

# Estudio de las transformaciones metalográficas y variación de las propiedades mecánicas en juntas soldadas de acero ASTM A588 y A36

Carlos Naranjo G.  
Departamento de Ciencias de la  
Energía y Mecánica  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
Sangolquí - Ecuador  
cnnaranjo@espe.edu.ec

Xavier Sánchez S.  
Departamento de Ciencias de la  
Energía y Mecánica  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
Sangolquí – Ecuador  
xrsanchez@espe.edu.ec

Estefanía Tobar C.  
Departamento de Ciencias de la  
Energía y Mecánica  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
Sangolquí – Ecuador  
alejandratoobar2106@gmail.com

**Resumen** - Esta investigación trata de determinar cómo se afectan las propiedades mecánicas y la estructura metalográfica en una junta soldada, en dos tipos de aceros, el ASTM A36 (12 mm y 24 mm) y ASTM A588 (12 mm, 20 mm y 30 mm de espesor). Utilizando un procedimiento de soldadura tipo FCAW, basado en la norma AWS D1.5, el cual es uno de los más utilizados en uniones de elementos para puentes. Se realizaron las juntas, las cuales fueron cortadas en frío para la obtención de probetas. Se llevó a cabo la ejecución de ensayos de resistencia última a la tracción, doblado lateral para evaluar la ductilidad de la soldadura, ensayo de impacto Charpy muesca en V, para evaluar la resistencia al impacto, micro dureza y análisis metalográfico de la junta, todos ellos basados en los estándares de normas AWS y ASTM. Se verificó que el procedimiento de soldadura es aplicable a los dos aceros seleccionados. Particularmente se encontró que la ductilidad del acero A36 es ligeramente mayor que la del A588 pese a una misma aportación de calor. Micro-estructuralmente la dureza presenta su punto más alto en la línea de fusión de la junta, siendo el acero A588 el que presenta una mayor dureza en este punto. Adicionalmente las matrices encontradas son de tipo ferrítica – perlítica para los dos aceros, con particulares formaciones de bainita en la parte superior del cordón y el límite de fusión en el acero A36 de 12 mm.

**Palabras clave**- *Análisis Metalográfico de juntas soldadas, Variación de propiedades mecánicas, Comportamiento de acero ASTM A36 y A588 en una junta de soldadura.*

**Abstract**- This research is about how much the mechanical properties and metallographic structure in welded joints are affected. Using a FCAW process in ASTM A36 steel (12 mm and 24 mm) and ASTM A588 (12 mm, 20 mm and 30 mm thickness) with a welding process specification based on the standard AWS D1.5. After to weld the joints, the specimens for each test were done by water jet cutting. The mechanical tests performed were: tensile strength (ASTM E8), lateral bending to evaluate the ductility of welded joints (ASTM E190) and Charpy “V” notch (ASTM E23) to evaluate the toughness. Additionally were done Micro hardness and metallographic analysis through the welded joint, to confirm the no formation of undesirable microstructures in welding. The results obtained showed that providing the same amount of heat, regardless of the material and thickness, the A36 steel has a slightly higher ductility than A588 steel. For the Impact test the A588 steel has 16.38% more

toughness than A36 steel. In the micro hardness analysis was found that the highest value for both steels was in the fusion limit area, the A588 steel was 20.80% harder in this area than A36 steel. Additionally the global structure for both materials was a ferritic – pearlitic matrix, with formations of bainita in the A36 steel (12 mm.) And fine pearlite in A588 steel (12 and 20 mm) on the top of the welded joint because this zone is exposure to the environment during the solidification process after the welding. Therefore the welding process specifications were verified according AWS D1.5 standard and is applicable to both steels mentioned.

**Keywords** - *Metallographic analysis, Variation of mechanical properties, ASTM A36 and A588 steel behavior in a weld.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los aceros ASTM A588 y A36 son ampliamente utilizados en la industria ecuatoriana para la elaboración de estructuras metálicas, puentes y demás elementos de tipo estructural. En general las uniones para estos materiales son sueldas, por lo cual es necesario garantizar propiedades mecánicas adecuadas que hagan que el elemento soldado cumpla las exigencias del trabajo al cual va a ser sometido.

