



## ANALYSIS OF STEEL LAMINATED BEFORE AND AFTER SOLDIER, THROUGH METALLOGRAPHY AND MACRO ATTACK TESTS

## ANALISIS DE ACERO LAMINADO ANTES Y DESPUÉS DE SOLDADO, MEDIANTE PRUEBAS DE METALOGRAFÍA Y MACROATAQUE.

Higuera, F.L.<sup>1</sup> Acosta, L.F.<sup>2</sup> Salamanca, J.R.<sup>3</sup> Acero, M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>MSc (C) Fabián Leonardo Higuera Sánchez

<sup>2</sup> MSc (C) Luis Fernando Acosta Joya

<sup>3</sup>MSc. Juan Rodrigo Salamanca Sarmiento

<sup>4</sup> Mateo Acero Becerra (E)

**Universidad Santo Tomás**

Ingeniería Mecánica, GIDINT.

Cll. 19 N° 11 - 64 Tunja – Boyacá, Colombia. 57 (8) 7440404.

fabian.higuera@usantoto.edu.co, [luis.acosta@usantoto.edu.co](mailto:luis.acosta@usantoto.edu.co),

[juan.salamanca@usantoto.edu.co](mailto:juan.salamanca@usantoto.edu.co), [mateo.becerra@usantoto.edu.co](mailto:mateo.becerra@usantoto.edu.co)

**ABSTRACT:** The present work studies the commercial steel classified as Low Carbon Steel, which is in the market in different profiles and sizes, through the use of two tests: Metallography (in axial direction and transverse direction) and Macro-attack.. The information regarding mechanical properties can be found in the producer's catalogs, however the properties evaluated correspond to magnitudes or directions of the material, for this reason the present work evaluates the metallographic conformation of two laminated products (sheet and square profile), in two directions (length and width), before and after applying the welding. In the same way, a macro-attack was made on samples of the profiles before and after the welding application, to determine the variations in the structure of the materials. The handling of the samples was done in test groups for each trial. The result of these tests, presents some variations with respect to previous documents (books and articles), which are better explained by contrasting these two techniques of evaluation of steels.

**KEYWORDS:** Steel, Laminate, Metallography, Macro-attack.

**Resumen.** Este trabajo estudia el acero AISI-SAE 1020, que se encuentra en el mercado en diversos perfiles y tamaños, mediante el empleo de dos ensayos:





Metalografía (en dirección axial y transversal) y Macro ataque.

La información referente a propiedades mecánicas se encuentra en catálogos del productor, sin embargo las propiedades evaluadas corresponden a evaluación de la conformación metalográfica de dos productos laminados (Lamina y perfil cuadrado), en dos direcciones (largo y ancho), antes y después de la soldadura. Paralelo se realizó un macro ataque a las muestras antes y después de la soldadura, para determinar las variaciones en la estructura del material. El manejo de las muestras se hizo en grupos por cada ensayo. El resultado de estos ensayos, presenta variaciones con respecto a documentos previos (libros y artículos), que se explican mejor al contrastar estas dos técnicas de evaluación de los aceros.

**PALABRAS CLAVE:** Acero, Laminado, Metalografía, Macro ataque.

## 1. INTRODUCCIÓN

La soldadura es un proceso ampliamente utilizado en la fabricación de diferentes tipos de estructuras, por esta razón es importante predecir sus efectos sobre el material de las juntas y su influencia en la estructura y las tensiones que se puedan generar por el proceso mismo, diversos esfuerzos se han realizado en esta dirección, como el diseño de una red neuronal artificial (RNA) para estimar el esfuerzo de fluencia en función de la composición química y dureza de aceros micro aleados de alta resistencia (López, E, et al., 2014).

De igual forma se deben estudiar los aspectos físicos, químicos y de granulometría, como el análisis micro estructural de tres diferentes aceros de alta resistencia respecto a la susceptibilidad al agrietamiento asistido por hidrogeno (HAC) y determina que la técnica es una opción viable de bajo costo para examinar la microestructura en aceros de alta resistencia (Kumar et al., 2017).

También se hace necesario el estudio del material de aporte y sus propiedades mecánicas, como el estudio que analiza el comportamiento del depósito de diferentes electrodos: E- 7018, E- 312-16 y UPT 65, empleados en la soldadura del acero AISI 4340 (Acero tipo cromo- níquel- molibdeno). Determinando las propiedades mecánicas

de cada uno por medio de un ensayo destructivo (Ruiz, A, 2016). Estos aspectos se conjugan para evaluar diversas situaciones antes y/o después del proceso de soldadura, por esta razón son necesarios análisis como el estudio de una tira de acero en fase dual producida por fundición, y sometida a laminación en frío y recocida durante 3min, para evaluar las regiones de ferrita, martensita y no recristalización (Hesong et al., 2017) determinan que el tratamiento reduce la resistencia a la tracción y aumenta la elongación comparado con el acero no templado.

Diversos estudios buscan facilitar el proceso de soldadura disminuyendo las afectaciones del calor en la estructura del material, de esta forma Mohsenzadeh y Mazinani en 2017 desarrollan un modelo micromecánico para analizar y predecir el isotropo y contribuciones cinemáticas para el endurecimiento en el trabajo de aceros de bajo carbono en función con la microestructura incluida el radio de las partículas y la fracción de volumen.

Así como Qiao y colaboradores en 2017 quienes unieron Niti con acero inoxidable por medio de la soldadura por resistencia para aplicaciones en biomédica, analizando la reducción del área de microestructuras conjuntas y sus respectivas propiedades





mecánicas, de la misma manera se han desarrollado ayudas computacionales y simulaciones para estudiar la propagación de grietas por fatiga en la zona afectada por el calor de las juntas de soldadura (López et al., 2016).

Para la elaboración de juntas soldadas se hace necesaria una hoja de ruta para evidenciar los criterios de diseño necesarios en la elaboración de un procedimiento de soldadura WPS, en una junta soldada como la desarrollada en una conexión de 16" de diámetro para dos tanques de almacenamiento de crudo de 50 mil barriles (Rosero, R, 2017). Estos procedimientos documentan los procesos especiales como los que describen la unión de placas laminadas dúplex 2205 de acero inoxidable por soldadura GTAW y SMAW que analizan la corrosión, resistencia en los puntos afectados por el calor, las propiedades mecánicas y la morfología de la superficie de fractura en las uniones soldadas y verifican que por soldadura GTAW la resistencia a la corrosión es más efectiva debido a la presencia de austenita secundaria (Makndoom et al., 2017).

