

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

SIMULACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN TRASLAPE UTILIZANDO GTAW DE ACERO

INOXIDABLE AISI 430

**COMPONENTE: Análisis paramétrico de la junta soldada utilizando
GTAW para en el acero AISI 430**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

CONSTANTINE FRANCO HABANA NICOLE

DIRECTOR: ING WILLAN MONAR Ms.C.

DMQ, Marzo 2022

CERTIFICACIONES

Yo, CONSTANTINE FRANCO HABANA NICOLE declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



CONSTANTINE FRANCO HABANA NICOLE

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CONSTANTINE FRANCO HABANA NICOLE, bajo mi supervisión.



ING. WILLAN MONAR Ms. C.
DIRECTOR

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

NOMBRE_REVISOR1
REVISOR1 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

NOMBRE_REVISOR2
REVISOR2 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Estudiante: Constantine Franco Habana Nicole

Director: Ing. Willan Leopoldo Monar Ms.C.

Colaborador: Ing. Gabriel Velasteguí Ms.C.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de integración curricular a mis padres, en especial a mi mamá Estrella, quien ha sido el pilar fundamental de mi vida, con su amor, su comprensión, y su dedicación ayudó a cumplir mi más anhelado deseo, estudiar fuera de mi ciudad natal y obtener mi título universitario.

A mis hermanos, en especial a mi hermano Billy quien siempre estuvo para mí en todos los sentidos, y muchas veces me extendió su mano.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi mayor aliado en este proceso, por darme salud y ser luz durante todo el camino de mi vida universitaria.

A mis padres, en especial a mi mamá por ser mi sistema de apoyo, por enseñarme todo lo que soy y por haberme dado la oportunidad y haber creído en mí, en que lograría mi objetivo en una ciudad grande y completamente sola. Por aconsejarme, por escucharme, por solventarme, por todo esto gracias.

A mis hermanos Billy, Loana y Luis, a quien los adoro con mi vida y tienen un papel muy importante en este sueño. A mi abuelita Monsita, por siempre apoyarme en todo momento.

A mis amigos, Cristina, Arnaldo, Karla, Angie, Ivonne por apoyarme moralmente durante el proceso y no permitirme rendir.

Al Ing. Willan y al Ing. Gabriel Velastegui por todo su apoyo y paciencia durante este trabajo de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	1
1.4 MARCO TEÓRICO	2
1.4.1 Aceros inoxidables	2
1.4.2 Propiedades de los aceros inoxidables.	2
1.4.2.1 Resistencia a la corrosión.....	2
1.4.2.2 Resistencia a la temperatura.....	3
1.4.2.3 Facilidad para la fabricación	3
1.4.2.4 Resistencia mecánica	3
1.4.2.5 Estética	3
1.4.2.6 Ciclo de trabajo	3
1.4.3 Elementos aleantes en los aceros inoxidables.....	3
1.4.3.1 Cromo.....	3
1.4.3.2 Níquel.....	3
1.4.3.3 Molibdeno.....	4
1.4.3.4 Manganeso	4
1.4.3.5 Silicio	4
1.4.4 Clasificación de los aceros inoxidables según su microestructura.	4
1.4.4.1 Acero Inoxidable Austenítico	4
1.4.4.2 Acero Inoxidable Martensítico	4
1.4.4.3 Acero Inoxidable Dúplex.....	5
1.4.4.4 Acero Inoxidable endurecible por precipitación.	5
1.4.4.5 Acero Inoxidable Ferrítico	5
1.4.4.6 Acero Inoxidable ferrítico de alta temperatura.	5
1.4.5 Acero Inoxidable ferrítico AISI 430.....	6
1.4.6 Diagramas de fase de los aceros inoxidables	6
1.4.6.1 Diagrama de fase Hierro-Cromo	6