Existen estudios previos sobre la influencia de la fatiga en la estructura metalográfica en puentes antiguos [1], así como estudios del comportamiento de las uniones soldadas a lo largo del tiempo y su desgaste [2], pero específicamente no se ha estudiado el comportamiento de las propiedades del acero ASTM A588 y A36 en juntas soldadas, tomando en cuenta algunos espesores y un mismo procedimiento de soldadura que abarque ambos materiales. Dado que estos aceros son altamente utilizados en la industria ecuatoriana, es importante conocer si utilizando un mismo procedimiento de soldadura en varios espesores, se afecta de manera significativa y adversa las propiedades mecánicas de los materiales así como su micro-estructura.

La presente investigación trata de encontrar estos cambios significativos con lo cual de encontrarse alguno se realizarían recomendaciones para mejorar procedimientos. Y de no encontrarse con variaciones, se podría utilizar un solo procedimiento de soldadura para varios espesores y

materiales, lo cual mejoraría la productividad de una empresa que se dedique a la actividad de soldadura.

## II. PARÁMETROS DE SELECCIÓN Y EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA

### A. Parámetros de Selección para el WPS.

Se toma en consideración ciertos parámetros, antes de la selección de un WPS ya definido, estos parámetros están en concordancia con la norma AWS D1.5 [3], se muestran a continuación:

TABLA I: PARÁMETROS DE DECISIÓN PARA WPS

PARÁMETRO	TIPO
Espesores	12, 20, 24, 30 mm
Proceso	FCAW
Penetración en junta	Completa
Tipo de junta	V simple

Se decidió tomar en cuenta estos espesores ya que son los más comúnmente utilizados en la industria.

El proceso de soldadura se escogió al FCAW, ya que es uno de los más utilizados en la industria para la unión de elementos estructurales, debido a que tiene una tasa de deposición de material alta.

El tipo de junta en V se seleccionó por ser el tipo más utilizado en aplicaciones industriales dada su facilidad de preparación y el tipo de penetración completa para visualizar mejor la ZAC.

### B. Parámetros del WPS

Se seleccionó un WPS cuyos parámetros más importantes, así como el tipo de junta, se describen a continuación:

TABLA II: PARÁMETROS DE WPS

Parámetro	Cantidad
Amperaje	215 - 235 A
Voltaje	24 - 25 V
Velocidad de Avance	17 - 20 cm/min
Electrodo	E81T1Ni1
Pre calentamiento	Mínimo 20 °C - Máximo 230 °C
Calor Aportado	17 - 19 KJ/cm por cordón
Gas de Protección	CO2 10 - 15 ltrs/ min
Limpieza entre pases	Mecánica con grata

Forma y dimensiones de la junta:

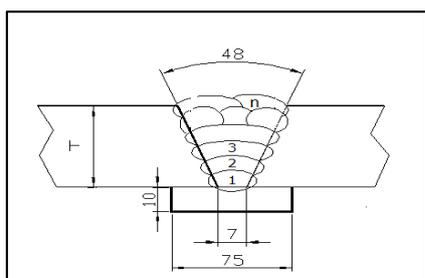


Figura 1. Junta establecida para cupones de soldadura

### C. Control de Calor Aportado

La calibración de la maquina así como el tiempo en el que ejecuta el soldador un cordón son dos de los aspectos claves para poder realizar un buen control del calor aportado en la junta. Ya que no es posible controlar directamente la velocidad del soldador, es necesario conocer el tiempo en el cual debe ejecutar el pase, para así tener la cantidad de calor aportado requerida.

Para obtener el calor aportado en la junta, se vale en la siguiente fórmula:

$$\text{Entrada de Calor} \left[ \frac{J}{mm} \right] = \frac{\text{Voltaje} \cdot \text{Amperaje} \cdot 60}{\text{Velocidad de Avance} \left[ \frac{mm}{min} \right]} \quad (1)$$

Mientras que para calcular el tiempo de ejecución de un cordón se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo} [min] = \frac{\text{Longitud de la junta} (mm)}{\text{Velocidad de Avance} \left( \frac{mm}{min} \right)} \quad (2)$$

En el proyecto se obtuvieron rangos de valores de amperaje, velocidades y tiempos de ejecución, indicados en la tabla III.