El trabajo de la soldadura involucra principalmente la influencia del calor en todos los componentes de una unión, siempre previendo las afecciones que se generen por el proceso mismo, como se evidencia en el análisis de la fracción de martensita formada a una temperatura dada por debajo de la temperatura de inicio de la martensita donde se demostró que los aceros con tratamiento térmico y partición muestran un equilibrio entre fuerza y ductilidad ( Huygue et al., 2017). También la inclusión de materiales adicionales al acero, han investigado la influencia de Inconel 182 en las propiedades mecánicas de soldaduras metálicas diferentes entre acero al carbono liso y barras de acero inoxidable utilizando SMAW por medio de análisis microestructurales y pruebas de microdureza (Ramírez, et al., 2016). Igualmente, Soria y colaboradores en 2015

investigan el efecto de los ciclos de tratamiento térmicos sobre la microestructura y propiedades mecánicas de un acero soldado mediante un análisis estadístico de varianza.

De la misma forma se estudian los tratamientos previos y posteriores a la soldadura en las propiedades mecánicas de un acero galvanizado soldado, las tensiones térmicas inducidas por el galvanizado en caliente y la superficie de fractura de las grietas, (DiGiovanni et al., 2017) . Por esta razón y por qué la soldadura es un trabajo conexas con todas las operaciones de producción, se trabaja permanentemente en el desarrollo de nuevas técnicas, menos invasivas para el material y con menores tiempos de preparación y aplicación, todo lo anterior no solo con aceros especiales, también con los materiales de uso continuo, por esta razón se desarrollan estudios constantemente sobre estos temas, como el que busca entender el comportamiento microestructural del acero AISI 1025 al ser soldados con dos tipos de electrodos (6010 Y 7018) observando las microestructuras obtenidas con cada electrodo, así como la dureza de cada caso (Reyes et al., 2018). Y por último un estudio que valida el presente trabajo y se refiere al estudio de la microestructura y sus posibles cambios con el calor generado por el proceso de soldadura.

Para la investigación se hizo probetas y así llevarlas al análisis metalográfico de tensión e impacto, las cuales se adquirieron del cordón de soldadura como del metal base 1045 y de la zona afectada por el calor y sugieren que el acero tiende a comportarse de forma frágil, por lo cual al momento de soldadura debe tomarse precauciones para evitar una microestructura frágil en la zona del calor (Terán et al., 2017).

El presente trabajo estudia las microestructuras de dos perfiles de acero AISI-SAE 1020, antes y después de la





soldadura y corrobora los hallazgos mediante el uso de Macro Ataque y medida de dureza Brinell.

## 2. MATERIALES

### 2.1 Acero AISI-SAE 1020.

El AISI-SAE 1020, Corresponde a un acero al carbono con contenido de C de 0,2%, con este se fabrican diferentes perfiles y láminas, que se emplean principalmente en la industria de las estructuras.

La designación de este acero según la Sociedad Americana para Pruebas de Materiales corresponde a: ASTM A36, variando las características de acuerdo al grupo y grado que se designe.

**Tabla 1:** Composición química AISI.SAE 1020.

Acer o	%C	%Mn	%P ma x	%S max	%Si max
1020	0,18 - 0,23	0,3 - 0,5	0,0 4	0,05	0,15 -0,3

Fuente: Catálogo Diaco.

#### 2.1.1. Lamina CR 6mm.

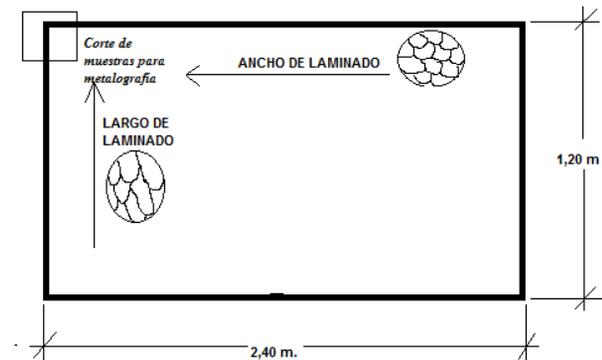
La lámina de acero 1020 que se encuentra comercialmente, tiene varias dimensiones como son: 1X2 m., 1,2X2,4 m. y 1X6 m., entre las más comunes. Para el estudio se trabajó con muestras de una lámina de medidas 1,2 mX 2,4 m. con un espesor de 6 mm. Posteriormente se analizó la orientación de laminación de la lámina, con el fin de identificar la deformación de la granulometría y en qué direcciones.

Como resultado se determinó que el lado de 2,4 m, es el ancho del proceso de laminación y el lado de 1,2 m., es el lado longitudinal de la laminación, lo anterior teniendo en cuenta que la producción de

este material se da en trenes que producen material de ancho 2,4 m. y se corta a longitud de 1,2 m.

El análisis direccional corresponde a las orientaciones que se van a revisar mediante metalografía.

**Figura 1:** Análisis de laminación.



Fuente: Autores

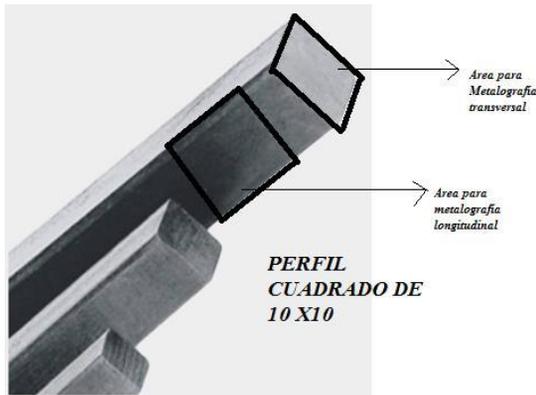
#### 2.1.2. Perfil cuadrado de 10 mm.

Este perfil se presenta como barras de sección transversal cuadrada y puede venir en diversas medidas, que se designan por la dimensión lateral así: Cuadrado de ½", 10 mm., 9 mm., 6 mm., etc.

Este perfil tiene bajo contenido de carbono, lo que facilita la ductilidad y soldabilidad. La norma de fabricación para Colombia es la NTC 422; SAE 1015, y se presenta en varillas de 6 metros.

Para este perfil, también se hizo corte de muestras de 3 centímetros para metalografía del área transversal, y 4 centímetros para la metalografía de la sección longitudinal.

**Imagen 1.** Análisis de laminación.



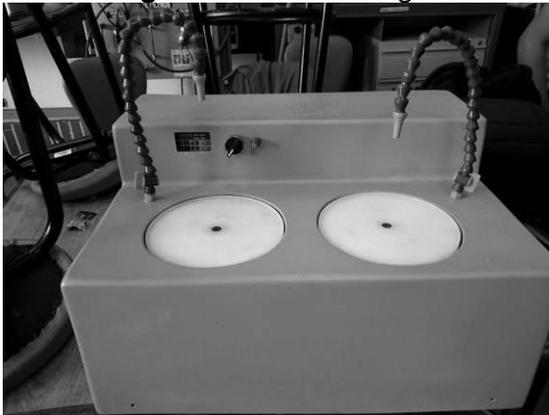
Fuente: Catálogo Diaco 2018

## 2.2. Equipos

### 2.2.1. Mesa metalográfica.

La máquina empleada en las etapas de desbaste grueso, medio y fino, pulido con paños, es un equipo con dos platos, con control de velocidades y dosificador de agua. Las características descritas, hacen del pulido metalográfico un ensayo bastante rápido y efectivo.