1.4.6.2	Efecto del carbono en el diagrama Hierro-Cromo	7
1.4.6.3	Diagrama de constitución	7
1.4.6.4	Diagrama de Schaeffler	7
1.4.7	Soldabilidad de los aceros inoxidables ferríticos	8
2.	METODOLOGÍA.....	10
2.1	Proceso de soldadura GTAW.....	10
2.2	Variables del proceso GTAW	10
2.2.1	Corriente	10
2.2.2	Velocidad	10
2.2.3	Protección gaseosa	11
2.2.4	Material de aporte.....	11
2.2.5	Selección de material de aporte.....	11
2.2.6	Ciclo térmico de soldadura.....	13
2.2.7	Temperatura de precalentamiento	13
2.3	Determinación de la microestructura del acero inoxidable AISI 430	13
2.3.1.1	Determinación de la composición química del material base	13
2.3.2	Determinación de la composición química del material de aporte.....	14
2.3.3	Predicción de la Microestructura final	14
2.4	CÓDIGO DE SOLDADURA ASME IX	15
2.4.1	Requerimientos y ensayos según código ASME IX	15
2.5	WPS: Especificación del procedimiento de soldadura GTAW	16
2.6	Proceso de soldadura GTAW en las probetas.....	16
3.	PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
3.1	Ensayos	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1	Inspección Visual.....	20
3.1.1.1	Criterios de aceptación	20
3.1.2	Ensayo de tracción	20
3.1.2.1	Preparación de las probetas para ensayo de tracción.....	21
3.1.2.2	Criterios de aceptación	21
3.1.2.3	Proceso del ensayo de tracción	21
3.1.3	Macrografía.....	22
3.1.3.1	Criterios de aceptación	23
3.1.3.2	Proceso para realizar la macrografía	23
3.1.3.3	Equipos usados en la macrografía	24
3.1.4	Micrografía	25
3.1.4.1	Proceso de micrografía.....	25

3.1.4.2	Equipos para realizar la micrografía.....	26
3.2	Resultados.....	27
3.2.1	Variables del proceso de soldadura.....	27
3.2.2	Inspección visual.....	29
3.2.3	Ensayo de tracción.....	30
3.2.3.1	Resumen del ensayo de tracción.....	32
3.2.4	Macrografía.....	33
3.2.5	Micrografía.....	38
3.3	Análisis de resultados.....	42
3.3.1	Análisis de la temperatura en la junta soldada.....	42
3.3.2	Probeta 1.1.....	42
3.3.3	Probeta 1.2.....	43
3.3.4	Probeta 2.1.....	43
3.3.5	Probeta 2.2.....	44
3.4	Conclusiones.....	45
3.5	Recomendaciones.....	45
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
5.	ANEXOS.....	48

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 430.....	6
Tabla 1.2 Porcentaje de elementos aleantes para el uso del diagrama Schaeffler [7]	8
Tabla 2.1 Alternativas de selección del material de aporte.	11
Tabla 2.2 Evaluación de los criterios según su importancia	11
Tabla 2.3 Matriz de calificación.	12
Tabla 2.4 Matriz normalizada.....	12
Tabla 2.5 Resultados de la selección del material de aporte	12
Tabla 2.6 Composición química del acero inoxidable ferrítico AISI430.	14
Tabla 2.7 Composición química del acero inoxidable AISI 430. [14].....	14
Tabla 2.8 Tipos de ensayos y número de probetas en función del espesor según código ASME IX. [15]	16
Tabla 2.9 Equipo de soldadura y especificaciones técnicas.....	19
Tabla 3.1 Especificaciones técnica de Máquina Universal de ensayos.	22
Tabla 3.2 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados para la macrografía	24
Tabla 3.3 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados para el ensayo de micrografía.....	26
Tabla 3.4 Variables del proceso de soldadura para las dos probetas de acero inoxidable AISI 430.	28
Tabla 3.5 Temperaturas obtenidas hasta la mitad del cordón de la junta soldada.	28
Tabla 3.6 Temperaturas obtenidas a partir de la mitad del cordón de soldadura de la junta soldada.	28
Tabla 3.7 Resultados de la inspección visual de las dos probetas de soldadura.	29
Tabla 3.8 Resumen de la inspección visual de las juntas soldadas.....	30
Tabla 3.9 Identificación de las muestras de cada probeta.....	30
Tabla 3.10 Resultados del ensayo de tracción de las juntas soldadas.	32
Tabla 3.11 Resultados del ensayo de tracción del material base.	32
Tabla 3.12 Identificación de las probetas para macrografía.	33
Tabla 3.13 Identificación de las probetas para micrografías.	39
Tabla 3.14 Micrografías de la probeta 1.1 con un solo cordón de soldadura.	39
Tabla 3.15 Micrografía de la probeta 2.1, junta soldada con doble cordón de soldadura.41	
Tabla 3.16 Calificación de los resultados de la inspección visual, ensayo de tracción y afectación al material.....	44