TABLA III: RANGO DE VALORES OBTENIDOS EN LA EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA

Cupón	Amperaje (A)	Velocidad de avance (cm/min)	Tiempo de ejecución (min'seg")
ASTM A36 12 mm	215	16,96	2'22"
	220	17,26	2'19"
ASTM A36 24 mm	215	18,46	2'10"
	220	18,04	2'13"
ASTM A588 12 mm	215	17,22	2'19"
	220	17,14	2'19"
ASTM A588 20 mm	215	16,55	2'25"
	220	17,05	2'21"
ASTM A588 30 mm	215	17,26	2'19"
	220	18,6	2'09"

### D. Preparación de probetas.

En la preparación de probetas no se debe aumentar más calor al cupón para que no se alteren las propiedades mecánicas y estructuras metalográficas en los especímenes.

Para lograr esto se realizó el corte de probetas en frío utilizando corte por chorro de agua automático. De esta manera se puede garantizar que las probetas no han sido aportadas con más calor.

## III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para determinar las propiedades mecánicas de la soldadura se realizaron ensayos destructivos, tales como: resistencia a la tracción, ensayo de impacto con muesca en V, dureza, doblado lateral y además metalografías para observar la micro estructura del material base y del material de aporte.

### A. Ensayo de tracción

Según la norma AWS D1.5 en el numeral 5.19.1 se especifica que la resistencia a la tracción no deberá ser inferior

al mínimo de la resistencia especificada en el metal base. Dicho esto se toma el valor de resistencia a la tracción que está establecido en la norma ASTM A6/ A6M [4], en la cual indica que para acero ASTM A36 la resistencia mínima es 58 ksi, mientras que para el acero ASTM A588 es de 70 ksi.



Figura 2. Probetas ensayadas a tracción acero ASTM A36



Figura 3. Probetas ensayadas a tracción acero ASTM A588

A continuación se muestran los resultados obtenidos de cada probeta ensayada.

Tabla IV: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Tipo de Material	Espesor (mm)	Designación	Resistencia a la tracción (ksi)	Observaciones
ASTM A36	12	T1	60,06	Rotura en el material base
	12	T2	60,82	Rotura en el material base
	24	T1	77,5	Rotura en el material base
	24	T2	74,4	Rotura en el material base
ASTM A588	12	T1	72,08	Rotura en el material base
	12	T2	73,71	Rotura en el material base
	20	T1	80	Rotura en el material base
	20	T2	83,7	Rotura en el material base
	30	T1	84,9	Rotura en el material base
	30	T2	85,5	Rotura en el material base

Como se puede observar, el ensayo de tracción cumple con los requerimientos según la norma para todos los espesores seleccionados en cada material.

En la siguiente figura se muestra la variación de la resistencia a la tracción en función del espesor en cada material.

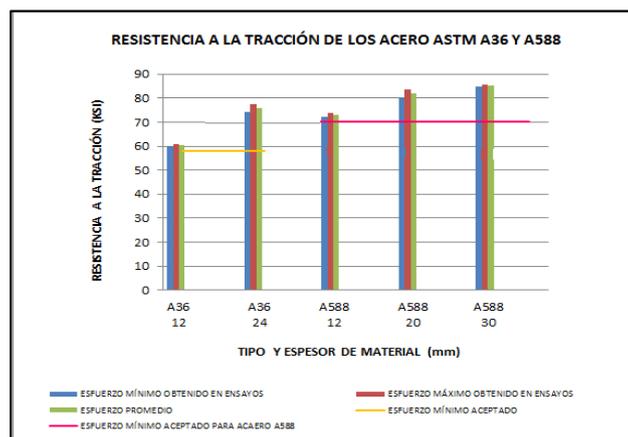
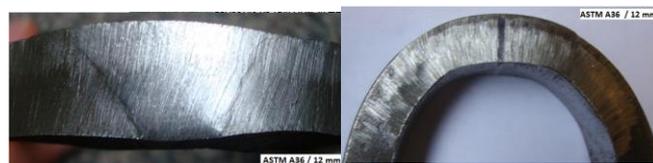


Figura 4. Espesor de material vs Resistencia a la tracción para los acero ASTM A36 y A588

Se puede observar que para ambos materiales la resistencia, oscila valores que sobrepasan a la especificación de resistencia de cada material.

### B. Ensayo de doblado

Este ensayo se utiliza para determinar la ductilidad de la soldadura además permite visualizar la calidad de la misma.