Imagen 2. Mesa metalográfica.



Fuente: Autores.

### 2.2.2. Microscopio metalográfico.

El aparato óptico empleado en este trabajo es un Microscopio Binocular con cuatro objetivos (100X, 200X, 300X, y 400X aceite), este equipo funciona con la reflexión de la luz emitida por una fuente propia.

## 2.3 Reactivos.

Los reactivos empleados en este estudio, son específicos en calidad y proporción. Estos se emplearon en el ensayo Metalográfico el Nital al 5% y en el Macro Ataque el ácido clorhídrico

### 2.3.1. Nital al 5%.

El Nital al 5%, es una solución de ácido Nítrico y agua destilada, en proporciones 5% de ácido y 95% de agua, se emplea en el ataque a las muestras metalográficas de aceros.

### 2.3.2. Ácido Clorhídrico.

El Clorhídrico es uno de los ácidos más activos, tanto que en sus presentaciones o diluciones se observa siempre emitiendo vapores. En este trabajo se empleó ácido clorhídrico (30%), diluido en alcohol (70%) para realizar el Macro Ataque de las muestras soldadas y cortadas.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Diseño de muestras.

Para el desarrollo de este trabajo se quiso evaluar la conformación metalográfica en dos direcciones: ancho y largo, de dos productos de acero en los perfiles de lámina y perfil cuadrado.

Para analizar los resultados se propone contrastar la microestructura de los materiales con ensayos de metalografía, macro ataque y dureza. Lo anterior para evaluar muestras de acero de forma individual con los tres ensayos, y hacer juntas para soldar y examinarlas también, mediante los tres ensayos mencionados.

En consecuencia se prepararon:

-4 muestras de **lámina cortada en sección transversal** para metalografía y macro ataque.

-4 muestras de **lámina cortada en sección longitudinal** para metalografía y macro ataque..



-4 muestras de **perfil cuadrado 10 X 10 mm. en sección longitudinal** para metalografía y macro ataque..

-4 muestras de **perfil cuadrado 10 X 10 mm en sección transversal** para metalografía y macro ataque.

-4 muestras dobles de **lámina cortada para junta soldada a tope** para metalografía y macro ataque.

-4 muestras dobles de **perfil cuadrado 10 X 10 mm., para junta soldada a tope** para metalografía y macro ataque..

Con estas muestras, se procede a confirmar la deformación de la granulometría debida al proceso de laminado en la fabricación de los perfiles, posterior a este se hizo el macro ataque a las muestras y finalmente se realizó sobre la probeta de metalografía, pruebas de dureza en el metal.

### 3.2. Muestras para metalografía.

Las muestras que se prepararon para metalografía se distribuyeron así:

-4 muestras de lámina AISI-SAE 1020, para metalografía longitudinal. (Imagen 3).

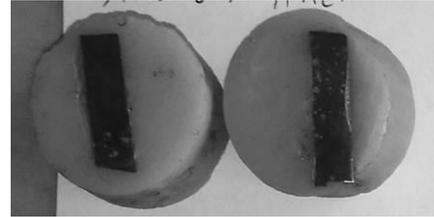
**Imagen 3.** *Probetas metalografía longitudinal*



**Fuente:** Autores

-4 muestras de lámina AISI-SAE 1020, para metalografía transversal o a lo ancho.(Imagen 4)

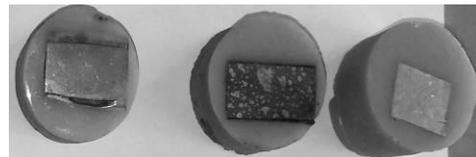
**Imagen 4:** *Probetas metalografía transversal*



**Fuente:** Autores.

-4 muestras de cuadrado de 10X10 AISI-SAE 1020, para metalografía longitudinal.(Imagen 5)

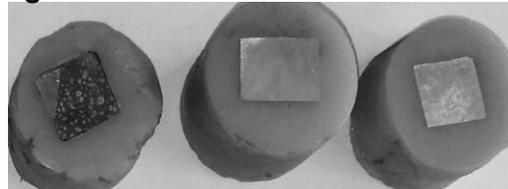
**Imagen 5:** *Probetas cuadrado 10X10-Long.*



**Fuente:** Autores.

-4 muestras de cuadrado de 10X10 AISI-SAE 1020, para metalografía transversal o a lo ancho.(Imagen 6).

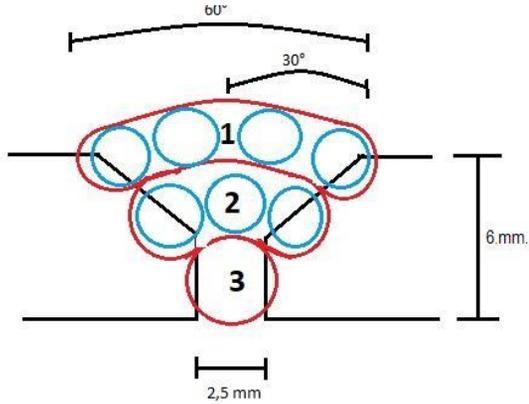
**Imagen 6.** *Probeta Cuadrado 10X10-Ancho.*



**Fuente:** Autores.

-2 muestras de junta a tope soldada de lámina AISI-SAE 1020.(Figura 2).

**Figura 2:** *Diseño de la junta a soldar en lámina.*

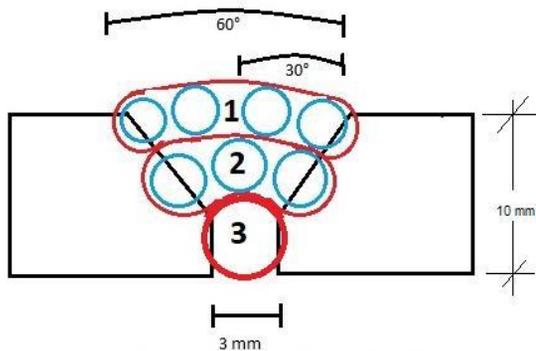


1. Cordón de soldadura con electrodo 6013 de 5/32"
2. Cordón de soldadura con electrodo 6013 de 1/8"
3. Cordón de soldadura con electrodo 6013 de 5/32"

Fuente: Autores.

-2 muestras de junta a tope soldada de cuadrado 10X10 AISI-SAE 1020.(Figura 3)

**Figura 3:** Diseño de la junta a soldar en cuadrado 10X10



1. Cordón de soldadura con electrodo 6013 de 5/32"
2. Cordón de soldadura con electrodo 6013 de 1/8"
3. Cordón de soldadura con electrodo 6013 de 5/32"

Fuente: Autores.