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de fase Hierro-Cromo.....	7
Figura 1.2 Diagrama de Schaeffler	8
Figura 2.1 Electrodo seleccionado ER308-L	13
Figura 2.2 Muestra para obtener la microestructura del acero AISI 430 por medio del ensayo de chispa.....	13
Figura 2.3 Dimensiones mínimas de las placas de 2 a 20 mm de espesor.....	16
Figura 2.4 Placas planas cortadas de acuerdo con las especificaciones requeridas.....	17
Figura 2.5 Equipo de soldadura.	17
Figura 2.6 Soldando en traslape.	17
Figura 2.7 Obtención de las temperaturas con el paso del tiempo.	18
Figura 2.8 Toma de datos de temperatura en las juntas soldadas.	18
Figura 2.9 Junta soldada con un solo cordón.....	19
Figura 2.10 Junta soldada con doble cordón.....	19
Figura 3.1 Estándares de la probeta para ensayo de tracción según la norma ASTM E8	20
Figura 3.2 Preparación de probetas para el ensayo de tracción según la norma ASTM E8.	21
Figura 3.3 Probetas con las dimensiones estándares para aplicar ensayo de tracción... ..	22
Figura 3.4 Probetas de los cordones de soldadura en la montura de resina poliéster....	23
Figura 3.5 Desbaste de las probetas de los cordones de soldadura	24
Figura 3.6 Probetas sometidas a desbaste fino.....	24
Figura 3.7 Pulido de probetas.	26
Figura 3.8 Probetas lista para micrografía.	26
Figura 3.9 Probeta con cordón de soldadura simple después del ensayo de tracción. ...	30
Figura 3.10 Probeta con cordón de soldadura simple después del ensayo de tracción. .	31
Figura 3.11 Probeta T2.1 con cordón de soldadura doble después del ensayo de tracción.	31
Figura 3.12 Probeta T2.2 con cordón de soldadura doble después del ensayo de tracción.	31
Figura 3.13 Probeta MB1 del material base después del ensayo de tracción.....	31
Figura 3.14 Probeta MB2 del material base después de aplicar el ensayo de tracción... ..	32
Figura 3.15 Macrografía con aumento 0,4x de la probeta T1.1.	34
Figura 3.16 Macrografía con aumento 1x de la probeta T1.1.	34
Figura 3.17 Macrografía con aumento 0,4x de la probeta T1.2.	35
Figura 3.18 Macrografía con aumento de 1x de la probeta T1.2.	35

Figura 3.19 Macrografía con aumento 0.4x de la probeta T2.1.	36
Figura 3.20 Macrografía con aumento de 1x del cordón izquierdo de soldadura.....	36
Figura 3.21 Macrografía con aumento 1x de la probeta 2.1 del cordón derecho de la junta.	37
Figura 3.22 Macrografía con aumento 0,4 de la probeta T2.2.	37
Figura 3.23 Macrografía con aumento 1x de la probeta 2.2 del cordón izquierdo de la junta.	38
Figura 3.24 Macrografía con aumento 1x de la probeta T2.2 del cordón del lado derecho de la junta soldada.	38

RESUMEN

En este trabajo de integración curricular, se caracterizan juntas soldadas en solape mediante GTAW de acero inoxidable ferrítico AISI 430, utilizando ensayos normalizados.

En primera instancia, se realizó la obtención de su composición química por medio del ensayo de espectroscopía de chispa. Luego, empleando la norma ASTM E8, se obtuvieron seis probetas del material base (AISI 430), y en base de la norma ASME IX, se analizó la soldadura en solape de cuatro probetas en planchas de 3mm de espesor, en las dos primeras probetas se realizó un solo cordón de soldadura a diferencia de las dos restantes, en las cuales se realizaron dos cordones de soldadura en la junta en solape, se empleó como material de aporte aleaciones austeníticas AWS: E-308L según la norma AWS A5.9.

El análisis del comportamiento de la soldadura se logró por medio de ensayos normalizados de tracción y metalográficos (macrografía y micrografía) de la sección transversal, con el fin de analizar la temperatura durante el proceso de soldadura en el cordón y el comportamiento de cada parámetro en la soldadura, todos los ensayos se evaluaron bajo los criterios establecidos por la norma ASME IX

PALABRAS CLAVE: Soldadura, GTAW, Acero inoxidable. AISI430, Ensayos.

