

Research Article

Evaluation of the Mechanical Properties and Metallographical Characterization of ASTM A36 Steel Welded Joints, with GMAW Process

Evaluación De Las Propiedades Mecánicas Y Caracterización Metalográfica De Juntas Soldadas De Acero ASTM A36, Bajo Proceso GMAW

David Andrés Albán Naranjo*, Carlos Oswaldo, Serrano Aguiar, Geovanny Guillermo Novillo Andrade

Carrera Ingeniería Mecánica, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC 060155

V CONGRESO
INTERNACIONAL DE
INGENIERÍA DE MECÁNICA

Corresponding Author: D
Albán Naranjo; email:
david.alban@epoch.edu.ec

Published: 24 July 2024

Production and Hosting by
Knowledge E

© D Albán Naranjo et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Abstract

This study aims to evaluate the mechanical properties and carry out the metallographic characterization of the butt-welded joints of ASTM A36 steel, with ER70S-6 filler material under the GMAW process. It was developed from a quantitative point of view attached to a correlational and experimental approach, through data collection techniques and content analysis. The welding process was based on established parameters such as voltage, amperage, and wire feeding speed, which were then evaluated to develop the experimental process, evaluated properties, and metallographically characterized welded joints. Three plate thicknesses were analyzed, which were welded in various combinations with different parameter values, obtaining four combinations for each thickness. In each of these combinations, ultrasound, traction, face, and root bending tests were carried out. Later, the metallographic analysis was carried out based on three analysis zones: fusion zone, heat-affected zone, and base-metal zone, in addition to this, the width of the heat-affected zone, the grain size, and the hardness were also analyzed. Based on the above, five combinations were identified whose beads presented good properties, 250 IPM combinations being the most outstanding. These combinations presented good weldability in the three thicknesses considered, despite having different voltage and amperage ranges.

Keywords: *welding, metallography, ASTM A36 steel, mechanical properties.*

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades mecánicas y realizar la caracterización metalográfica de las juntas soldadas a tope de acero ASTM A36, con material de aporte ER70S-6 bajo el proceso GMAW, se lo desarrolló desde un punto de vista cuantitativo apegado a un enfoque correlacional y experimental, mediante técnicas de recopilación de datos y el análisis de contenidos, se establecieron los parámetros iniciales a tener en cuenta en el proceso de soldado, siendo estos: voltaje, amperaje y velocidad de alimentación del alambre, desarrollado el proceso experimental, se procedió a evaluar las propiedades y se caracterizó metalográficamente las uniones soldadas. Se analizaron tres espesores de placas, las cuales fueron soldadas en varias combinaciones con diferentes valores de parámetros, obteniéndose cuatro combinaciones por cada espesor.

 OPEN ACCESS



En cada una de estas combinaciones se realizaron pruebas de: ultrasonido, tracción, doblaje de cara y raíz; y, posteriormente, se realizó el análisis metalográfico, enfocado en tres zonas de análisis: zona de fusión, zona afectada por calor y zona del metal base, adicional a esto, se determinó el ancho de la zona afectada por calor, el tamaño de grano y la dureza. Con base a lo anterior se identificaron cinco combinaciones cuyos cordones presentaron buenas propiedades, siendo las combinaciones de 250 IPM las más destacadas, dado que, con diversos rangos de voltaje y amperaje, las uniones soldadas presentaron buena soldabilidad en los tres espesores considerados.

Palabras Clave: Soldadura, Metalografía, Acero ASTM A36, Propiedades Mecánicas.

1. Introducción

Soldadura es un proceso que permite la unión de dos o más materiales, consiste en fundir parte de ambos materiales para formar uno solo, mientras se aplica calor o presión, o ambos, en la soldadura se produce una energía calórica tal, que cambia de estado a los materiales permitiéndoles unirse y formar una nueva estructura cristalina [1]. La unión de estos metales recibe el nombre de junta soldada, y dependiendo de la configuración geométrica que estos presenten se identifica los distintos tipos de juntas [2].

Observando la actualidad del sector constructor del país, se aprecia que está inclinándose hacia la utilización de estructuras metálicas para la construcción de edificios [3], esto se deriva en la utilización de vigas y columnas de acero estructural, mismas que pueden ser adquiridas externamente o fabricadas artesanalmente, para ello se utilizan planchas de acero mismas que se sueldan según las necesidades de diseño, en consecuencia, es necesario garantizar que las juntas soldadas presenten buenas propiedades mecánicas.

Entre la gran variedad de procesos de soldadura que existe, destaca el proceso GMAW [4], esto se debe a que la mayoría de los metales pueden ser soldados mediante este proceso, mismo que ha sido difundido ampliamente y es altamente utilizado en la industria, se encuentra dentro del tipo de soldadura por arco eléctrico, mencionando dos particularidades: se utiliza un material de aporte con alimentación automática y constante, y la protección del cordón se lo realiza mediante la utilización de un gas [5]; adicional a esto, se puede mencionar que este proceso utiliza distintos gases para formar el recubrimiento gaseoso, siendo de los más utilizados el CO₂ [6].

El proceso GMAW es bastante empleado para soldadura de acero estructural, en parte, debiéndose a las ventajas que este presenta sobre otros procesos, entre las ventajas más importantes destacan: la velocidad de soldado, siendo mucho más alta que con otros procesos, se puede utilizar para soldar espesores pequeños de planchas



de acero, se producen pocas salpicaduras al realizar el cordón y no genera escoria, generando así un ahorro de tiempo [7].