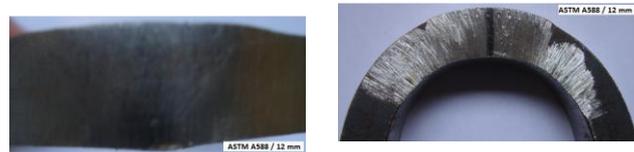
a.1)

a.2)



b.1)

b.2)



c.1)

c.2)

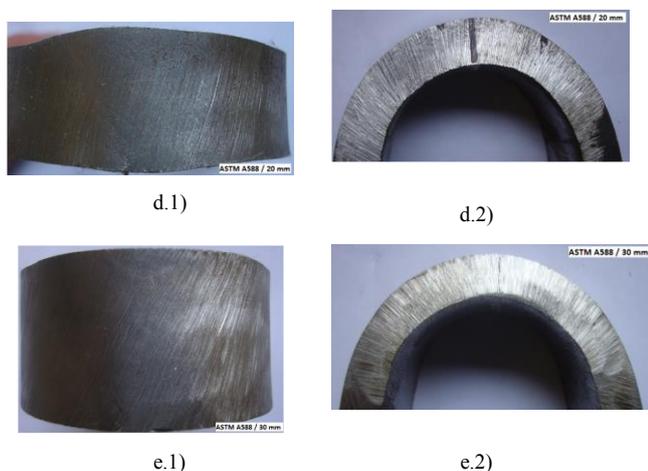


Figura 5. Fotografías transversales y laterales del ensayo de doblado para aceros ASTM A36 Y A588

Se puede observar que en las figuras a y b, el radio de curvatura para el acero ASTM A36 de 12 y 24 mm, no es uniforme y tiene una tendencia a presentar pequeñas aristas en su radio, debido a esto se observa que la probeta no tiene una deformación uniforme, por lo cual la ductilidad del material base difiere del material de aporte, esto dado sus diferentes valores de resistencia a la tracción (58 ksi, A36 y 80 ksi, Mat. Aporte) Dado que el material A36 presenta deformaciones similares para sus dos espesores, se podría decir ambos espesores tienen ductilidades similares entre sí.

Mientras que el acero ASTM A588 en sus tres espesores analizados, presenta un radio de curvatura uniforme y adicionalmente un tanto menor que el radio de curvatura que presenta el acero ASTM A36.

Adicionalmente se realizó el análisis de la fractura en el ensayo de tracción con respecto a la reducción de áreas, los valores obtenidos son los siguientes:

Tabla V: REDUCCIÓN DE ÁREA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN

Tipo de Material	Espesor (mm)	Designación	Área Inicial (mm <sup>2</sup> )	Área Final (mm <sup>2</sup> )	Reducción de área (%)
ASTM A36	12	T1	310,59	151,68	51,16
	12	T2	306,71	154,71	49,56
	24	T1	565,01	235,188	58,37
	24	T2	563,58	221,728	60,66
ASTM A588	12	T1	307,98	138,9648	54,88
	12	T2	307,44	142,5228	53,64
	20	T1	494,61	230,508	53,40
	20	T2	476,95	234,9	50,75
	30	T1	723,82	328,944	54,55
	30	T2	731,5372	334,4988	54,27

Como se puede observar la reducción de área se presenta para el caso del acero A588 de manera uniforme con valores que oscilan el 50 – 54% mientras que el acero A36 tiene un ligero incremento en su reducción de área para el caso de 24 mm del 58 - 60% con lo que se podría decir que el acero A36 es un tanto más dúctil que el acero A588.

### C. Ensayo de Impacto

El ensayo de impacto es útil para determinar la cantidad de energía que un material puede absorber antes de producirse una fractura. Este ensayo se basa en la Norma ASTM E23 [5]. Para este caso, la extracción de cada probeta se tomó en consideración que la muesca se encuentre en el límite de fusión de la junta, además para la ejecución de este ensayo se llevó a las probetas a una temperatura de -30°C según lo exige la norma AWS D1.5 para este tipo de soldadura.

En la tabla VI se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de impacto.

