

# Evaluation of the influence of the preheating temperature on the mechanical and metallographic properties of ASTM A36 steel welded joints using the SMAW process

Carlos Alfonso <sup>a,\*</sup> , Maritza Villalta <sup>b</sup>,  Carmelo Torres <sup>a</sup> 

*a Centro de Investigaciones en Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela 2005.*

*b Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Carabobo, Venezuela*

**Abstract.** - In the present investigation, the influence of the use of different preheating temperatures on the mechanical and metallographic properties in welded joints of a 12.5 mm thick ASTM A36 structural steel sheet was evaluated through the SMAW welding process using electrodes as filler material. E7018 performing a four-pass welding bead and an amperage of 113A for the first pass and 118 A for the filling passes. Using the Seferian method, the preheating temperatures (71 °C, 121 °C, 171 °C) and the mechanical properties of traction, bending, hardness and metallography were determined according to the specifications of specific standards. The results of the chemical analysis of the weld bead were obtained values within the standard range of the ASTM A36 steel standard. Regarding the yield stress, the rupture stress and the maximum stress, it indicates that at a higher preheating temperature the resistance in the material increases, the percentage of elongation remained almost constant for all study conditions. As the preheating temperature increased, fewer cracks and deformations were obtained between the weld bead and the base metal, presenting a ductile behavior. Regarding Vickers microhardness, it decreased with increasing preheating temperature. In the microstructure, it was observed that in the weld bead there was an increase in the amount of pearlite with increasing preheating temperature.

**Keywords:** A36 steel, SMAW welding, preheating, mechanical properties, metallography.

## Evaluación de la influencia en la temperatura de precalentamiento en las propiedades mecánicas y metalográficas de juntas soldadas de acero ASTM A36 mediante el proceso SMAW

**Resumen.** - En la presente investigación se evaluó la influencia de la utilización de diferentes temperaturas de precalentamiento sobre las propiedades mecánicas y metalográficas en juntas soldadas de una lámina de acero estructural de 12.5 mm de espesor ASTM A36 mediante el proceso de soldadura SMAW utilizando como material de aporte electrodos E7018 realizando un cordón de soldadura de cuatro pasadas y un amperaje de 113A para la primera pasada y 118 A para las pasadas de relleno. Utilizando el método de Seferian se determinaron las temperaturas de precalentamiento (71 °C, 121 °C, 171 °C) y las propiedades mecánicas de tracción, doblado, dureza y metalografía según las especificaciones de normas específicas. Los resultados del análisis químico al cordón de soldadura se obtuvieron valores dentro del rango estándar de la norma del acero ASTM A36. En cuanto al esfuerzo de fluencia, el esfuerzo de ruptura y el esfuerzo máximo indica que a mayor temperatura de precalentamiento la resistencia en el material aumenta, el porcentaje de elongación permaneció casi constante para todas las condiciones de estudio. A medida que la temperatura de precalentamiento aumentó, se obtuvieron menos grietas y deformaciones entre el cordón de soldadura y el metal base presentando un comportamiento dúctil. En cuanto a microdureza Vickers disminuyó al aumentar la temperatura de precalentamiento. En la microestructura se observó que en el cordón de soldadura hubo un aumento en la cantidad de perlita con el aumento de la temperatura de precalentamiento.

**Palabras clave:** acero A36, soldadura SMAW, precalentamiento, propiedades mecánicas, metalografía.

### 1. Introducción

El acero es uno de los materiales más versátiles que se pudo haber descubierto desde sus inicios en la antigüedad. Cerca del 1200 a.C. fue usado para

fabricar armas, herramientas, y muchas otras cosas. En el siglo XIX con la revolución industrial empezó a aumentar su demanda, utilizándose en industrias como la ferroviaria, naviera, construcción, maquinaria y militar, llegándose a construir hasta edificios sorprendentemente altos debido a las propiedades que posee. [1]

Uno de los métodos de unión en la fabricación de estructuras más utilizados es la soldadura con arco

\* Autor para correspondencia:  
Correo-e: calfonzo@uc.edu.ve

eléctrico de metal protegido (SMAW por sus siglas en inglés), en donde se utilizan electrodos consumibles. La velocidad de enfriamiento del material es uno de los factores que intervienen en el proceso de la soldadura, ya que por su efecto se pueden obtener estructuras metálicas muy duras y hasta en algunos casos se presenta una transformación de austenita a martensita. Este factor controla la microestructura de la zona afectada por el calor (ZAC) y el metal de la soldadura.