### 3.3 Muestras para Macro ataque.

Para este ensayo, se tomaron muestras de los materiales, así:

- 2 muestras de lámina de 6 mm. de espesor.
- 2 muestras de cuadrado 10X10 mm.
- 2 uniones a tope soldadas de lámina de 6 mm. de espesor.

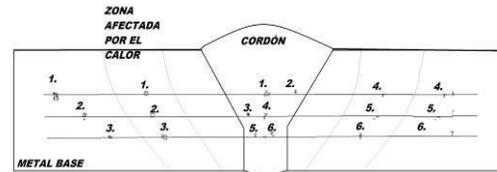
-2 uniones a tope soldadas cuadrado de 10X10 mm

### 3.4. Muestras para Ensayo de dureza.

Para el ensayo de dureza, se tomaron dos muestras de junta soldada de lámina y 2 muestras de junta soldada de cuadrado, y se realizaron, tomas de dureza en tres zonas de la soldadura: Metal base, zona afectada por el calor y cordón de soldadura (Figura 4).

**Figura 4:** Puntos de toma de dureza en la soldadura.

TOMA DE MUESTRAS EN EL ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA



Fuente: Los autores

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Metalografía de laminados previos.

El ensayo de metalografía se realizó a tres elementos, con el fin de identificar la variación en la forma del grano en dirección longitudinal, contrastado con la dirección transversal del mismo material.

Por esta razón se evaluaron, muestras de perfil cuadrado de 10 mm., y de lámina de 6 mm. También se realizó la metalografía de las juntas soldadas a tope de los dos perfiles mencionados anteriormente.

Para el proceso de Metalografía se cumplieron las etapas de: Corte, pulido grueso con disco abrasivo y lija 80; para pulido medio y fino se emplearon los abrasivos número 150, 220, 320, 400 y 600. Posteriormente se realizó el pulido con paños y como abrasivo se empleó polvo de alúmina. Finalmente se hizo ataque químico a todas las muestras, con Nital al 5%, por un tiempo de 5 segundos cada muestra.

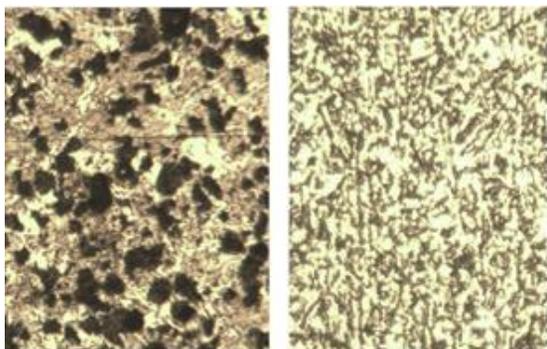


La primera parte de la metalografía, busca definir la microestructura de los materiales antes del proceso de soldadura para determinar la afectación que se produce en la microestructura del acero con la aplicación de la soldadura, que transformaciones se suceden y en qué zonas.

#### 4.1.1. Metalografía de lámina de 6mm.

De las cuatro muestras que se prepararon para metalografía, se tomaron micrografías a la lámina a 100X (figura 11) y 300X (Imagen 7).

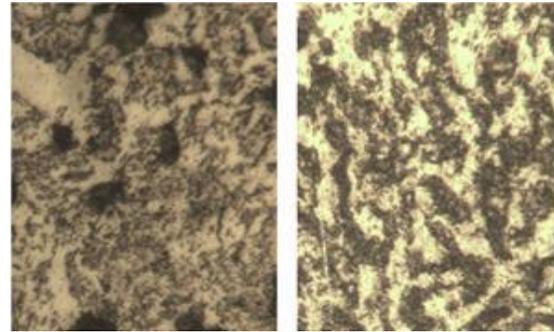
**Imagen 7.** *Micrografía de lámina de acero a 100X sección longitudinal y transversal.*



**Fuente:** Autores.

Esta micrografía muestra un componente claro en mayoría, con dispersión de material gris (perlita), los puntos negros son cavidades de poca altura.

**Imagen 8:** *Micrografías de lámina de acero a 300X, sección longitudinal y transversal.*



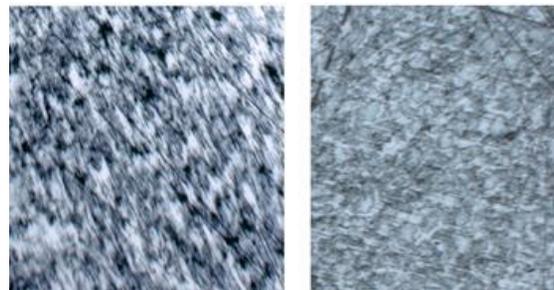
**Fuente:** Autores.

El mismo material a 300X, muestra los componentes del acero, matriz ferrítica y zonas perlíticas(gris).

#### 4.1.2. Metalografía de cuadrado 10X10 mm.

De igual manera se tomaron micrografías a lo largo y ancho del perfil cuadrado de 10X10 mm., a 100X (Imagen 9) y a 300X (Imagen 10)

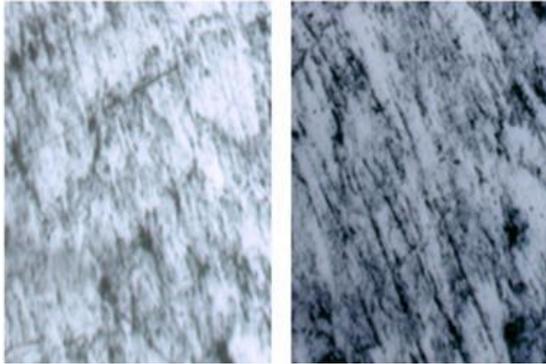
**Imagen 9.** *Micrografías de cuadrado de 10 mm, sección longitudinal y transversal 100X.*



**Fuente:** Autores.

Las micrografías presentan mayor diferencia en la configuración y dirección del tamaño de grano entre el ancho y largo.

**Imagen 10.** *Micrografías de cuadrado de 10 mm, sección longitudinal y transversal 300X.*



Fuente: Autores.



Fuente: Autores.

En las micrografías anteriores se presenta a la izquierda la conformación granular a lo largo del perfil, y a la derecha se presenta micrografía de estructura transversal.

#### 4.2. Metalografía de soldaduras.

Como se indicó en el numeral 3.4., se tomaron seis datos de dureza por cada zona (3) de cada probeta de soldadura, las zonas definidas son: el cordón, la zona afectada por el calor y el metal base.

Se decidió tomar solo tres zonas debido a que la inclusión de zonas intermedias dificulta su definición y exige el empleo de elementos de exactitud en un área bastante pequeña, por esta razón la definición de las zonas es segura en cuanto a su ubicación.

Como evidencia, se tomaron micrografías a 100X y 300X de cada punto. Las figuras que se presentan a continuación son representativas, teniendo en cuenta que el alto número de micrografías presenta alternativas en los resultados.