ABSTRACT

In this curricular integration work, lap welded joints are characterized by GTAW of ferritic stainless steel AISI 430, using standardized tests.

In the first instance, its chemical composition was obtained by means of the spark spectroscopy test. Then, using the ASTM E8 standard, six specimens of the base material (AISI 430) were obtained, and based on the ASME IX standard, for the overlap welding of four specimens in 3mm thick plates, in the first two specimens A single weld bead was made, unlike the other two, in which two weld beads were made in the overlapping joint, austenitic alloys AWS:E-308L were used as filler material according to the AWS A5.9 standard.

In the analysis of the welding behavior by means of standardized tensile and metallographic tests (macrography and micrography) of the cross section to analyze the temperature during the welding process in the seam and the behavior of each parameter in the welding, all the tests were evaluated under the criteria established by the ASME IX standard.

KEYWORDS: Welding, ANSYS, GTAW, Stainless steel.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Como parte del proyecto de titulación aprobado por la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional: Simulación de juntas soldadas en traslape utilizando GTAW en placas de acero Inoxidable AISI 430, el componente, desarrollado aquí, consiste en la caracterización de material AISI 430, para lo cual, se elaboran dos juntas soldadas con material de aporte AWS E308L según la norma AWS A5.9 y aplicar ensayos normalizados. Lo que sirve de insumo para el otro componente de este trabajo de integración curricular que es la simulación de estas juntas soldadas utilizando software ANSYS.

El análisis del acero AISI 430 busca beneficiar la industria ecuatoriana, porque al realizar este estudio del material sus aplicaciones aumentarán, se conocerán las propiedades exactas del acero más solicitado y empleado dentro de la industria. Se reducirá posibles errores.

1.1 Objetivo general

Caracterizar juntas soldadas en traslape utilizando GTAW en placas de acero inoxidable AISI 430.

1.2 Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica del acero inoxidable AISI 430: propiedades mecánicas, composición química y en especial su soldabilidad.
- Determinar su composición química por medio de espectroscopía de chispa.
- Elaborar probetas de juntas soldadas en solape según norma ASTM E8
- Realizar ensayos normalizados de tracción en las probetas soladas según la norma ASME IX.
- Realizar macrografías y micrografías de la sección transversal de las probetas soladas.

1.3 Alcance

El alcance de este componente es la caracterización de material AISI 430 en el laboratorio de fundición obteniendo su composición química como dato, posteriormente se elaboran las juntas soldadas en traslape por medio de GTAW utilizando como material de aporte el AWS E308L según la norma AWS A5.9. Se realizan dos soldaduras, la primera con un cordón y la segunda con doble cordón en los traslapes. Se mecanizan las piezas soldadas

en el laboratorio de máquinas herramientas según la norma ASTM E8, con las probetas normalizadas se someten a ensayos normalizados de tracción obteniendo la elongación y la resistencia mecánica

Adicional a esto se somete la sección transversal de la probeta a una macrografía y micrografía obteniendo datos de la soldadura vistos en el cordón. Lo que sirve de insumo para el otro componente de este trabajo de integración curricular que es la simulación de estas juntas soldadas utilizando software.

1.4 MARCO TEÓRICO

En este acápite se describen los aceros inoxidable, se revisan sus propiedades más relevantes en la ingeniería mecánica, los elementos aleantes, su clasificación de acuerdo a su microestructura, acero inoxidable ferrítico AISI 430, diagramas de fases de los aceros inoxidables ferríticos.

1.4.1 Aceros inoxidables

El acero inoxidable contiene hierro con bajo contenido de carbono hasta un 0,8 % y con un 10% al 12% de cromo contenido en masa. En algunas instancias contiene como segundo elemento de aleación el níquel [1].

El cromo es el elemento que proporciona la principal característica de inoxidable, su alta resistencia a la corrosión que compacta al metal protegiéndolo de ambientes corrosivos [1] [2].

1.4.2 Propiedades de los aceros inoxidables.

Las propiedades que caracterizan a los aceros inoxidables como ventajas frente a otro tipo de acero, son: resistencia a la corrosión, a la temperatura, resistencia mecánica, estética y ciclo de trabajo.