Aunque el proceso GMAW produce uniones más fuertes y libres de defectos, la calidad de la soldadura está en función de los parámetros seleccionados, siendo estos: velocidad de alimentación, voltaje, amperaje, número de pasadas, entre otros; todo esto influye directamente en la microestructura y las propiedades que presentará la soldadura [8]. En términos de productividad este proceso es el idóneo para reemplazar al proceso SMAW [9].

Considerando lo anteriormente mencionado, la investigación busca realizar el proceso de soldado de placas de acero estructural, variando: el amperaje, voltaje y velocidad de alimentación, considerando tres grupos de espesores de planchas de acero, siendo estos de seis, ocho y diez milímetros, para posteriormente evaluar sus propiedades y caracterizar metalográficamente las juntas soldadas, definiendo así, que combinaciones de parámetros presentan los mejores resultados y pueden ser replicadas; por otro lado se puede definir a la investigación en dos fases: la primera fase comprende la parte experimental del proceso de soldado, realizado en el Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, y la segunda parte que comprende el análisis metalográfico, realizado en el Laboratorio de Materiales la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2. Materiales y Métodos

El material seleccionado como metal base para el estudio fue el acero A36, con la consideración que es uno de los metales más utilizados para elaborar estructuras metálicas, observando la situación de la industria en el Ecuador, es el metal más utilizado para la construcción de edificios [10]. La investigación está enmarcada en la normativa AWS D1.1 que es el Código de Soldadura Estructural; la máquina utilizada para el proceso de soldado de las placas fue una soldadora Inverter V350 PRO, el material de aporte fue el alambre ER70S6 de 1,2 mm de diámetro y se optó por utilizar como gas de aporte 100% CO₂ con un flujo de 20 lb/min, los distintos ensayos y número de probetas están en función a lo establecido en la norma.

Para realizar la primera parte de la investigación, los equipos utilizados fueron: en los ensayos de ultrasonido se utilizó un detector SIUI CTS-9005 mediante el empleo de una empresa certificada, externa a la Politécnica Nacional, en los ensayos de tracción se utilizó la máquina de ensayo universal, en los ensayos de doblez de cara y raíz, se utilizó la máquina de ensayos de doblado, adicionalmente se contó con un soldador



API, además de un inspector de soldadura CWI, siendo el personal capacitado del Laboratorio de Soldadura de la Escuela Politécnica Nacional.

Para la segunda parte de la investigación los equipos utilizados fueron: para realizar las micrográficas se utilizó un microscopio NIKON ECLIPSE E200, para los ensayos de dureza se utilizó un durómetro modelo HBRV-187.5 y para medir las indentaciones se utilizó un microscopio MITUTOYO SERIE TM.

Para el desarrollo del trabajo se optó por una metodología experimental, realizada en un ambiente adecuado y contando con personal capacitado, donde se tuvo control de los siguientes parámetros en el procedimiento de soldado: velocidad de alimentación del alambre, voltaje y amperaje, que son los factores más importantes del proceso [11], obteniéndose 12 cordones, distribuidos en los espesores de seis, ocho y diez milímetros; se procedió a evaluar las propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción, doblado de cara y raíz, para después proceder a caracterizar metalográficamente, determinando: tamaño de la ZAC, tamaño de grano, dureza y metalografías de las juntas.

2.1. Dimensiones de placas

Llamándose placas, a la porción de material extraído de las planchas de acero que van ser soldadas en función a la combinación de los parámetros establecidos, en base a la norma AWS D1.1, sección 4, se estableció la dimensión de las placas en: 180mm de ancho y 400mm de largo, esta medida está en función del número total de probetas (Tabla I) y la distribución interna de los cupones [12].

2.2. Número de probetas

Siguiendo la finalidad de la investigación, que es determinar que combinaciones de parámetros presentan buenas propiedades, se necesita adoptar el procedimiento para calificar los procesos de soldadura presentes en la norma en consideración a los espesores establecidos de las planchas de acero, siendo estas de: 6, 8 y 10 mm, la norma AWS D1,1 establece los ensayos idóneos y el número de probetas necesarias para aprobar cada cupón (Tabla I), entendiéndose por cupón, al nombre que recibe el conjunto de dos placas soldadas.

Tabla 1

Tipos de ensayos y número de probetas.

Espesores de las planchas	6 mm	8 mm	10 mm
	N° de probetas		
Ensayo de tracción	2	2	2
Dobleza de cara	2	2	2
Dobleza de raíz	2	2	2
Ensayo metalográfico	2	2	2

2.3. Distribución interna de cupones

En función a los ensayos establecidos y al número de probetas necesarias para cada ensayo, la norma AWD D1.1, establece las dimensiones mínimas que debe tener cada probeta, en base a esto se determina las dimensiones globales de los cupones, así como las dimensiones internas de cada probeta (Figura 1).

