anexo H. Guideline on Alternative Methods for Determining Preheat. (2015).
12. Howard , B & Scott C. Modern Welding Technology. 4a ed. México DF – Mexico: Prentice-Hall. ISBN 0-13-599283-4, (2010).

13. Kumar, S., & Singh, R. Optimization of Process Parameters of Metal Inert Gas Welding with Preheating on AISI 1018 Mild Steel using grey based Taguchi Method, doi:10.1016/j.measurement.2019.106924, Measurement, 106924, (2019).
14. Lichan, Li; et al. “Effect of Welding Heat Input on Grain Size and Microstructure of 316L Stainless Steel Welded Joint”. Trans Tech Publications, Applied Mechanics and Materials.. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.331.578, 64-67 (2013)
15. Martínez, M; et al. “Influencia del tamaño del grano en las propiedades mecánicas de los aceros”. Revista de Metalurgia. ISSN-L 0034-8570. doi.org/10.3989/revmetalm.2005.v41.iExtra.1000 (2015).
16. McCorman, J & Csernak S. Diseño de Estructuras de Acero. 5ª ed. México: Alfaomega, ISBN: 978 607 707 559 2, (2013).
17. Muhaed, J & Shakir, G. “Study the effect of head treatments on spring -back in U-bending process”. International Journal of Metallurgical Materials and Engineering, (2013).
18. NEC. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. Estructuras de Acero. (2014).
19. Niebles, E & Arnedo, W. Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria. SCielo, doi:10.1612/inf.tecnol.4064it.08, 24-26, (2009),
20. Rodríguez, P. Metalurgia de la Soldadura. La Habana- Cuba: Universitaria, ISBN 978-959-16-2101-6, 71-7, (2013).
21. Sudhir, K y Ragender S. Investigation of tensile properties of shielded metal arc weldments of AISI 1018 mild steel with preheating process, doi:org/10.1016/j.matpr.2019.10.167, Materials today: Proceeding, 26 (2), 209-222 (2019).
22. Zhai, Y., Huang, B., Zhang, Z., Mao, X., y Zhao, Z., Effect of preheating on welding cold crack sensitivity of China low activation martensitic steel, doi:10.1016/j.fusengdes.2018.05.071, Fusion Engineering and Design, 133, 32–38. (2018).

2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).