TABLA VI. RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE IMPACTO

Tipo de Material	Espesor (mm)	Valor Mínimo (J)	Valor Máximo (J)	Promedio (J)	Mínimo Aceptable (J)
ASTM A36	12 mm	39,2	48,1	42,2	27
	24 mm	37,3	41,2	39,6	27
ASTM A588	12 mm	35,3	55,9	46,1	27
	20 mm	32,4	56,9	41,2	27
	30 mm	45,1	68,7	55,6	27

Las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos del ensayo de impacto para cada material y espesor

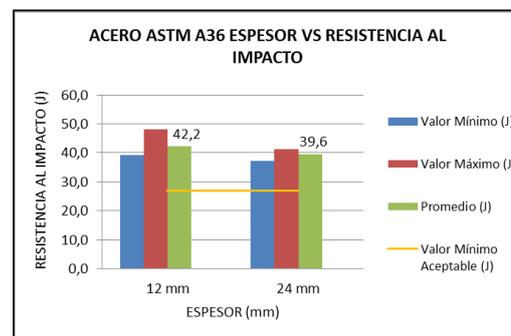


Figura 6. Espesor del material vs resistencia al impacto para acero ASTM A36

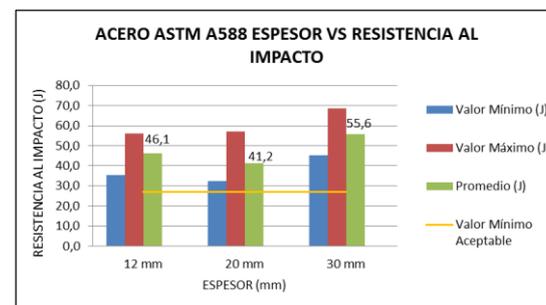


Figura 7. Espesor del material vs resistencia al impacto para acero ASTM A588

Como se puede apreciar en la figura 6 para el acero ASTM A36, no existe una variación significativa de la resistencia al impacto de un espesor a otro, los valores rondan un promedio de 40.9 J, mientras que para el acero ASTM 588 se tiene un promedio de 47.6 J, se observa que los valores máximos y mínimos para este acero difieren ampliamente de

un espesor a otro, dado esto se puede decir que este acero tiene un comportamiento más sensible frente a una discontinuidad o variación en la geometría del espécimen para ensayo. De manera general las juntas realizadas con acero ASTM A36 tuvieron una menor resistencia al impacto que las juntas de acero ASTM A588. Adicionalmente no se puede relacionar directamente la resistencia al impacto en función del espesor, pues no se presentó una relación directa para cada material, estudios similares han demostrado que la resistencia al impacto aumenta, conforme se aumenta la cantidad de calor aportado [6], lo cual podría explicar el por presencia de microestructuras negativas para la soldadura, como por ejemplo martensita.

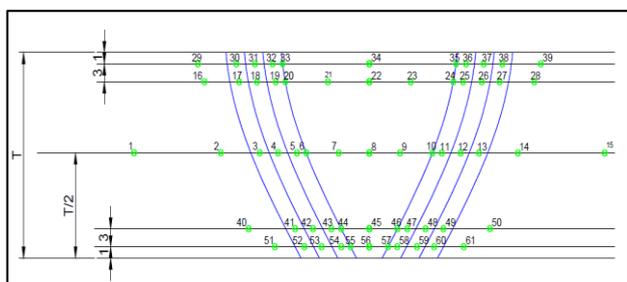


Figura 8. UBICACIÓN DE LAS INDENTACIONES REALIZADAS EN EL ENSAYO DE DUREZA

La distribución de indentaciones tienen relación con las zonas que se forman en la ZAC, como muestra la figura 9.

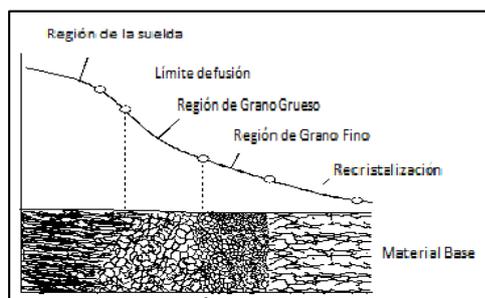


Figura 9. FORMACIÓN DE ZONAS EN UNA JUNTA SOLDADA [7]

De esta manera los resultados que se obtuvieron se muestran a continuación.