En ocasiones antes de realizar el proceso de soldadura se hace un precalentamiento sobre el metal base, técnica que proporciona la principal defensa contra las fisuras inducida por hidrogeno y disminuye la velocidad de enfriamiento del metal de soldadura dando como resultado una microestructura más dúctil y resistente a las fisuras, disminuye las tensiones entre el metal de soldadura y el metal base minimizando las contracciones, entre otras razones más. [2]

En consecuencia, a lo antes mencionado se ve la necesidad de innovar e investigar nuevas tecnologías en los métodos de unión que permitan a los ingenieros en su actividad práctica, estudiar que influencia tiene la temperatura de precalentamiento en las propiedades mecánicas y metalográficas de juntas soldadas de acero ASTM A36 mediante el proceso SMAW y ¿qué temperatura de precalentamiento sería más conveniente y bajo qué circunstancias?

## 2. Metodología

### 2.1. Material

El material utilizado fue una plancha de acero ASTM A36 con dimensiones de 700 mm de largo, 450 mm de ancho y un espesor de 12.5 mm.

### 2.2. Mecanizado de las probetas para el ensayo de microscopía, macroscopía y dureza

El mecanizado de las probetas para el ensayo de microscopía [3], macroscopía [3], como el de dureza [4], se realizaron en un taller de mecanizado, en donde a partir de la plancha original se obtuvieron dos probetas cuyas dimensiones aproximadas fueron de 20x15 mm con un espesor de 12,5 mm.

### 2.3. Mecanizado de las probetas de tracción para la condición inicial

El mecanizado de las probetas de tracción se realizó a partir de la plancha original, de la cual se extrajeron 3 tiras de 200 mm de largo y 20 mm de ancho, tomando en consideración el sentido de laminación de la plancha. Las probetas se realizaron en un taller de mecanizado siguiendo las especificaciones de la norma ASTM E8/E8M-09. [5]

### 2.4. Mecanizado de las probetas de tracción para las condiciones soldadas

El mecanizado de las probetas de tracción de las condiciones soldadas se realizó en un taller de mecanizado siguiendo las especificaciones de la norma AWS D1.1. [6]

### 2.5. Mecanizado de las probetas de doblado

El mecanizado para las probetas de doblado se realizó con 18 tiras de aproximadamente 156 mm de largo y 44 mm de ancho extraídas de las planchas de unión soldada siguiendo el sentido de laminación de la lámina. Las probetas se realizaron en un taller de mecanizado siguiendo la norma AWS D1.1/D1.1M [6] que se muestran en la Figura 1.

### 2.6. Ensayo de macroscopía

Se realizó con un aumento máximo de 10X. Se realiza un desbaste en la superficie de las probetas y luego se realiza un ataque químico de yoduro de potasio al 10% atacando hasta magnificar y hacer visibles las discontinuidades que pudieran encontrarse en las muestras y poder diferenciar el cordón de soldadura del metal base. [3]

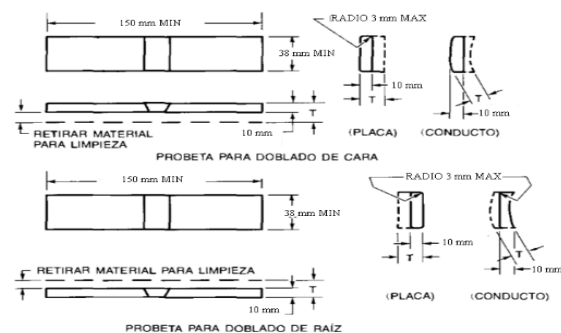


Figura 1. Dimensiones de las probetas de doblado [6]