1.4.2.1 Resistencia a la corrosión

Es la principal propiedad que representa a los aceros inoxidables ya que todos la poseen, depende de su composición química, grado de cromo. La capacidad protectora del cromo ante la corrosión es el resultado de la gran relación con el oxígeno, este fenómeno tiene el nombre de pasividad del acero inoxidable. Consiste en que si el acero contiene un alto grado de cromo y al estar sometido a un medio oxidante provoca la formación de una capa fina invisible de Cr que evita la corrosión.

1.4.2.2 Resistencia a la temperatura

De acuerdo con su grado existe la opción que soporta grandes temperaturas y la resistencia térmica es alta, así como también la opción que muestra una dureza excepcional a temperaturas criogénicas [1].

1.4.2.3 Facilidad para la fabricación

Los aceros inoxidable son aptos para procesos de mecanizados, soldadura, forja y se obtienen resultados favorables.

1.4.2.4 Resistencia mecánica

El fortalecimiento de los aceros inoxidable mediante el trabajo en frío incrementa la resistencia del metal mediante la deformación plástica, así su diseño se utiliza para reducir espesores y abaratar costos [3].

1.4.2.5 Estética

El acero inoxidable tiene la ventaja de mantener su superficie higiénica, con baja rugosidad superficial y gran apariencia a simple vista.

1.4.2.6 Ciclo de trabajo

Su vida útil se ve favorecida por ser un material con alta durabilidad, siendo una opción económica tomando en cuenta su ciclo vital.

1.4.3 Elementos aleantes en los aceros inoxidable

Entre los elementos que lo componen están el carbono y el cromo, también se adhieren otros elementos como son molibdeno, silicio, titanio, aluminio, cobre, tungsteno y nitrógeno se agregan a la composición química para proporcionar características y mejoras. [3] [4].

1.4.3.1 Cromo

Es el principal elemento aleante con la capacidad de contrarrestar la corrosión, de acuerdo con sus niveles, si tiene un mínimo de 10,5% contenido en masa se cataloga como un acero inoxidable en condiciones ambientales. Y viceversa, si el porcentaje de cromo en masa aumenta el resultado será una mayor resistencia a la corrosión.

1.4.3.2 Níquel

Es el principal formador de la fase austenítica, a temperaturas ambiente y por debajo de esta. De acuerdo con el grado que se añade en conjunto con el cromo, permite mejorar las propiedades, principalmente aumenta la dureza de los martensíticos y ferríticos. No es formador de carburos, ni de compuestos Inter metálicos [1].

1.4.3.3 Molibdeno

Es el elemento formador de la microestructura ferrítica y carburos. La cantidad que se adiciona dependiendo del tipo de acero inoxidable es del 6%, con el propósito de incrementar la resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas. En los martensíticos es una desventaja la presencia de ferrita ya que disminuye la ductilidad y la dureza [4].

1.4.3.4 Manganeso

Está presente en los aceros ferríticos, la cantidad de contenido en masa es menor al 1%. Dentro de las consecuencias de la presencia de este elemento aleante está el de funcionar como un estabilizador a bajas temperaturas de la austenita para prevenir la formación de fase martensítica y viceversa, cuando incrementa la temperatura estabiliza la ferrita [1].

1.4.3.5 Silicio

Se halla en un 0,3% a 0,6% en peso. Su principal función es actuar como un desoxidante durante la fusión. Mejora la resistencia a la oxidación a altas temperaturas y viceversa a menos temperaturas incrementa solo en soluciones altamente oxidables [4].

1.4.4 Clasificación de los aceros inoxidables según su microestructura.

Se clasifican según su microestructura en: Austeníticos, Ferríticos, Martensíticos, Dúplex y Endurecidos por precipitación [5].

1.4.4.1 Acero Inoxidable Austenítico

Se caracterizan porque su microestructura tiene como segundo componente principal el níquel. Esta aleación está compuesta por Fe-Cr-Ni con porcentajes en peso de 15- 32% de cromo y un 8-37% de níquel. Se caracterizan por ser los que constituyen mayores números de aleaciones, con series de 200 y 300 AISI [5]. Es el más conocido, por su gran capacidad de resistir a la corrosión en comparación con los martensíticos y ferríticos. En cuanto a la soldadura, los aceros austeníticos poseen una buena soldabilidad, siempre y cuando cumplan con requerimientos específicos dentro de un proceso adecuado [5].