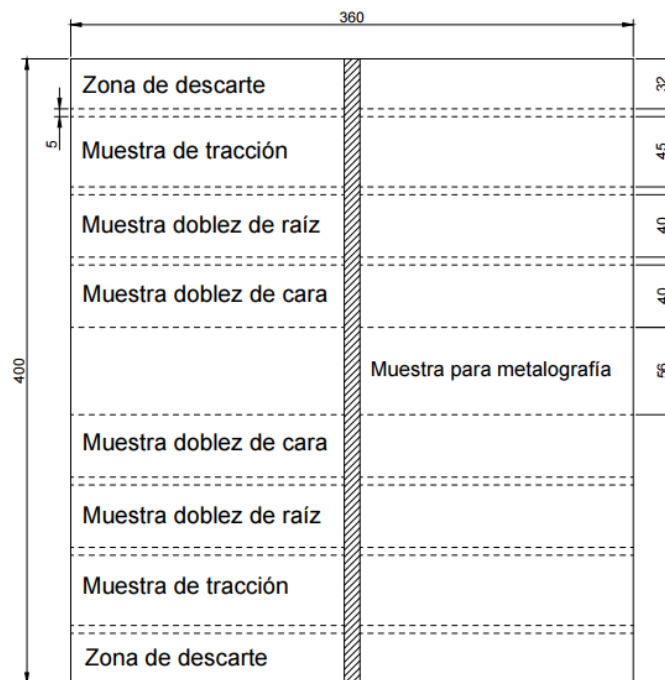


Figura 1

Distribución interna de cupones .

2.4. Preparación de bordes

Las dimensiones de los bordes de las placas se encuentran en función al tipo de junta establecida, siendo estas dimensiones: ancho de cara de raíz de 3mm con un ángulo de ranura de 30° en relación a la vertical y una separación de 3mm entre las placas (Figura 2).

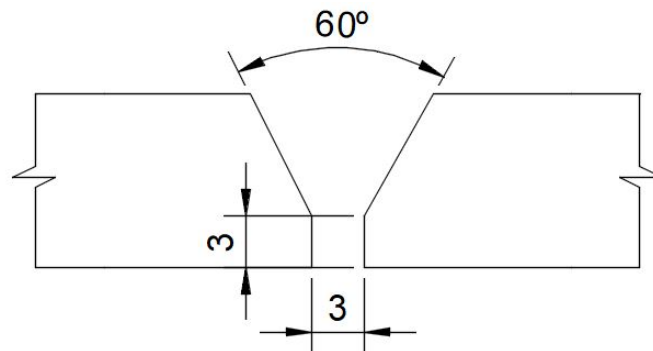


Figura 2

Dimensiones de bordes.

2.5. Cordones de respaldo

Los cordones de respaldo se los realizó en el lado de las placas donde se encontraba la raíz, con la finalidad funcionar como una placa de respaldo, soportando así la deposición del material de aporte y permitiendo rangos más amplios de variación de parámetros (Tabla II).

2.6. Parámetros de soldadura

En base a los parámetros dados por el fabricante (Figura 3), se observa que para un proceso con transferencia de corto circuito y con diámetro de alambre de 1,1 mm, la velocidad mínima de alimentación es de 125 (pulgadas/min), para este trabajo de investigación de tomo esos valores como los mínimos de cada combinación y en función a estos se realizó los intervalos.

Se puede establecer además que existe una relación directamente proporcional entre la velocidad de alimentación y el amperaje utilizado en el proceso, así como una relación entre la longitud de arco y el voltaje, la velocidad de avance y la longitud de arco son variables, puesto que, dependen del soldador y de la forma como realiza el cordón [14].

Tabla 2

Procedimiento cordones de respaldo.

Nº	OPERACIÓN	IMAGEN
1	Se puntean las placas a pedazos de platina colocadas en los extremos.	
2	Se realiza el cordón de respaldo	
3	Se elimina el excedente del cordón para dejar las dimensiones originales de los bordes y que funcionen solo como placa de respaldo.	

Los parámetros de soldadura se los realizo en relación a tres variables, voltaje, amperaje y velocidad de alimentación (Tabla III).

Los valores de esta tabla están presentados en rangos, a excepción de la velocidad de alimentación que es un valor puntual que se regula en la máquina soldadora.

2.7. Proceso de soldado

El proceso de soldado se lo realizó en función en los parámetros seleccionados anteriormente y siguiendo un procedimiento establecido (Tabla IV).

2.8. Inspección de soldadura

Conforme a lo estipulado en la norma AWS D1.1 para calificar un proceso de soldadura este cordón debe pasar primero por una inspección visual, luego se debe llevar a



Diámetro, gas protector, polaridad	CTWD ⁽⁵⁾ mm (in)	Velocidad de alimentación de alambre m/min (pulgadas/min)
0.025 pulgadas (0.6 mm), CD+		
Transferencia de corto circuito 100% CO ₂	9-12 (3/8-1/2)	2.5 (100) 6.4 (250)
0.030 pulgadas (0.8 mm), CD+		
Transferencia de corto circuito 100% CO ₂	9-12 (3/8-1/2)	1.9 (75) 3.8 (150) 7.6 (300)
0.035 pulgadas (0.9 mm), CD+		
Transferencia de corto circuito 100% CO ₂ ⁽⁶⁾	9-12 (3/8-1/2)	2.5 (100) 3.8 (150) 6.4 (250)
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO ₂	12-19 (1/2-3/4)	9.5 (375) 12.7 (500) 15.2 (600)
0.045 pulgadas (1.1 mm), DC+		
Transferencia de corto circuito 100% CO ₂ ⁽⁶⁾	12-19 (1/2-3/4)	3.2 (125) 3.8 (150) 5.1 (200)
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO ₂	12-19 (1/2-3/4)	8.9 (350) 12.1 (475) 12.7 (500)

Figura 3

Especificaciones alambre ER70S6 [13].

cabo un ensayo no destructivo pudiendo estos ser: ultrasonidos o radiografías. Para el desarrollo del presente trabajo se optó por realizar ultrasonidos a los 12 cordones realizados.