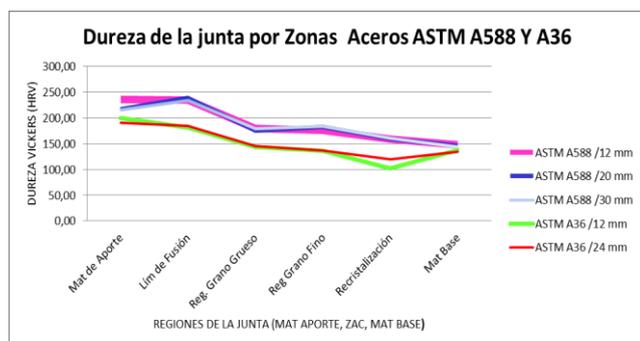


Figura 10. DUREZA DE LA JUNTA POR ZONAS

qué no existen cambios significativos en la resistencia a diferentes espesores, ya que el calor aportado es el mismo, indistintamente del espesor seleccionado.

#### D. Ensayos de Dureza

Para realizar los ensayos de dureza se utilizó la distribución indicada en la figura 8, siendo las zonas críticas, el borde superior de la soldadura ya que este está en contacto directo con el medio ambiente y por este motivo se pierde calor más rápido, pudiendo provocar la

En la figura 10 se puede observar que para los dos aceros, los valores de dureza más altos se encuentran en el material de aporte y el límite de fusión, dado a su criticidad. Adicionalmente existe una tendencia decreciente de dureza para los dos aceros conforme las mediciones se van alejando de la ZAC, hasta terminar en el material base. El acero A36 para los dos espesores presenta una caída en la dureza, en la zona de recristalización, debido al cambio abrupto en el tamaño de grano que en esta zona existe.

#### E. Metalografías

Las metalografías son de utilidad para verificar las transformaciones metalográficas en la ZAC y descartar la formación de micro-estructuras adversas para la soldadura, como lo es la martensita.

En las metalografías [8] se muestra las estructuras encontradas en la junta, es necesario informar que las estructuras son bastante similares entre sí. Esto debido a la naturaleza de los dos aceros analizados, además se aportó la misma cantidad de calor para soldar todos los espesores, por ello se presentará un solo grupo de metalografías para cada tipo de acero y posteriormente se mostrarán los hallazgos encontrados para cada espesor.

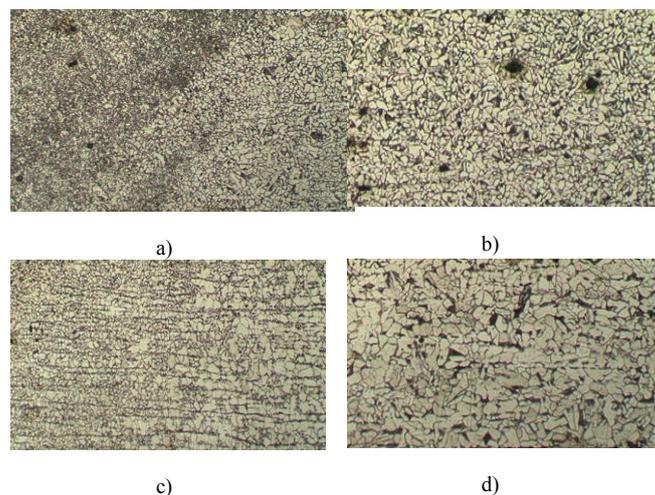


Figura 11. METALOGRAFÍAS DEL ACERO A36. a) ZONA DE LÍMITE DE FUSIÓN (MATERIAL DE APORTE Y MATERIAL BASE). b) ZONA DE GRANO GRUESO. c) TRANSICIÓN DEL MATERIAL BASE A GRANO FINO. d) MATERIAL BASE

Como se puede apreciar, la estructura de las diferentes zonas de la ZAC, presenta una matriz común Perlítica – Ferrítica con distintas formas de perlita (fina y gruesa). Dentro de las observaciones se encontraron algunos hallazgos particulares para cada espesor en el acero A36, estas se muestran a continuación:

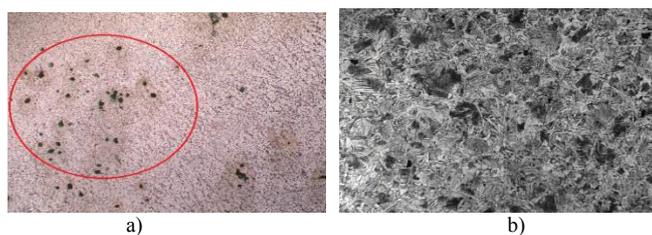


Figura 12. HALLAZGOS EN ACERO ASTM A36. a.) INCLUSIONES DE SIO<sub>2</sub> EN PROBETAS DE ACERO A36/ 12mm y 24 mm b.) BAINITA HALLADA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA JUNTA, EN EL LIMITE DE FUSION A36/12 mm.