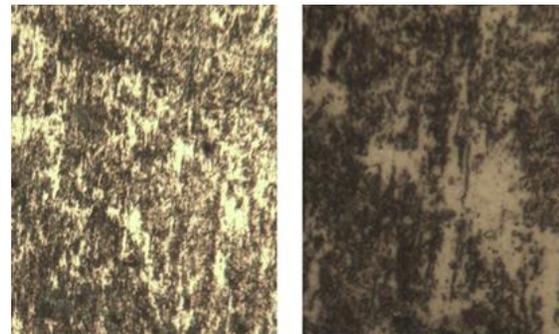
##### 4.2.1 Metalografía de lámina CR. soldada.

Como se explicó en el punto anterior, luego de realizada la soldadura de la lámina, se procedió a cortar y montar en resina la muestra de soldadura, para realizar el proceso metalográfico, y como resultado obtener las microestructuras en las 3 zonas del material soldado. (Imagen 11).

*Imagen 11: Probeta de soldadura, pulida y atacada con las zonas marcadas*

Con ese modelo indicado se inició con el material base, que supone una afectación mínima por el calor de la soldadura.

*Imagen 12: Micrografía lámina de acero soldada a 100X y 300X, en el metal base*



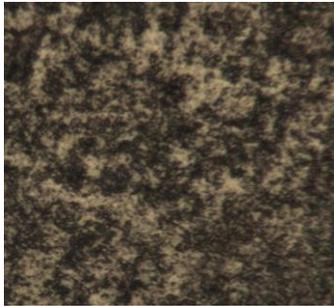
Fuente: Autores.

La imagen 12 presenta el mismo material y corte, con dos aumentos diferentes, a 100X, se muestra una matriz ferrítica, con grano alargado, al igual que las zonas grises (perlita). Se puede observar que la deformación del grano es bastante notoria, debida al proceso de fabricación.

En la Imagen 13 se aprecia la estructura de la microestructuras a 300X del material evaluado en la zona afectada por el calor. En esta figura se puede ver una formación de granos alargados y con puntas, aspecto de martensita que hace muy dura esa área y puede generar grietas.



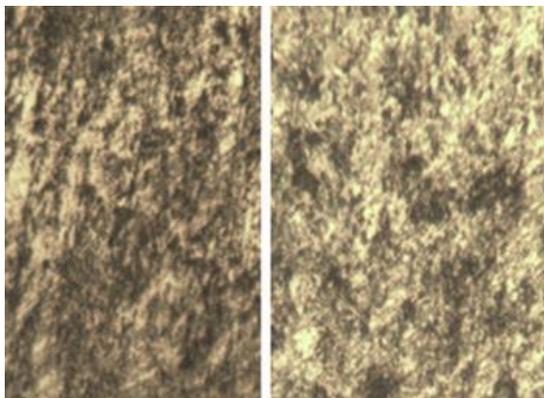
**Imagen 13:** Vista de lámina soldada a 100X y 300X, en la zona afectada por el calor.



**Fuente:** Autores.

Las siguientes imágenes presentan la conformación granular del cordón de soldadura, visto a 100X y a 300X.

**Imagen 14:** Cordón de soldadura a 100X y a 300X.



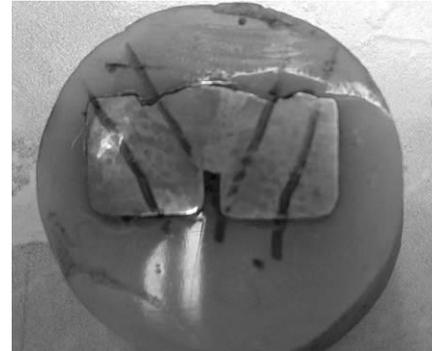
**Fuente:** Autores.

En la imagen 14, se puede apreciar que la estructura formada es de granos gruesos que se orientan hacia un mismo lado, que puede ser la dirección de solidificación.

#### 4.2.2. Metalografía cuadrado 10 mm. soldado.

Teniendo como referencia la estructura del perfil cuadrado, que se obtuvo en el numeral 4.1.2., se analizó la micrografía de las áreas de la soldadura del perfil cuadrado (Imagen 16)

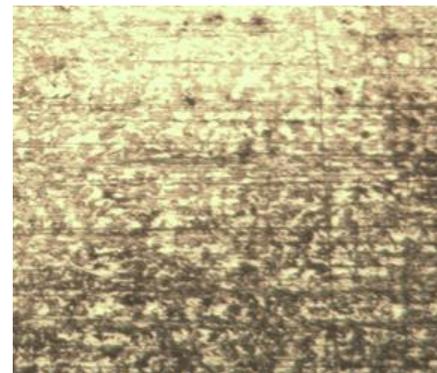
**Imagen 16:** Probeta de metalografía del perfil cuadrado y las zonas a analizar



**Fuente:** Autores.

El perfil cuadrado presenta una diferencia mayor entre la microestructura longitudinal y la transversal, por esta razón es importante definir bien las zonas de análisis y las respectivas microestructuras.

**Imagen 17:** Material base de perfil de acero soldado



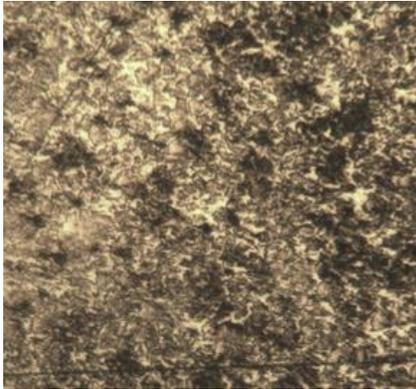
**Fuente:** Autores.

En la Imagen 17 se observa un material con tamaño de grano pequeño, con matriz ferrítica y granos grises (perlita) orientados ligeramente en forma de flujo.

Es importante revisar la microestructura de la zona afectada por el calor, teniendo en cuenta que por las áreas pequeñas que presenta el perfil, se puede presentar un mayor efecto del calor en el acero.



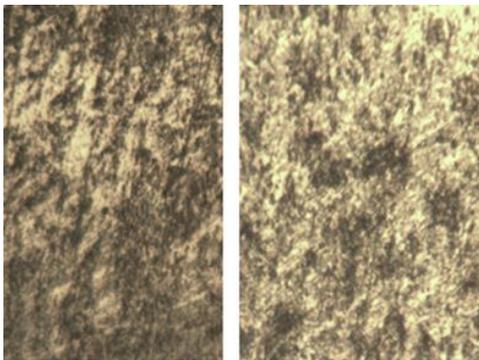
**Imagen 18:** Perfil 10 mm soldado en zona ZAC.



**Fuente:** Autores.

En la Imagen 18 se puede observar la típica distribución de grano martensítico, sin embargo se advierte que el tamaño de grano es pequeño, lo que disminuye el daño de la estructura martensítica.

**Imagen 19:** Perfil 10 mm soldado en cordón a 100X y 300X.



**Fuente:** Autores.

En la figura 19, se observa la estructura granular del cordón de soldadura, que comparado con las otras zonas, se ve más compacta y de grano más grande, además sigue una dirección que refiere a la solidificación del proceso de soldadura.