Para realizar los ensayos de ultrasonido se contrató los servicios de SINDESECUADOR S.A, misma que presta los servicios de inspección no destructiva, se realizó la inspección de los 12 cordones de soldadura mediante ultrasonido convencional.

2.9. Propiedades Mecánicas

2.9.1. Ensayo de tracción

Este ensayo busca aplicar cargas axiales a la probeta, con la finalidad de comprobar en qué zona de las mismas se produce la fractura, siendo estas zonas: la zona del cordón de soldadura, zona afectada por el calor o en el material base (Figura 4).

El criterio de aceptación para que una probeta pueda aprobar el ensayo, es analizar la zona de ruptura de la misma, siendo el metal base la única zona aceptada para que ocurra [15].

Tabla 3*Parámetros utilizados.*



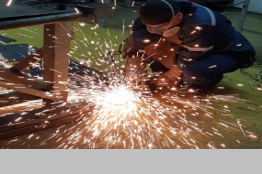

Espesor	N° de placa	N° de pase	Amperaje (A)		Voltaje (V)		Tiempo (seg)	Velocidad de alimentación (IPM)
			Min	Max	Min	Max		
6 mm	Placa 1	P 1	155	161	21	21,1	141	150
		P 2	156	161	21,6	21,8	179	
	Placa 2	P 1	168	172	22,2	22,4	105	200
		P 2	173	181	22,9	23,2	147	
	Placa 3	P 1	188	193	22,2	22,7	87	237
		P 2	207	215	22,5	22,7	163	
	Placa 4	P 1	186	193	22,9	23,2	84	250
		P 2	207	215	24,6	24,8	129	
8 mm	Placa 1	P 1	127	135	23,3	24	160	150
		P 2	154	160	23	23,2	217	
	Placa 2	P 1	155	161	23,5	24	153	200
		P 2	185	190	23,3	23,5	187	
	Placa 3	P 1	186	194	23,9	24,1	103	250
		P 2	205	215	24,8	25,1	163	
	Placa 4	P 1	209	216	24,7	25,1	92	300
		P 2	239	244	25,8	26	168	
10 mm	Placa 1	P 1	168	175	23,3	23,5	119	200
		P 2	188	191	24,9	25,2	103	
		P 1	192	196	24,9	25,2	188	
	Placa 2	P 1	192	198	25	25,2	106	250
		P 2	208	213	25,4	25,6	108	
		P 3	206	211	25,4	25,7	152	
	Placa 3	P 1	215	221	25,4	25,7	69	300
		P 2	238	248	25,7	26,1	92	
		P 3	249	257	25,8	26,1	138	
	Placa 4	P 1	225	228	26,9	27,1	60	325
		P 2	254	256	26,9	27	85	
		P 3	252	257	26,9	27,2	130	

2.9.2. Ensayo de doblez de cara y raíz

Este ensayo tiene como objetivo comprobar la ductilidad del material, para este ensayo se debe preparar la zona soldada de la probeta, se debe pulir esta superficie para observar todas las imperfecciones, se denomina ensayo de doblez de cara porque la superficie a ser analizada es la cara del cordón soldadura (Figura 5).

Tabla 4

Procedimiento de soldado de placas.

N°	OPERACIÓN	IMAGEN
1	Colocación de los puentes en los extremos de las placas a ser soldadas.	
2	Soldado del cordón de raíz.	
3	Limpieza del cordón de raíz mediante una grata.	
4	Soldado del segundo pase y de ser necesario soldado del tercer pase, dependiendo del espesor de las placas.	

El ensayo consiste en colocar la probeta de manera longitudinal sobre los rodillos de la máquina de ensayos, se debe alinear el cordón de soldadura con el eje transversal del elemento que aplicará la carga para que exista una distribución uniforme de la misma [16].

Analizada las superficies de las probetas es necesario aplicar los criterios de aceptación presentes en la normativa AWS D1,1 aquellas probetas que presenten discontinuidades, cuyas dimensiones excedan las establecidas serán rechazadas.

2.10. Caracterización metalográfica

2.10.1. Preparación de la muestra

Las probetas se extraen en sentido longitudinal de las placas cortadas de los cupones, las dimensiones de las probetas se establecen en 90mm de largo y 15mm de ancho (Figura 6).



Figura 4

Probeta ensayada de tracción.

Para la preparación de las muestras se tomó en consideración lo estipulado en la norma ASTM E3 [17].

2.10.2. Ensayo metalográfico

Para preparar las probetas se utiliza nital al 5% durante un tiempo de 5 segundos según las indicaciones establecidas en la norma ASTM E407 [18], adicionalmente se analizará tres zonas: zona de fusión, zona afectada por el calor y el material base (Figura 7).



Figura 5

Probetas ensayadas de doblez de cara.



Figura 6

Probeta para micrografía.