### 2.7. Ensayo de microscopía

El ensayo microscópico se realizó a 4 pequeñas muestras extraídas del material utilizado. Las muestras tenían dimensiones de 20x15 mm de 12.5 mm de espesor aproximadamente del cual se seleccionaron caras transversales al cordón de soldadura lijando de forma manual con papeles de lija de granulometrías (180, 240, 320, 400, 600, 1200) cambiando el sentido de lijado a 90° cada vez que se cambie el papel de lija [3]. Una muestra se analizó según la condición inicial del metal base y las otras con la condición soldada. Se utilizó alúmina de 1 micra para el primer pulido y alúmina de 0,05 micras para el segundo pulido. Cada pulido se realizó durante aproximadamente 5 minutos.

Una vez terminado este proceso se limpió la cara trabajada con alcohol isopropílico y luego se colocó en el secador, una vez seca la superficie y sin rastros de alúmina se le aplicó nital al 2%, el cual está formada por 98 cc de etanol más 2 cc de ácido nítrico para revelar las fases presentes con mayor nitidez en el microscopio metalográfico.

### 2.8. Ensayo de microdureza

El ensayo de microdureza se realizó a 4 pequeñas muestras extraídas del material. Una se corresponde a la condición inicial y las otras tres según la condición de temperatura de precalentamiento evaluada; una vez realizada la preparación de las probetas se procedió a medir la microdureza en las zonas de interés de la junta soldada.

### 2.9. Ensayo de tracción

Para la ejecución de este ensayo se contó con la colaboración del laboratorio de materiales de la escuela de ingeniería civil de la Universidad de Carabobo, el cual consistió en colocar la probeta en la máquina de tracción marca Karl Frank y aplicar la carga a cada probeta siguiendo la norma ASTM E8/E8M-09. [3]

### 2.10. Proceso de soldadura

Para el proceso de soldadura se realizó primero un precalentamiento en el material antes de soldar, esta temperatura de precalentamiento se obtuvo mediante el método de Seferian.

Seferian propone un método en los que usa una fórmula para el carbono equivalente [C], que la plantea como la suma de un carbono equivalente [C]<sub>q</sub>, el cual depende de la composición química del acero y de un carbono equivalente de espesor [C]<sub>s</sub> o llamado también de Seferian, de tal forma se tiene la siguiente ecuación: [7]

$$[C] = [C]_q + [C]_s \quad (1)$$

$$[C]_q = [\%C] + \left[ \frac{(\%Mn + \%Cr)}{9} \right] + \left[ \frac{\%Ni}{18} \right] + \left[ \frac{7\%Mo}{90} \right] \quad (2)$$

$$[C]_s = 0,005 \cdot S \cdot [C]_q \quad (3)$$

donde S es el espesor de la placa (mm).

$$[C] = [C]_q + 0.005 \cdot S \cdot [C]_q \quad (4)$$

Finalmente, para obtener la temperatura de precalentamiento se aplica la formula desarrollada por Seferian y que se expresa de la siguiente manera [19]:

$$T_p = 350\sqrt{[C] - 0.25^\circ C} \quad (5)$$

Antes de realizar el proceso de soldadura se preparó el material según lo establecido por la norma AWS D1.1/D1.1M [6], para cada condición de soldadura se utilizaron dos segmentos de una placa con un biselado como se muestra en la Figura 2 por donde se realizó la unión por soldadura.

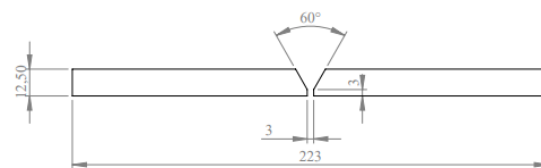


Figura 2. Vista frontal del material utilizado para cada condición de soldadura, todas las medidas en mm [6]

Para la realización de la soldadura se utilizó la posición 1G (posición plana) para cada condición de soldadura. La temperatura de precalentamiento se consiguió utilizando un soplete y controlando la misma con un pirómetro infrarrojo hasta llegar a la temperatura deseada. Se realizaron 1 pase de raíz con un amperaje de 113A y tres pases de relleno con un amperaje de 118 A.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Composición química