#### 4.3 Macro Ataque.

El macro ataque, es una técnica de evaluación de materiales y fallas, que sirve

en el proceso de evaluación de soldaduras, debido a que con esta práctica se puede detectar la configuración interna del cordón de soldadura y el metal base.

Una práctica sencilla de macro ataque se desarrolla de la siguiente forma:

- Corte u obtención de las muestras a evaluar.
- Limpieza y desengrasado de las muestras.
- Calentamiento a 70°C de agua, para sumergir las piezas por 10 minutos.
- Inmersión de las piezas en ácido clorhídrico diluido al 30%, durante 10 minutos, con agitación constante.
- lavado de las piezas con agua, posterior a esto se secan las piezas y se observan los resultados.

En las imágenes que siguen se pueden ver los macro ataques realizados a las piezas y juntas soldadas.

#### 4.3.1. Macro Ataque a soldadura de lámina CR.

**Imagen 20:** Lámina soldada, con macro ataque.



**Fuente:** Autores.

En la imagen 20, se observa una soldadura de dos láminas de acero AISI-SAE 1020, en est, además del defecto de falta de fusión en la raíz, se pueden observar los cordones depositados, el área de penetración de la soldadura, y en diversos tonos otras áreas como la ZAC.

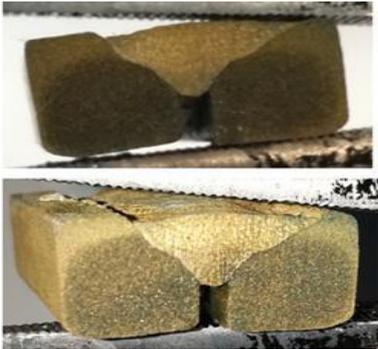
#### 4.3.2. Macro Ataque de cuadrado 10X10 mm.

El macro ataque a la soldadura del perfil cuadrado, también presento detalles



importantes, además de evidenciar la dificultad para soldar este perfil.

**Imagen 21:** Perfil 10X10 mm. soldado, con macro ataque.



Fuente: Autores.

En las imágenes de la imagen 21, se pueden ver dos muestras de perfil cuadrado de 10X10 mm, soldado, y se puede apreciar los cordones de soldadura, de la misma forma se observan áreas decoloradas que indican diferente cristalización.

#### 4.4. Ensayo de dureza.

El ensayo de dureza se realizó a dos probetas preparadas para este fin, tomando las mediciones, en las áreas ya definidas, como se muestra en la figura 9. En la tabla 2, se muestran los resultados de la toma de durezas en los dos especímenes evaluados.

**Tabla 2:** Resultados de dureza de dos muestras, en las tres zonas de la soldadura.

Medición de dureza en zonas de soldadura					
MUESTRA	ZONA	HBr-1	HBr-2	HBr-3	Prom. HBr.
1	Metal base	187	192	178	185,7
	Metal base	173	180	185	179,3
	ZAC	303	310	290	301,0
	ZAC	315	321	297	311,0
	Cordon	245	231	256	244,0
	Cordon	240	246	239	241,7
2	Metal base	177	189	193	186,3
	Metal base	190	184	201	191,7
	ZAC	312	323	298	311,0
	ZAC	307	304	306	305,7
	Cordon	233	240	245	239,3
	Cordon	238	246	241	241,7

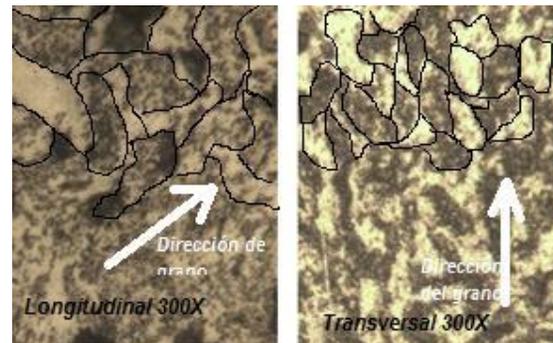
Fuente: Los autores.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Evaluación de tamaño de grano y dirección en perfiles sin soldadura.

Los perfiles trabajados (lámina de 6 mm y perfil cuadrado de 10X10 mm.), presentan resultados similares en cuanto a las direcciones y tamaño de grano así:

**Imagen 22:** Comparación granular y de dirección de lámina de 6mm AISI-SAE 1020



Fuente: Autores.

La lámina de 6 mm de espesor muestra un tamaño de grano medio (300 X), pero la longitud del grano se ve diferenciada la sección transversal con la longitudinal.

En la sección transversal el grano es alargado (figura 25), pero en relación con el

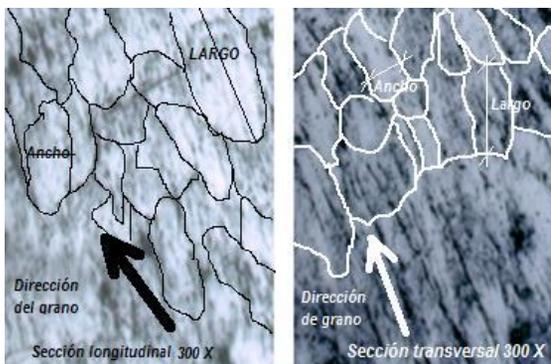


ancho, se puede evaluar una proporción de 1:2, mientras que se observa más largo el grano en la sección longitudinal.

De lo anterior concluimos que el material en bruto ya trae unas tensiones generadas por el alargamiento de grano, lo que contribuye con el endurecimiento del material posterior al proceso de soldadura.

Para el perfil cuadrado de 10 X 10 mm., se puede verificar que se mantiene la proporción 2:1 de ancho por largo de los granos en la sección transversal, mientras que en la sección longitudinal, el largo del grano se nota mayor la proporción, llegando a niveles de 4:1 y casos mayores.

**Imagen 23:** Micrografía de cuadrado 10 X 10 mm., dirección y proporción de grano a 300 X



Fuente: Autores.

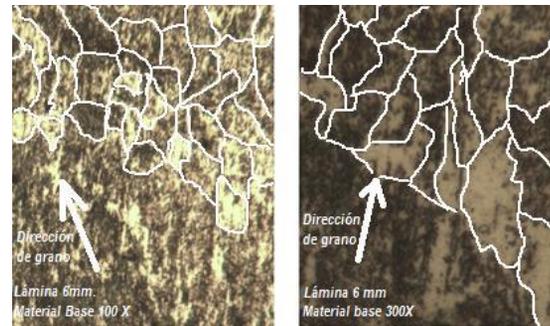
En la Imagen 23 se puede apreciar la diferencia del tamaño de grano entre la micrografía longitudinal que es mayor y la micrografía transversal que es de menor proporción.