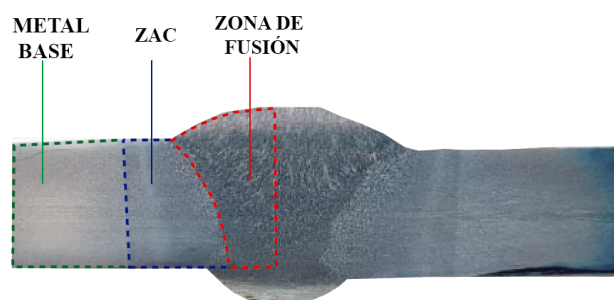


Figura 7

Zonas a ser analizadas.

2.10.3. Tamaño de la ZAC

Para determinar el tamaño de la ZAC de todas las probetas se optó por tomar una foto de cada una de ellas, luego se aplicó una escala y se realizó tres líneas dentro de la zona (Figura 8), mismas que fueron medidas y calculadas el promedio, obteniendo así el ancho promedio de la ZAC.

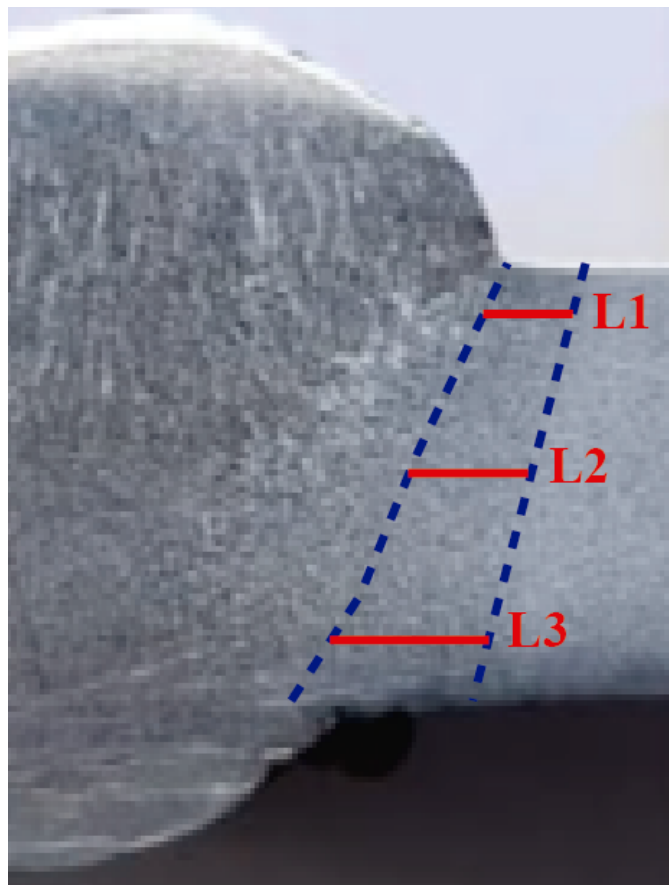


Figura 8

Ancho de la ZAC.

2.10.4. Tamaño de grano

Para determinar el tamaño de grano se optó por utilizar el método de intersección, el cual consiste en trazar líneas en la micrografía, para luego mediante el empleo de la norma ASTM E113 determinar el tamaño de grano (Figura 9).

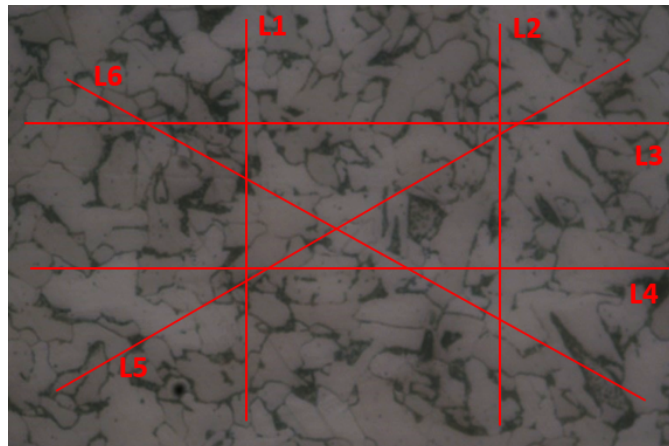


Figura 9

Medición del tamaño de grano.

2.10.5. Dureza

Este proceso consiste en realizar indentaciones con un penetrador esférico sobre la superficie a analizar, estas indentaciones se miden y se determina el valor de dureza según las especificaciones de la norma, adicionalmente se debería considerar varias zonas para realizar los ensayos [19].

Para medir la dureza se realizan indentaciones con una esfera de 2,5 mm de diámetro por medio de un durómetro aplicando una carga de 187,5 kgf, todo esto en relación a lo estipulado a la norma ASTM E10 [20], en total se realizan tres indentaciones en las tres zonas a medir la dureza (Figura 10).

Posteriormente se miden los diámetros de las indentaciones de manera horizontal y vertical, luego se realiza un promedio de las mismas y se reemplaza los datos en la ecuación 1.

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (1)$$

3. Resultados y Discusión

3.1. Propiedades mecánicas

Realizados los ensayos de: ultrasonido, tracción, doblez de cara y doblez de raíz, es necesario evaluar de manera global cada cupón, definiendo así a las probetas que



Figura 10

Probeta ensayada (dureza).

pasaron todos los ensayos y por ende pertenecen al cupón con la combinación de parámetros que presentan buenas propiedades (Tabla V).