Los resultados obtenidos en el análisis químico realizado por medio de espectroscopía por rayos X se muestran en la Tabla 1 y se comparan con los establecidos por la norma ASTM A36 para

Tabla 1. Resultados obtenidos del análisis químico en el material base (% en peso)

Muestra	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	Co	Cu	P	S	Fe
Promedio	0,270	0,710	-	-	-	0,170	-	0,185	0,031	0,041	Bal

#### 3.2. Microscopía

En la microestructura obtenida del ensayo de microscopía óptica realizado se observaron las distintas fases del acero ASTM A36 como son la ferrita (zonas blancas) y la perlita (zonas oscuras), se realizaron dos ensayos microscópicos uno en la dirección de laminación del acero y otro transversalmente, los resultados se pueden apreciar en las figuras 3 a y 3 b.

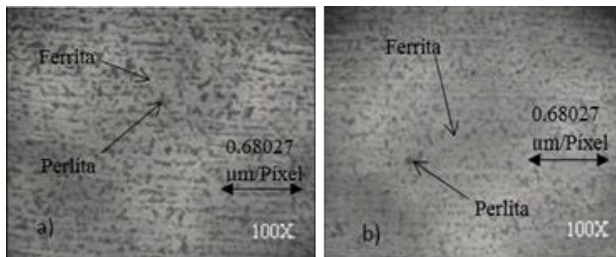


Figura 3. Análisis de la microestructura del Acero ASTM A 36. a). Microestructura en la dirección de laminación del metal base con un aumento de 100X. y 3 b) Microestructura en la dirección transversal al sentido de laminación del metal base con un aumento de 100X.

#### 3.3. Propiedades mecánicas

##### Ensayo de tracción

Los resultados obtenidos en el ensayo de tracción; se muestran los resultados de esfuerzo de fluencia, esfuerzo de máximo, esfuerzo de ruptura y la deformación ingenieril que se encuentran en la Tabla 2.

determinar que el material en cuestión utilizado cumpla los requisitos.

Los resultados del análisis químico se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma para el acero ASTM A36.

Tabla 2. Resultados de esfuerzo y deformación ingenieril en el metal base

Probeta	Esfuerzo fluencia $\sigma_f$ (MPa)	Esfuerzo máximo $\sigma_u$ (MPa)	Esfuerzo ruptura $\sigma_r$ (MPa)	Deformación ingenieril ruptura $\epsilon_r$
1	284.66	441.22	324.51	0.3240
2	332.05	466.04	332.05	0.3320
3	332.03	468.92	337.85	0.3393
Prom.	316.25	458.73	331.47	0.3317

Utilizando los resultados de esfuerzo y deformación obtenidos de la tabla 2 se obtiene la curva de esfuerzo-deformación para cada probeta (Figura 4) del metal base.

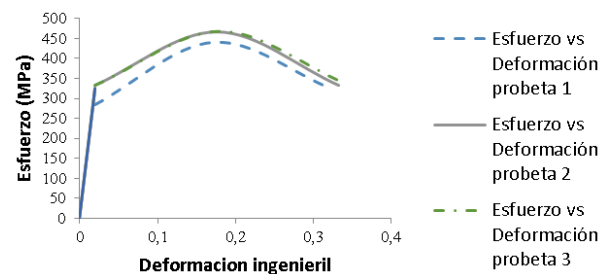


Figura 4. Curva de esfuerzo-deformación del metal base

##### Ensayo de dureza

Los resultados obtenidos en el ensayo de dureza muestran que están dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM A36 para la caracterización del acero, estos resultados se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados obtenidos del ensayo de dureza al metal base

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	promedio	HB
Dureza HRB	87.6	86.1	87.7	87.6	87.0	86.4	86.3	87.1	86.97	166

### 3.4. Condiciones de soldadura

#### Determinación de la temperatura de precalentamiento

Utilizando las ecuaciones 2, 4 y 5 con los valores promedio del análisis químico del material base mostrados en la Tabla 1 y el espesor de la placa de acero utilizada ( $S = 12.5 \text{ mm}$ ) se obtiene una la temperatura de precalentamiento.