Como se puede apreciar en la figura 12. a, existe una especie de grupos de puntos negros, para descartar la presencia de carburos de hierro, se midió la micro-dureza en esta zona y se determinó que tanto en el acero A36 de 12 mm y 24 mm, estas islas presentaron una dureza de 18 HRC, con lo cual se descarta la posibilidad de que sean carburos, ya que estos usualmente presentan una dureza superior a 68 HRC [9]. De acuerdo a esto se comparó estas estructuras con otras similares [10] y se encontró que se asemejan a óxidos de Silicio, esto debido a una alta concentración en el material de aporte de Silicio (0.55%) [11]

En la figura 12. b, se puede apreciar bainita, de tipo superior la cual es característica por formar una especie de agujas en su estructura, haciéndola parecer martensita, para descartar que sea este tipo de estructura se midió de igual manera la micro- dureza, dando un resultado promedio de 17.5 HRC, con lo cual se descarta que sea martensita ya que esta presenta una dureza de 50 a 68 HRC. [12]

A continuación se presentan las estructuras y hallazgos correspondientes al acero ASTM A588

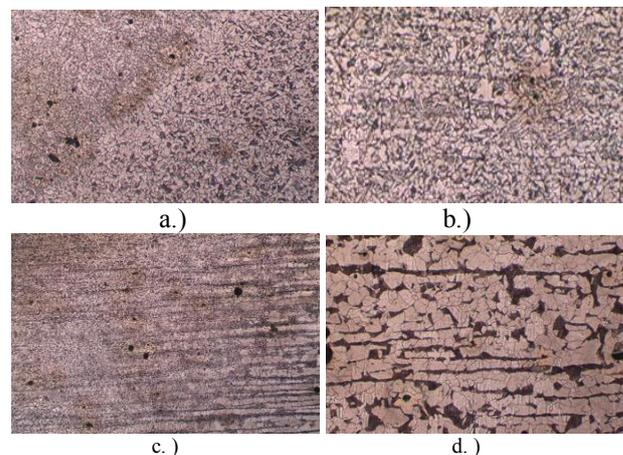


Figura 13. . METALOGRAFÍAS DEL ACERO A588. a) ZONA DE LÍMITE DE FUSIÓN (MATERIAL DE APORTE Y MATERIAL BASE). b) ZONA DE GRANO GRUESO. c) TRANSICIÓN DEL MATERIAL BASE A GRANO FINO. d) MATERIAL BASE

A continuación se muestran los hallazgos en el acero ASTM A588

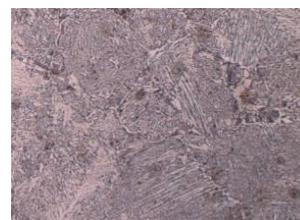


Figura 14.HALLAZGOS EN ACERO ASTM A588. PERLITA EN PARTE SUPERIOR DEL MATERIAL DE APORTE EN LA JUNTA A588 / 12 y 20 mm.

En el acero ASTM A588 en los espesores de 12 y 20 mm se encontró perlita fina en el material de aporte y el límite de fusión con el material base, en la parte superior y en la parte inferior correspondiente a la raíz de la junta, se descarta que sea martensita ya que en las mediciones de dureza esta micro – estructura no superó los 18.5 HRC.

Adicionalmente cabe notar que en este acero la estructura desde su material base hasta empezar la recristalización y la zona de grano fino tiene una marcada disposición laminar en bandas de perlita y ferrita (Fig. 16 c y d), la cual es una marcada diferencia micro-estructural en relación al acero ASTM A36.

#### IV. ANÁLISIS FINAL Y CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo se ha hablado sobre los aceros ASTM A36 y A588, aplicando un mismo procedimiento de soldadura a distintos espesores de todo esto se concluyó:

1. Se determinó que no existe una variación considerable ni negativa de las propiedades mecánicas y estructura metalográfica que pueda afectar al desempeño de una junta soldada con un mismo procedimiento de soldadura en dos aceros, (ASTM A36 y A588) de diferentes espesores, con lo

cual se garantiza la efectividad de la utilización de un solo procedimiento que abarque varios materiales y espesores y de esta manera mejorar la productividad de una empresa dedicada a la actividad de soldadura.