1.4.4.2 Acero Inoxidable Martensítico

Son aleaciones que contienen mayor a 14% de cromo, excepto los tipos 440 A, B, y C con un 16-18% de cromo. Son ferríticos en estado de recocido, pero logran pasar a martensíticos mediante un enfriamiento rápido. Los mismos disponen de la serie 400, tales como AISI: 410, 416, 420, 431, 501 y 502 [12].

1.4.4.3 Acero Inoxidable Dúplex

Son aleaciones con alto porcentaje de Cromo 20 - 25.4%, Níquel 1.4 - 7.0% que estabilizan la fase austenítica y Molibdeno 0.3 - 4 %, presenta en su microestructura ferrita y austenita, razón por la cual reciben el nombre Dúplex. Contiene alrededor de un 50 % ferrita y 50% de austenita, esta doble estructura logra obtener las mejores propiedades de cada una en una sola aleación. Entre ellas está, una elevada resistencia mecánica. También, la presencia de la ferrita en este acero provoca que sean magnéticos [6].

1.4.4.4 Acero Inoxidable endurecible por precipitación.

Mejoran las propiedades de los aceros martensíticos. Las fases que pueden estar presentes en su estructura son la martensita y austenita, dependiendo del contenido en peso de los elementos aleantes Cr y Ni que son los estabilizadores de la austenita, tiene un contenido de carbono bajo menos al 0.1% lo que mejora su resistencia a la corrosión. El endurecimiento se lleva a cabo por precipitación de elementos aleantes según el acero, en el caso de los martensíticos se precipita el titanio, en los austeníticos los carburos [6].

1.4.4.5 Acero Inoxidable Ferrítico

Aceros inoxidable de cromo directo, su porcentaje en peso es de 10.5% y 30% de cromo, contiene también los elementos aleantes níquel y nitrógeno que forman austenita en pequeñas cantidades. Las principales series AISI son: 405,430,442,446 [5].

Posee una estructura BCC (Cúbica centrada en el cuerpo), conlleva a que si se pueda aplicar tratamiento térmico. Los ferríticos se destacan por su mínimo porcentaje de aleación, lo que provoca una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión en ambientes con menos cloruros. Como todos los aceros inoxidables, los ferríticos tienen baja conductividad térmica. Otra propiedad de estos aceros es su baja ductilidad y en comparación con los austeníticos, estos no endurecen por trabajado mecánico [5].

Como desventaja, los aceros ferríticos tienen problemas que se pueden presentar según la aplicación como un incremento de grano excesivo, mantener la ductilidad y la tenacidad.

1.4.4.6 Acero Inoxidable ferrítico de alta temperatura.

Soportan temperaturas desde 800-1150°C, se emplean en medios atmosféricos donde el sulfuro esté presente; A diferencia de los aceros ferríticos comunes, este posee gran cantidad de porcentaje de carbono, provocando que la resistencia a la fluencia aumente [6].

1.4.5 Acero Inoxidable ferrítico AISI 430.

Es un acero inoxidable cuyo contenido en peso de sus elementos aleantes es de: 0.12% C, 1 % Mn, 0.04 % P, 0.030 %S, 1 % Si, 16-18% Cr, 0.75 % Ni [8]. Dentro de su composición química, también pueden estar presentes elementos aleantes como el aluminio y sílice, cuya función es estabilizar la estructura ferrítica y mejorar la capacidad de resistencia a la corrosión en condiciones de calor [9].

Es un material dúctil y posee alta resistencia a la corrosión bajo calor (máximo 816°C) por su elevado porcentaje de cromo en su composición. Comparado con los aceros martensíticos. Se forman como chapas o tiras con capacidad de ser trabajado en conformado. Se usan en la industria (tanques, condensadores, tuberías, bobinas, etc.) [9]

La tabla 1.1 detalla las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables ferríticos

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 430.