Con el valor de temperatura obtenido se usa una variación de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  por encima y  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  por abajo para tener 3 condiciones de temperatura diferentes de precalentamiento quedando las temperaturas como se muestra en la Tabla 4.

Temperaturas de precalentamiento utilizadas en las condiciones soldadas

Muestra	Temperatura de precalentamiento ( $^\circ\text{C}$ )
Condición 1	71.117
Condición 2	121.117
Condición 3	171.117

### 3.5. Análisis químico

Los resultados que se presentan en la tabla 5 muestran la composición química del cordón de soldadura obtenidos por medio de espectroscopía de rayos x para cada probeta con distintas temperaturas de precalentamiento.

Tabla 4. Análisis de composición química del cordón de soldadura por medio de espectroscopía de rayos X

Muestra	C	Mn	Si	P	S	V	Ni	Cr	Mo	Fe
I $71^\circ\text{C}$	0.1350	1.1185	0.2865	0.0210	0.0210	0.0125	0.0060	0.0700	0.0165	Bal
II $121^\circ\text{C}$	0.1425	1.0285	0.2775	0.0190	0.020	0.0125	0.0055	0.0695	0.0155	Bal
III $171^\circ\text{C}$	0.1650	1.0220	0.2080	0.0180	0.0200	0.0950	0.0060	0.0650	0.0140	Bal

### 3.6. Metalografía

En esta parte se estudiaron los aspectos de macroscopía para el cordón de soldadura en las condiciones soldadas, además, la microscopía de las de las condiciones soldadas donde se estudiaron tres zonas distintas, el cordón de soldadura, la zona afectada por el calor y el metal base.

### 3.7. Macroscopía

En el ensayo de macroscopía realizado a cada condición de soldadura se pudo diferenciar la unión entre el metal base y el cordón de soldadura aplicado, así como también la zona afectada por el calor en algunas partes del metal base, los resultados obtenidos se observan en la figura 5.



Figura 5. Macroscopía de las condiciones de soldadura, condición de 71 °C (a), condición de 121 °C (b) y condición de 171 °C (c)

### 3.8. Microscopía

En el cordón de soldadura de las tres condiciones soldadas se observan las fases presentes del electrodo utilizado como lo son la ferrita y la perlita; también se observó una tendencia ascendente desde la condición I a la III en la cantidad de perlita contenida en el cordón de soldadura, este se debe a que mientras baja la temperatura de precalentamiento en la soldadura hay una mayor absorción de carbono, pero la absorción de los demás elementos de aleación disminuye, los resultados se muestran en la figura 6.

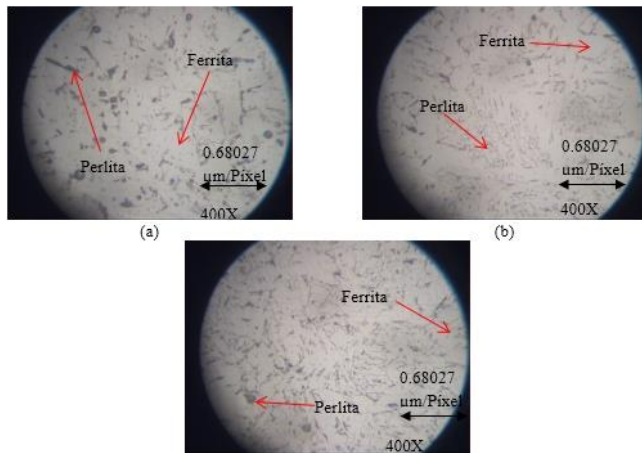


Figura 6. Microscopía del cordón de soldadura para la condición 71°C (a), condición 121°C (b) y condición 171°C (c) de soldadura a un aumento de 400X

En la microestructura encontrada en la zona afectada por el calor se puede apreciar un aumento en la concentración de carbono en el acero, distribuido uniformemente en forma de perlita, esta diferencia se puede notar en la microscopía realizada a 50X ZAC-CS donde se observa una zona más oscura que otra; debido a la diferencia de % de carbono presente en las dos zonas. Estos resultados se muestran en la Figura 7 junto con la microscopía de la zona afectada por el calor a 200X y 400X.