2. Los valores obtenidos en los diferentes ensayos para cada uno de los materiales y espesores utilizados, están dentro de los valores que exigen las normativas utilizadas para el correcto desempeño de la soldadura realizada.

3. El acero ASTM A36 posee una mayor ductilidad que el acero ASTM A588, en contraposición a la resistencia al impacto, en la cual el acero A588 presenta una resistencia más alta (47.6 J) en relación al acero ASTM A36 (40.9 J), con una aportación de calor de 17 KJ/ cm en los dos aceros.

4. La dureza en una junta soldada presenta su punto más alto entre el material de aporte y el límite de fusión de la junta, pero difiere en su valor para cada material, para el caso del acero ASTM A588 la dureza en esta zona fue mayor (238.5 HRV) que en el acero ASTM A36 (184.7 HRV).

5. En una junta soldada existe una mayor probabilidad de formación de microestructuras adversas en la parte superior del cordón de soldadura, entre el material de aporte y el límite de fusión dado que es una zona crítica por la unión de dos materiales diferentes y además el contacto con el medio ambiente hace que se pierda calor de manera más rápida, se descartó la existencia de martensita en todas las juntas soldadas, pero se encontró bainita en el acero ASTM A36 (12 mm) y perlita fina en el acero ASTM A588 (12, 20 mm), con lo cual la junta soldada no mantiene una estructura homogénea en cada zona de la ZAC, aunque esto no afecte de manera adversa al comportamiento mecánico de la junta soldada.

#### V. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para futuras investigaciones utilizar un mayor número de espesores para el análisis de cada material, de esta manera se puede obtener más datos que ayuden a establecer de mejor manera el comportamiento de los materiales en los diferentes ensayos mecánicos realizados.

2. Se recomienda realizar los diferentes ensayos y pruebas en un mismo laboratorio y con las mismas máquinas, ya que de esta forma se tendrá la certeza de que cada espécimen fue ensayado bajo las mismas condiciones y los datos obtenidos se pueden relacionar entre sí más fácilmente. Ya que existe variabilidad de una máquina de ensayos a otra.

3. En investigaciones de este tipo se sugiere que se realicen los mismos ensayos mecánicos que se hacen en una junta soldada al mismo material pero sin soldar. De esta manera se puede tener una idea más clara de cómo es el comportamiento del material base frente a las mismas pruebas mecánicas y así lograr una comparación más real de la variación de las propiedades.

#### REFERENCIAS

- [1] Varona, José; Gutiérrez Solana, Federico; González, Javier; "Comportamiento en Fatiga de Puentes Metálicos Antiguos de Ferrocarril", 1992.
- [2] Zalazar, Mónica; Ramini, Mabel; Surian, Estela; Bruna, Roberto; Baralla, Esteban; "Efecto del procedimiento de soldadura sobre las propiedades de uniones soldadas de aceros microaleados para cañería"; Sao Paulo, 2009.
- [3] American Welding Society /D1.5 "Bridge Welding Code" 5<sup>th</sup> Edition 2002.
- [4] American Society for Testing Materials, "Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling/ A6 /6M.
- [5] American Society for Testing Materials, "Standar Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials/ E23.
- [6] Juan Morales "Diseño de un procedimiento de soldadura para el AISI 4130 sin Post-calentamiento bajo normas API 6A y ASME Sección IX", Ecuador, 2013.
- [7] Amanda Sepúlveda Bello, "La soldadura de arco", Universidad Nacional de Colombia
- [8] Estefanía Tobar Castro, "Estudio de las transformaciones metalográficas y propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor (ZAC), después del proceso de soldadura en los aceros ASTM A588 y A36", Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador, 2015.
- [9] "Soldadura Industrial: clases y aplicaciones" Solá, Pere Molera, pág 74, PRODUCTICA, Barcelona, España.
- [10] Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, Repositorio Digital, "Estructuras del Acero"/Cátedras "Metalografías y Tratamientos Térmicos", Mecánica 5, Metalografía, Pág 10.
- [11] Soldexa /Ficha Técnica Material de Aporte FCAW E81T1-Ni1, 2007, Perú.
- [12] Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, Repositorio Digital, "Estructuras del Acero"/ Capítulo 4: Bainita.