El primer cupón aprobado es el de codificación GMAW-200-6, con un espesor de 6mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 200 IPM, con un rango de voltaje de (22-23) voltios y un rango de amperaje de (168 – 181) amperes, comprendidos entre el paso de raíz y el pase final.

El segundo cupón aprobado es el de codificación GMAW-250-6, con un espesor de 6 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 250 IPM, con un rango de voltaje de (22.9-24.9) voltios y un rango de amperaje de (185 – 215) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

El tercer cupón aprobado es el de codificación GMAW-250-8, con un espesor de 8 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 250 IPM, con un rango de voltaje de (23.9-25) voltios y un rango de amperaje de (185 – 215) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

**Tabla 5**

Resultados globales de los ensayos.

	ENSAYOS			RESULTADOS
	ULTRASONIDO	DOBLEZ	TRACCIÓN	
GMAW-150-6	Aprueba	Aprueba	No aprueba	No aprueba
GMAW-200-6	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
GMAW-237-6	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba
GMAW-250-6	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
GMAW-150-8	Aprueba	Aprueba	No aprueba	No aprueba
GMAW-200-8	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba
GMAW-250-8	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
GMAW-300-8	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba
GMAW-200-10	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba
GMAW-250-10	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
GMAW-300-10	No aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba
GMAW-325-10	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

El cuarto cupón aprobado es el de codificación GMAW-250-10, con un espesor de 10 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 250 IPM, con un rango de voltaje de (25-25.7) voltios y un rango de amperaje de (192 – 211) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

El quinto cupón aprobado es el de codificación GMAW-325-10, con un espesor de 10 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 325 IPM, con un rango de voltaje de (26.9-27.2) voltios y un rango de amperaje de (225 – 255) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

3.2. Caracterización metalográfica

3.2.1. Ancho de la ZAC

Determinadas las dimensiones de las 3 líneas horizontales generadas en la ZAC de cada probeta, es necesario precisar un valor promedio que nos permita comprender de mejor manera la relación de esta zona con las variables del proceso (Tabla 6).

Los valores de ancho de la ZAC son directamente proporcionales a la energía calórica que se le adiciona, el ancho va aumentando a raíz del aumento de la velocidad de alimentación del alambre, que a su vez es proporcional al amperaje suministrado.



Tabla 6

Resultado tamaño de la ZAC.

Codificación	Ancho Promedio de la ZAC (mm)
150-6	2,5
200-6	3,67
237-6	4,08
250-6	3,41
150-8	3,39
200-8	4,15
250-8	4,25
300-8	4,52
200-10	4,29
250-10	4,31
300-10	4,38
325-10	4,58

3.2.2. Dureza

Realizado el ensayo de dureza es necesario construir el perfil de durezas promedio para cada espesor, para determinar qué relaciones se generan entre zonas y espesores (Figura 11).

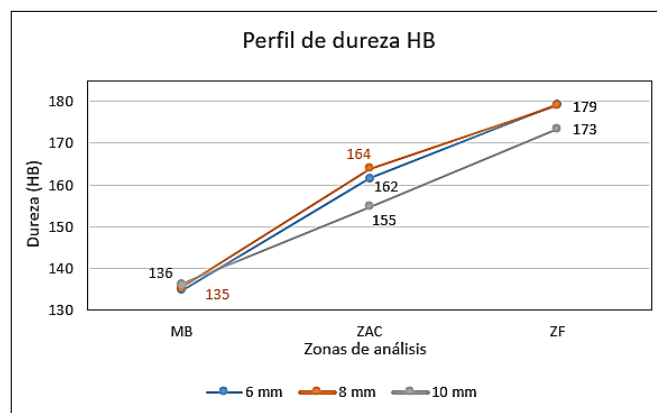


Figura 11

Perfil de dureza promedio de cada espesor.

Como se observa los valores de dureza en el metal base están muy próximos, obteniéndose una dureza en el metal base de 135 HB en los espesores de 6 y 8 mm, y de 136 HB en el espesor de 10 mm.



En la zona afectada por el calor se observa una variabilidad de los resultados entre la dureza de 155 HV obtenida en el espesor de 10 mm , con las durezas de 162 HB Y 164 HB obtenida en los espesores de 6 mm y 8 mm respectivamente, esto puede deberse a la localización de las indentaciones realizadas, conociendo que dentro de la ZAC existen varias zonas con diferentes microestructuras, las mismas que están en función a la cantidad de calor y a los tiempos de enfriamiento que tuvo en el proceso de soldadura.

En la zona de fusión se observa que existe gran similitud de los resultados, se obtuvo una dureza de 179 HB en los espesores de 6 mm y 8mm, y una dureza de 173 HB en el espesor de 10mm, determinándose así que el valor más alto de dureza se encuentra en la zona de fusión

Este perfil de dureza, caracterizado por el aumento de dureza es similar al determinado por De la Cruz R y Velasco G, donde se determinó un distinto tamaño de grano en las fases, conllevando consigo un aumento de dureza en la ZAC por la variación de temperaturas [21].

3.2.3. Tamaño de Grano

Determinado el tamaño de grano ASTM correspondiente a cada zona, es necesario determinar similitudes y diferencias entre los tamaños de grano de cada zona, y de cada espesor (Tabla 7).

Tabla 7

Resultado tamaño de la ZAC.