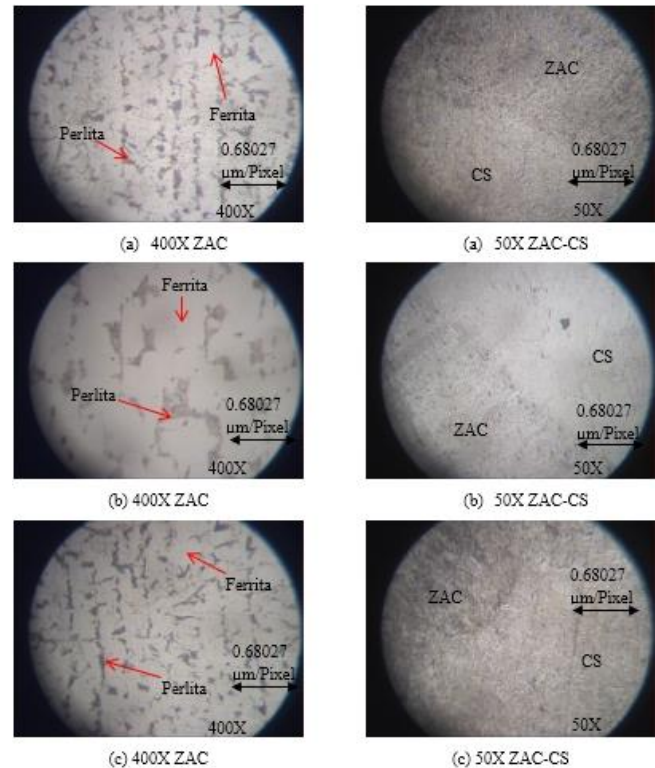


Figura 7. Microscopía de la zona afectada por el calor (ZAC) con aumento de 400X y de la zona afectada por el calor con el cordón de soldadura (ZAC-CS) con un aumento de 50X para las condiciones soldadas 71°C (a), 121°C (b) y 171°C (c)

En la microscopía realizada sobre el metal base de las condiciones soldadas se observaron zonas con alto contenido de carbono en forma de perlita sin cambios significativos para las tres condiciones de soldadura, presentando una microestructura similar todas. (Figura 8)

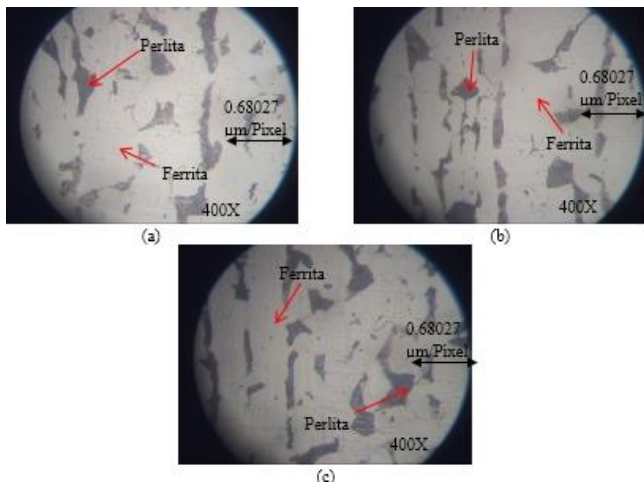


Figura 8. Microscopia del metal base para las condiciones de soldadura 71°C (a), 121°C (b) y 171°C (c) con un aumento de 400X.

### 3.9. Ensayo de doblado

A continuación, se presentan los análisis de los ensayos de doblado de cara y raíz, junto con la identificación y medición de grietas presentes siguiendo los lineamientos de la norma AWS D1.1/D1.1M [6].