En ambos casos la dirección del grano alargado, corresponde al laminado efectuado en la producción del material y se nota menor alargamiento del grano en el área transversal y la dirección deja ver que el proceso de laminado aplicó fuerzas contrarias que evitaron el alargamiento del grano, incluso presentándose algunos granos de proporciones equiaxiales.

## 5.2 Evaluación de tamaño de grano y dirección en perfiles soldados.

El estudio micrográfico que se realizó tuvo en cuenta los cambios ya conocidos que se suceden en el material.

**Imagen 24:** Comparación granular y de dirección de lámina de 6mm AISI-SAE 1020 soldada.

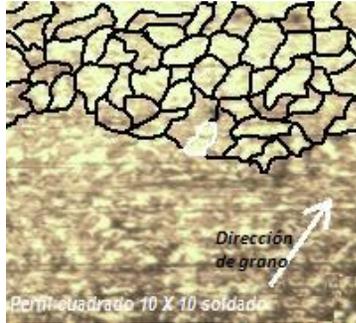


Fuente: Autores.

En la imagen 24, se observa de acuerdo a la proporción granulométrica de la muestra, que la soldadura se hizo paralela a la sección longitudinal del grano, de acuerdo a que la granulometría de las figuras se presenta de proporciones aproximadas de 1:2 (ancho: largo).

La orientación granular corresponde a un material laminado y no se evidencia afectación por proceso de transformación posterior, es decir se puede asegurar que esta sección no se vió afectada por el calor generado por la soldadura, en las dos vistas (100 X y 300X), existe correspondencia en tamaño y dirección.

**Imagen 25:** Material base de perfil cuadrado



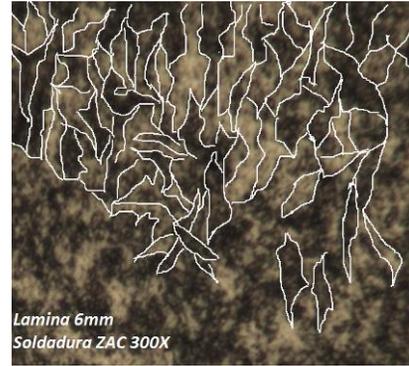
Fuente: Autores.

En la Imagen 25 se observa el material base de la junta del perfil cuadrado, en esta figura no se notan cambios o aspectos anómalos, además de entender que la microestructura es de un grano ligeramente alargado en la dirección del laminado del perfil, y que a pesar de que la distancia con la soldadura es pequeña, esta no afectó en su totalidad al material.

El área a vigilar en la soldadura, corresponde a la zona de afectación térmica, que es cercana al cordón de soldadura y su tamaño depende de la cantidad de cordones que se depositan en la unión, así como las temperaturas que se alcanzaron durante el proceso.

En la imagen 26 se puede ver la microestructura de la lámina a 300X, correspondiente a una estructura de martensita con grano alargado, pero sin sobrepasar proporcionalmente, la distribución del material original.

**Imagen 26:** ZAC de junta soldada de lámina 6mm.

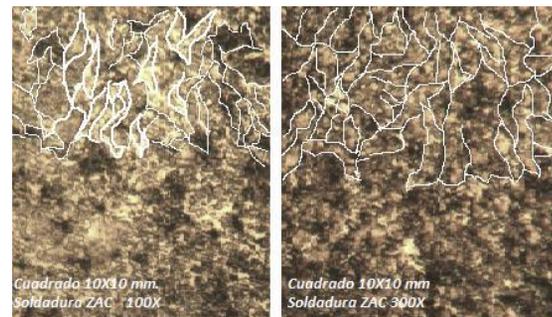


Fuente: Autores.

Es importante tener en cuenta que la martensita genera tensiones, pero que la característica indispensable las puntas de la granulometría, lo que genera la acumulación de tensiones, por esta razón se aconsejan tratamientos de revenido, que eliminan las puntas de los granos martensíticos.

Para el perfil cuadrado de 10X10 mm., se espera que la incidencia de la zona afectada por el calor sea mayor, teniendo en cuenta que la longitud de los granos en la sección longitudinal es mayor en proporción en el cuadrado comparado con la lámina.

**Imagen 27.** ZAC de junta soldada de cuadrado 10X10 mm.



Fuente: Autores.

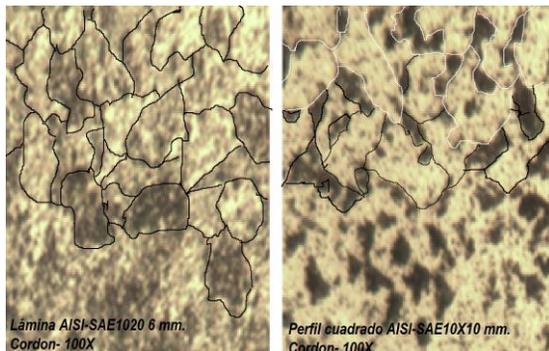
En la imagen 27 se tienen las micrográficas de una junta soldada de perfil cuadrado, en la Zona afectada por el calor, a 100X y 300X, en ellas se verifica que en el área transversal, se encuentra una granulometría



regular con granos martensíticos, con una deformación ligera.

Lo anterior indica que debido al poco material para evacuar el calor durante el proceso de soldadura, se alcanza un tratamiento de revenido, que suaviza el impacto del calor en la estructura. Finalmente revisamos la microestructura del cordón en ambos materiales (lámina y perfil cuadrado)

**Imagen 28.** Comparación entre estructura de cordón en soldadura de lámina y perfil cuadrado.



Fuente: Autores.

En la imagen 28, se ve la micrografía del acero AISI-SAE 1020, en lámina de 6 mm y cuadrado de 10 mm. En ambos casos se nota un tamaño de grano grande, que se privilegia por estar en el centro del calor generado, adicionalmente, debido a que la solidificación se realiza mientras se aplica el cordón, la microestructura genera una dirección de crecimiento de grano, provocando una estructura de grano columnar, como se puede ver en ambas figuras. Esta configuración presenta buenas propiedades mecánicas, pero en la medida que se agranda el grano, debido a calor permanente, se corre el riesgo de fragilizar el metal.

### 5.3 Evaluación soldadura mediante Macro Ataque.

Como se indicó anteriormente, el Macro Ataque es un ensayo que sirve para evaluar

herramientas, materiales y estructuras, de forma rápida y entregando gran cantidad de información. Para la evaluación de lámina soldada de 6 mm., mediante Macro Ataque, se siguió el procedimiento explicado anteriormente.

**Imagen 29.** Macro ataque a soldadura de lámina AISI-SAE 1020 6 mm.

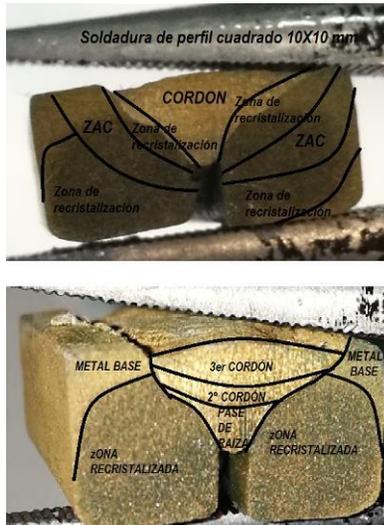


Fuente: Autores.