Codificación	Tamaño de Grano (ASTM)	
	Metal Base	ZAC
150-6	9	10
200-6	10	10
237-6	9	11
250-6	9	11
150-8	10	10
200-8	9	10
250-8	9	11
300-8	9	10
200-10	9	10
250-10	9	10
300-10	9	11
325-10	9	10

Como se observan, los valores de tamaños de grano del metal base y zona afectada por el calor difieren, se tiene un valor de tamaño de grano mayor en la zona afectada por el calor, lo cual contrasta con las micrografías tomadas en esta zona y con los valores de dureza medidos en la zona. Se puede establecer la relación, que a mayor de tamaño de grano se ha determinado según ASTM E112, mayor será la dureza. Los valores se encuentran redondeados según las recomendaciones de la norma y por tal razón hay valores de tamaño de grano numéricamente similares entre la zona afectada por el calor y el metal base.

El refinamiento del grano permite aumentar la dureza del material, siendo deseable el aumento de la dureza siempre y cuando no se produzca fragilidad en el material, esto se puede comprobar directamente con los ensayos de doblado de cara y raíz realizados a las probetas.

3.2.4. Análisis metalográfico

Cabe mencionar que una vez se analizaron las microestructuras en las zonas establecidas anteriormente, considerando las mismas coordenadas en cada zona, las probetas sin importar su espesor presentaron microestructuras similares, solo diferenciadas en el porcentaje de fase en cada una de ellas, por ello se analizará solo una microestructura de una de las probetas (Figura 12).

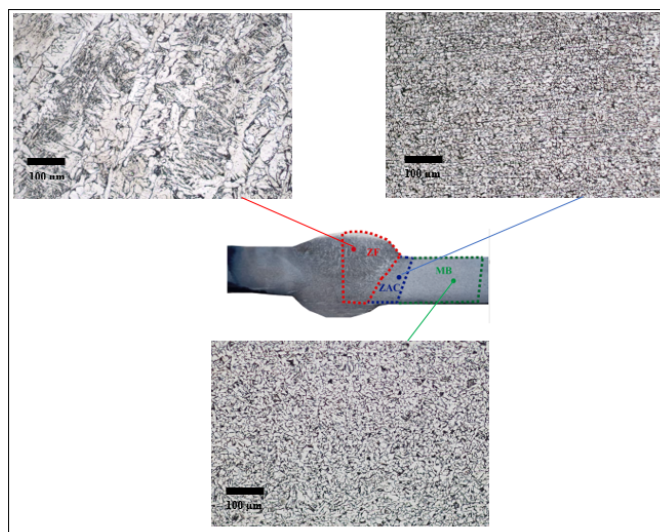


Figura 12

Micrografías probeta 200-6.

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.



ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca corresponde a la ferrita y la parte oscura a la perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recristalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), esto concuerda con las micrografías presentadas por Romero R, donde se analiza la ZAC de una junta soldada de acero A36 observando una microestructura parecida donde se aprecia perlita fina en una matriz perlítica y se establece que dicha microestructura se da debido a la cantidad calórica y los pases realizados [22].

La ferrita acicular influye de manera positiva en las propiedades de la junta soldada, aumentando directamente la dureza que esta presenta, este tipo de estructuras aparece debido a la nucleación de inclusiones no metálicas, generadas por la atmósfera protectora rica en oxígeno, debiéndose tomar en cuenta que solo las inclusiones que cumplan con ciertos rangos de diámetros pueden originar estas estructuras [23].

4. Conclusiones

Existe una relación directamente proporcional entre la velocidad de alimentación del alambre y el amperaje, de igual manera se puede establecer que la máquina soldadora al ser de voltaje constante, minimiza las variaciones de voltaje compensándolos con incrementos y reducciones en el amperaje, lo que explica la amplia variación de estos valores durante el proceso de soldado.

Por medio de ensayos de ultrasonidos se determinaron que cordones presentan discontinuidades, mismas que generalmente se localizaron cerca de la zona de la raíz, lo que indica una falta de penetración, influyendo directamente en el resultado de los ensayos de las probetas obtenidas.

Se determinaron los valores de resistencia a la tracción del metal base, siendo de: 62.5 ksi, 68 ksi y 69,5 ksi para los espesores de 6mm, 8mm y 10mm respectivamente, las probetas ensayadas que sufrieron la fractura en la ZAC o en zona de fusión, tuvieron valores menores de resistencia a la tracción, lo que señala que la combinación de parámetros no era la adecuada.



Se observó que para una velocidad de alimentación del alambre de 250 IPM, se obtuvieron buenos resultados independientemente del espesor del material, siendo los rangos de voltaje y amperaje utilizados, de: (185 a 215) amperios y (22,9 a 25,7) voltios comprendidos entre el pase de raíz y pase final.

Las durezas obtenidas en las zonas de análisis están en función al tamaño de grano que esta presenta, a un tamaño menor de grano corresponderá un valor de dureza mayor, esto se encuentra en concordancia con los valores de durezas obtenidos de cada zona y a los tamaños de granos observado en las micrografías.

Se observó un perfil de dureza con tendencia al incremento, obteniéndose en el metal base una dureza de 135 HB, en la ZAC de 160 HB y en la zona de fusión de 177 HB, por lo que se afirma que este proceso brinda una dureza más alta en la zona de fusión.