A la temperatura de precalentamiento  $T_p = 71^\circ\text{C}$ , algunas probetas de doblado de cara presentaron discontinuidades cuyos tamaños no son aceptados por los criterios de aceptación especificados en la norma AWS D1.1/D1.1M [6], por lo que el procedimiento se rechaza. Para las probetas con temperatura de precalentamiento  $T_p = 121^\circ\text{C}$ , en las tres con doblado de raíz se observaron buenos resultados, en las probetas con doblado de cara, dos presentan buenos resultados al no existir grietas o discontinuidades en el cordón de soldadura. En las seis probetas con temperatura de precalentamiento  $T_p = 171^\circ\text{C}$  se obtuvieron buenos resultados, ya que ninguna presenta discontinuidades en el cordón de soldadura tanto en las probetas con doblado de cara como en doblado de raíz.

Con los resultados obtenidos en las tres temperaturas de precalentamiento, se pudo observar que con la temperatura máxima de precalentamiento, la cual es  $171^\circ\text{C}$ , en las probetas aumentan los valores de ductilidad de todas las muestras y gracias a ello, no se crean

fisuras ni discontinuidades a lo largo de cordón de soldadura en las probetas tanto de doblado de cara como de raíz.

En la Figura 9 se muestran unas imágenes de las probetas del ensayo de doblado para la condición de  $171^\circ\text{C}$  que resultó ser exitoso.



Figura 9. Probetas de ensayo de doblado de la condición a  $171^\circ\text{C}$

### 3.10. Ensayo de tracción

Para la obtención de los resultados de este ensayo se utilizaron 3 probetas para cada temperatura de precalentamiento. Una vez obtenidos los resultados se procede a realizar un promedio de los valores obtenidos para las probetas de cada temperatura en el esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo, esfuerzo de ruptura, elongación y reducción de área. Los valores de los esfuerzos son representados en un diagrama esfuerzo-deformación para cada temperatura de precalentamiento.

Para cada condición de precalentamiento, se ensayaron tres muestras para determinar los esfuerzos de fluencia, máximo y rotura, así como la elongación y reducción de área. Todas las probetas ensayadas tuvieron la fractura fuera del cordón de soldadura, lo que indica que dicha soldadura se realizó de forma correcta. También se observó que todas las probetas presentaron una fractura tipo dúctil en la zona de estricción. La tabla N° 6 muestra el promedio de las propiedades encontradas por condición.

Tabla 5. Propiedades mecánicas para las probetas con precalentamiento a 71 °C, 121 °C y 171 °C

Temperatura	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Deformación ingenieril (mm/mm)	Reducción área (mm <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup> )
71°C	296.2	451.3	339.5	0,2582	0,5468
121°C	319.7	458.4	345.0	0.2640	0,5784
171°C	323.2	459.7	349.9	0,2616	0,5506

Para todas las condiciones de precalentamiento, se observa en la Figura 4 que el comportamiento de la curva, es característico de un material dúctil.

En la tabla N° 6 se observa que a medida que se incrementa la temperatura de precalentamiento, los esfuerzos de fluencia, máximo y de rotura son directamente proporcional a dicha temperatura de precalentamiento, obteniéndose los máximos valores a la temperatura de 171°C.

El mayor porcentaje de elongación para todas las temperaturas de precalentamiento se obtuvo con las probetas precalentadas a 121 °C; sin embargo, el porcentaje de elongación permaneció casi igual para todas las condiciones.

El menor promedio de reducción de área obtenido para todas las probetas, fueron las que se precalentaron a 71 °C, obteniendo un valor mínimo de 54%, y la condición de 171°C presentó un porcentaje similar con un 55% de reducción de área. Las probetas con mayor porcentaje de reducción de área fueron las que se precalentaron a 121 °C, con un valor de 57%, dando como resultado una mayor ductilidad a esa temperatura.

### 3.11. Ensayo de microdureza

Para la realización de este ensayo, se utilizaron tres probetas, una para cada temperatura de precalentamiento. Se realizaron mediciones de microdureza en las zonas de interés que se muestran en la figura 10. En cada zona se realizó un total de tres mediciones de microdureza Vickers, para luego hacer un promedio de estas mediciones. La Figura 11 permite observar de forma gráfica los resultados obtenidos de microdureza en cada una de las zonas de la probeta evaluada.