En la figura 29 se puede apreciar el resultado del macro ataque a la soldadura de una lámina de 6 mm de espesor. En esta muestra se puede apreciar por diferenciación de colores:

- El área de la soldadura con la cantidad exacta de cordones.
  - La magnitud de la penetración de la soldadura.
  - La Zona Afectada por el Calor (ZAC) y su tamaño.
  - .las áreas que se recrystalizan por el proceso.
  - La proporción de material base que no se afecta.
- La otra prueba de Macro ataque que se realizó, fue al perfil cuadrado de 10 X 10 mm., al que también se le realizó chaflán de 60° y se le aplicaron 3 cordones a la junta.

**Imagen 30.** Macro ataque a la soldadura de perfil cuadrado AISI-SAE 10 X 10 mm.



Fuente: Autores.

En la imagen 30ven las áreas generadas en el material durante el proceso de soldadura, los cordones aplicados, la zona de afectación por el calor, y zonas de recristalización.

## 6. CONCLUSIONES.

- El acero AISI-SAE 1020, es uno de los materiales más empleados en la industria metalmeccánica y de las estructuras.
- Los productos que se comercializan en este acero, son variados, y van desde fundidos hasta laminados.
- Los procesos de laminado de estos aceros siempre dejan estructuras cristalográficas afectadas para el uso permanente.
- Las láminas son productos que durante su fabricación son sometidas a procesos de disminución de espesores.
- Todos los materiales laminados presentes en el mercado tienen deformación cristalográfica, de forma permanente y pueden ser aumentados estos niveles de deformación durante su uso.
- El aumento en los niveles de deformación granulométrica, disminuyen la vida útil de los materiales, por fracturas, corrosión, ablandamientos, etc.
- Las barras y perfiles presentan mayor cantidad de tensiones residuales, debidas a los alto niveles de reducción de espesor a que son sometidos durante la fabricación.

-Los aceros laminados presentan todos una dirección de mayor deformación y por consiguiente esa dirección facilita la nucleación de fallas y defectos del material.

-El macroataque es una herramienta funcional y económica para la evaluación de partes y estructuras.

Las evidencias que presenta el macroataque solo se podrían lograr con la realización de Ensayos No Destructivos y sus respectivos costos.

-El presente trabajo aclaró las dudas sobre la funcionalidad del macroataque y su efectividad en la entrega de resultados.

-El acero AISI-SAE 1020, es un acero que por su composición y estructura cristalográfica, se puede usar en la mayoría de los proyectos de construcción.

## 7. REFERENCIAS.

- Bohorquez B., Edgardo A. (2014). Formulación de Polielectrólitos usando Turbiscan y Microscopia, enfocado en el rompimiento de emulsiones inversas. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178, 5 (1).
- DiGiovanni, C., Li, L., Driver, R., & Callele, L. (2017). Cracking in welded steel platform structures during hot-dip galvanization. Engineering Failure Analysis, 79, 1031-1042.
- Huyghe, P., Malet, L., Caruso, M., Georges, C., & Godet, S. (2017). On the relationship between the multiphase microstructure and the mechanical properties of a 0.2 C quenched and partitioned steel. Materials Science and Engineering: A, 701, 254-263.
- Li, Q., Zhu, Y., & Guo, J. (2017). Microstructure and mechanical properties of resistance-welded NiTi/stainless steel joints. Journal of Materials Processing Technology, 249, 538-548.





- López, D. F. A., Pereira, R. C., Castro, Y. A., Sánchez, H., & Sabirov, I. (2016). Desarrollo de un método de simulación física de zonas térmicamente afectadas en soldaduras de acero, para estudios de propagación de grietas por fatiga. *Facultad de Ingeniería*, 25(42), 33-54.
- López Martínez, E., Vázquez Gómez, O., & Campillo Illanes, B. F. (2014). Estimación del Esfuerzo de Fluencia de Soldaduras de Aceros Microaleados. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 5(1), 273-279.
- Makhdoom, M. A., Ahmad, A., Kamran, M., Abid, K., & Haider, W. (2017). Microstructural and electrochemical behavior of 2205 duplex stainless steel weldments. *Surfaces and Interfaces*, 9, 189-195.
- Mohsenzadeh, M. S., & Mazinani, M. (2017). The effect of particles size on work hardening behavior of a low carbon steel with a composite-type microstructure. *Materials Science and Engineering: A*, 702, 113-124.
- Ramírez-Soto, J. C. I., Salgado-López, J. M., Pérez-Quiroz, J. T., Pérez-López, T., Terán-Guillén, J., & Martínez-Madrid, M. (2016). Efecto del mantequillado en las propiedades mecánicas de uniones soldadas disímiles en barras de refuerzo para estructuras de concreto. *Revista ALCONPAT*, 6(3), 248-260.
- Reyes-Carcasés, D., Fernández-Columbié, T., Alcántara-Borges, D., & Rodríguez-González, I. (2018). Soldadura con los electrodos revestidos E 6010 y E 7018 en acero AISI 1025. *Minería y Geología*, 34(1), 112-125.0
- Rosero Jiménez, R. A. (2017). Desarrollo y calificación de un procedimiento de soldadura en servicio de accesorio para tanque bajo diseño API650 y requerimientos de ASME sección IX con el proceso de soldadura SMAW.
- Ruiz-Magaña, A. I. (2016). Dominios magnéticos en piezas de acero AISI 4340 soldado con electrodos revestidos. *Ciencia & Futuro*, 6(3), 61-81.
- Singh, D. K., Raman, R. S., Maiti, S. K., Bhandakkar, T. K., & Pal, S. (2017). Investigation of role of alloy microstructure in hydrogen-assisted fracture of AISI 4340 steel using circumferentially notched cylindrical specimens. *Materials Science and Engineering: A*, 698, 191-197.
- Soria, J., Reyes, F., Carrillo, R., Garcia, F., Alvarez, H. y Silvia, L. (2015). Efecto del tratamiento termico sobre las propiedades mecanicas y microestructura de un acero para tuberia API 5CT J55. *Ingeniería Investigación y Tecnología (Volumen 4)*
- Terán, J., Alcántara, M., Arroyo, M., Del Valle, A. y Lomelí, M. (2017). Evaluación de la integridad estructural del acero SAE/AISI 1045 SOLDADO POR ARCO MANUAL CON ELECTRODO RREVESTIDO (SMAW). *Revistasomin ( A2)*. Mexico.
- Wang, H. S., Yuan, G., Kang, J., Cao, G. M., Li, C. G., Misra, R. D. K., & Wang, G. D. (2017). Microstructural evolution and mechanical properties of dual phase steel produced by strip casting. *Materials Science and Engineering: A*, 703, 486-495.