En términos generales el proceso GMAW, es un proceso con tiempos de soldado más rápidos, produce poca escoria, con una buena selección de parámetros se evitan discontinuidades que generalmente aparecen en otros procesos, posee alimentación continua del metal de aporte, en el cordón de soldadura se aprecian valores de resistencia a la tracción superiores a los del metal base, de igual manera se presentan valores de dureza superiores, sin perder la ductilidad.

5. Conflicto de intereses

No se posee conflicto de interés.

References

- [1] Pacheco P. Procesos en soldadura [internet]. D.F-México: Grupo Editorial Éxodo, 2015. [citado 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/128566>
- [2] Mayanza J, Tuquinga S. Análisis del comportamiento termo mecánico de la junta soldada tipo k, aplicada en la fabricación de carrocería de autobuses interprovinciales [Tesis de pregrado]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2018. Recuperado a partir de: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/9930>
- [3] Medina E, Vaca R. Estudio de los efectos de la temperatura de precalentamiento sobre la microestructura y propiedades mecánicas de aceros ASTM A36 y ASTM 572 GR. 50 soldados mediante proceso SMAW [Tesis de pregrado]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2020. Recuperado a partir de:



<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14527>

- [4] Rocha J, Icaza A, Martínez J, Salazar C. Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses. *Dominio de las Ciencias*. 2019;5:44-69
- [5] Arriga L, Zarate L. Procesos de soldadura [Internet]. D.F-México: Instituto Politécnico Nacional, 2008. [citado 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/74742>
- [6] Rodríguez O. Metalurgia de la soldadura [Internet]. La Habana-Cuba: Editorial Universitaria, 2013 [citado 12 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/100767>
- [7] Kalpakjian S, Schmid S. *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. 5.^a ed. México: Pearson Educación, 2008
- [8] Bijaya Kumar Khamari, Soumya Sobhan Dash, Swapan Kumar Karak & Bibhuti Bhusan Biswal. Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of GMAW and SMAW mild steel joints, *Ironmaking & Steelmaking*. 2019;47(8):844-851.
- [9] Vivek Singh, M. Chandrasekaran & Sutanu Samanta. Study on the influence of heat input on mechanical property and microstructure of weld in GMAW of AISI 201LN stainless steel, *Advances in Materials and Processing Technologies*. 2020;8(sup1):81-91.
- [10] Espinoza K, Pazmiño E. Evaluación experimental de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, A-36, A-572 y A-588, para la obtención de los diagramas de esfuerzo-deformación [Tesis de pregrado]. Quito: Universidad Católica del Ecuador; 2019.
- [11] Alonso C. [Internet]. Manual de prácticas de soldadura. Barcelona-España: Cano pina, 2014. [citado 13 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/43058>
- [12] AWS D1.1. *Structural Welding – Steel*. American Welding Society; 2015.
- [13] Lincoln Electric. L-S6 [Internet]. Disponible en: https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_MIGGMAWWires-L-S-LS6/L-S6_ES-MX.pdf
- [14] Collantes S, Sánchez M. Estudio del comportamiento de las juntas soldadas utilizando acero HSLA con el proceso gas metal arc welding (gmaW) en la fabricación de vehículos de transporte de pasajeros [Tesis de pregrado]. Quito: Universidad Politécnica Nacional; 2019.
- [15] Vera J. Evaluación de los procesos de soldadura MAG y SMAW en el grado de resistencia mecánica a la tracción de los cordones de soldadura en los aceros de bajo carbono [Tesis de pregrado]. Chiclayo: Universidad César Vallejo; 2019.



- [16] Gonzales M. Ensayos mecánicos aplicados a uniones soldadas mediante suelda (SMAW; GMAW (MIG)) de autobuses de acuerdo a las normativas ISO de soldeo [Tesis de maestría]. Quito: Universidad Internacional SEK; 2019.
- [17] ASTM E3-11. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. American Society for Testing and Materials; 2017.
- [18] ASTM E407. 2015 ASTM E3-11. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. American Society for Testing and Materials; 2017.
- [19] Icaza A. Validación QA/QC (Quality Assurance/ Quality Control) Del Proceso De Soldadura Por Arco De Metal y Gas GMAW, Utilizado en la Construcción De Estructuras Metálicas y/o Auto Partes Estructurales para Carrocerías de Buses en la Industria Ecuatoriana [Tesis de maestría]. Quito: Universidad Internacional SEK; 2019.
- [20] ASTM E10. Standard test method for Brinell hardness of metallic materials. American Society for Testing and Materials; 2018.
- [21] De la Cruz R, Velasco Germán. Efecto de los parámetros de soldeo con el proceso GMAW robotizado en un acero ASTM A-36 [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Libre; 2019.
- [22] Romero V. Análisis de comportamiento mecánico y microestructural de las transformaciones de fase en la zona afectada por el calor (zac) en juntas soldadas a tope para aceros estructurales por medio del proceso gas metal arc welding (gmaW) [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Libre; 2013.
- [23] Díaz-Cedré E, Cruz-Crespo A, Ramos Morales F, Tello Rico M, Chaparro González J, Rodríguez Pérez M, et al. Influencia de la cantidad de O₂ adicionado al CO₂ en el gas de protección sobre la microestructura del metal depositado en uniones soldadas de bordes rectos en aceros de bajo contenido de carbono con el proceso GMAW, Soldagem & Inspeção. 2010;15:281-288.