Figura 10. Identificación de zonas en la probeta para el ensayo de microdureza

Cada una de las zonas de la probeta está definida de la siguiente forma:

1. MB-A : Metal Base – A
2. ZA-A: Zona Adyacente – A
3. CS: Cordón de Soldadura
4. ZA-B: Zona Adyacente – B
5. MB-B: Metal Base – B

Al analizar las gráficas obtenidas para cada temperatura de precalentamiento, se observa que la microdureza es mayor en el cordón de soldadura y disminuye al alejarse de éste, debido a que la zona del cordón de soldadura es la que estuvo expuesta a una mayor temperatura, como consecuencia al enfriamiento lento al que estuvo sometida se creó una microestructura de grano más fino, el cual ocasiona que se obtenga una dureza mayor en comparación con las demás zonas. En las zonas adyacentes al cordón la microdureza disminuye, ya que esta área estuvo expuesta a una temperatura no tan elevada como la del cordón de

soldadura, por lo que se obtiene una microestructura diferente y con una dureza mucho menor.



Figura 11. Microdureza Vickers para cada condición de soldadura

#### 4. Conclusiones

El material base utilizado ASTM A36 cumple con los valores teóricos de composición química, dureza y resistencia mecánica.

Se logró determinar una temperatura de precalentamiento por medio del método de Seferian se obtuvieron dos valores adicionales variando el resultado de temperatura inicial obtenido.

En el análisis químico realizado al cordón de soldadura de las muestras con condiciones de precalentamiento se obtuvieron resultados que están dentro de los valores el material de aporte utilizado.

Las juntas soldadas con precalentamiento de 171 °C fueron más resistentes en el ensayo de doblado que las precalentadas con temperaturas de 71 °C y 121 °C.

A medida que se aumenta la temperatura de precalentamiento, se obtienen menos grietas y deformaciones entre el cordón de soldadura y el metal base en el ensayo de doblado.

Se observó mediante los valores obtenidos en el ensayo de microdureza Vickers, que a medida que se aumenta la temperatura de precalentamiento disminuye la microdureza en el cordón de soldadura y disminuye la microdureza al alejarse del cordón de soldadura.

En el cordón de soldadura aumentó la cantidad de perlita contenida cuando se incrementó la temperatura en las condiciones de precalentamiento debido al enfriamiento más lento del cordón.

La soldadura realizada demostró ser de buena calidad ya que las probetas de tracción no fallaron en el cordón de soldadura ocasionando una fractura tipo dúctil a pocos centímetros del cordón.

#### 5. Recomendaciones

Realizar en investigaciones futuras el uso de un espesor distinto de las láminas utilizadas del material, con el fin de poder obtener un estudio más profundo del comportamiento del acero ASTM A36.

Utilizar diferentes temperaturas de precalentamiento para poder obtener más datos de propiedades mecánicas y microscopía del acero con distintas condiciones de soldadura.

No utilizar altas temperaturas de precalentamiento ya que pueden afectar la microestructura del material y así obtener resultados no deseados.

Realizar un mecanizado de las juntas soldadas con fresadora, para que el área de estudio pueda quedar con una mejor visualización y así poder observar la calidad de la soldadura obtenida entre el cordón y el metal base.

#### 6. Referencias

- [1] Fundamentos-de-Manufactura-Moderna-3edi-Groover,2007
- [2] O.Tene, "Estudio de la temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW en el hierro fundido gris y su incidencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada
- [3] ASTM International ASTM E407-07 (2015) e1 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. In *ASTM Volume 03.01 Metals—Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Tests; Metallography*; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2015; Vol. 03.01.

- [4] ASTM E384, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials ASTM Committee: West Conshohocken, PA, USA, 1999
- [5] ASTM International (2016) ASTM E8/E8M: 16a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. In: ASTM Volume 03.01 Metals—Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Tests; Metallography. ASTM International, USA.
- [6] AWS *D1.1/D1.1M:2020*; Structural Welding Code—Steel. 24th ed. American National Standard Institute, American Welding Society: Danvers, MA, USA, 2020.
- [7] F. R. Morral , E. Jimeno y P. Molera , Metalurgia general, Volumen 2, Barcelona, España, Editorial Reverté S.A., 2004.