REPRESENTATIVE MECHANICAL PROPERTIES (Annealed sheet unless noted otherwise)								
Test Temperature		Yield Strength 0.2% Offset		Tensile Strength		Elongation in 2" (50.80mm)	Reduction of Area	Hardness Rockwell
*F	*C	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%	B
80	27	50	345	75	517	25		85
300	149	34	234	66	455	32	71	
500	260	33.5	231	62.5	431	30	72	
700	371	33	228	57.5	396	30	73	
900	482	27.5	190	48.5	334	35	75	
1100	593	19	131	30	207	42	88	
1300	704	7.2	50	15	103	82	93	
1500	816	5.5	38	7	48	83	99	
1700	927			3.5	24	98	98	
1900	1038			2	14	100	94	

1.4.6 Diagramas de fase de los aceros inoxidables

Existen 3 fases de los aceros inoxidables según su microestructura: martensíticos, ferríticos, austeníticos [10].

1.4.6.1 Diagrama de fase Hierro-Cromo

La Figura 2, nos muestra el diagrama de Fe-Cromo, el cual nos puede detallar las familias de acero inoxidable, cuyo componente principal es el porcentaje de cromo.

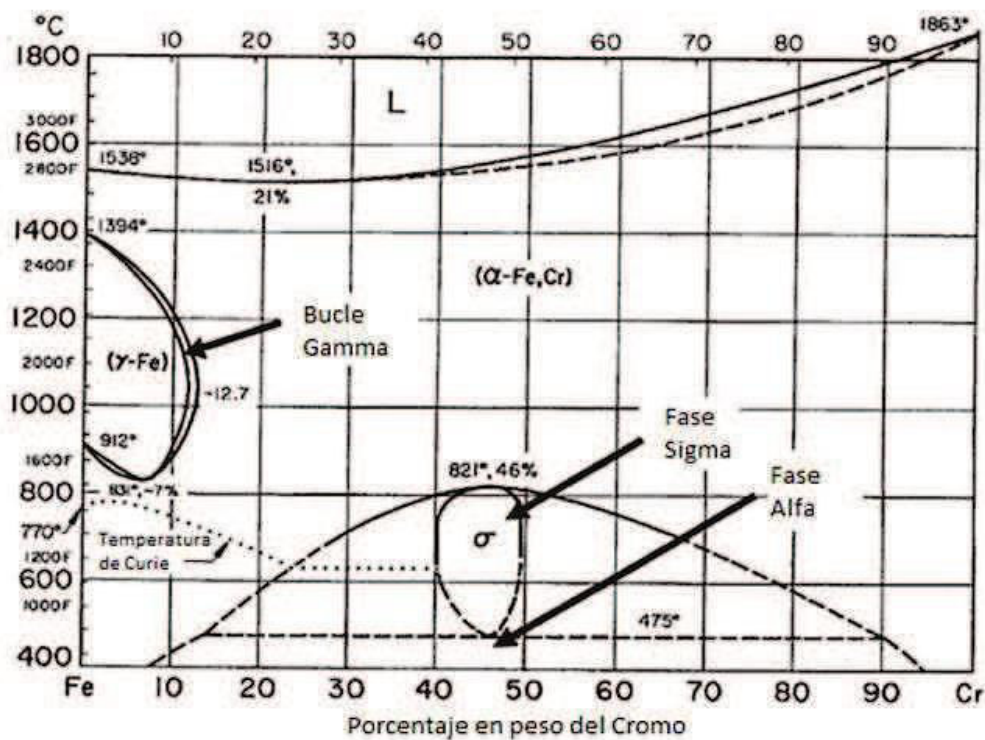


Figura 1.1 Diagrama de fase Hierro-Cromo. [4]

1.4.6.2 Efecto del carbono en el diagrama Hierro-Cromo

La presencia del carbono se encuentra favoreciendo a la ampliación de la fase gamma, la cual permite la presencia de austenita a altas temperaturas. Todo ocurre por una pequeña cantidad de carbono. Cuando esta cantidad llega a un valor de 0.6 % el campo gamma se limita un 17% y no existe esta ampliación de gamma, formando carburos [4].

1.4.6.3 Diagrama de constitución

Los diagramas de constitución muestran la microestructura de los aceros inoxidable luego de ser sometidos a un proceso de soldadura.

1.4.6.4 Diagrama de Schaeffler

H. J. Ibarra (2009) [11] dice, la estructura de la soldadura de un acero inoxidable se predice considerando el efecto austenizante y ferritizante, para ello se emplea el diagrama estructural Schaeffler (figura 1.2), nos muestra estabilizadores, en el eje X se encuentra la ferrita que se obtiene del Cr equivalente y en él Y se encuentra la austenita que se obtiene del Ni equivalente [11].

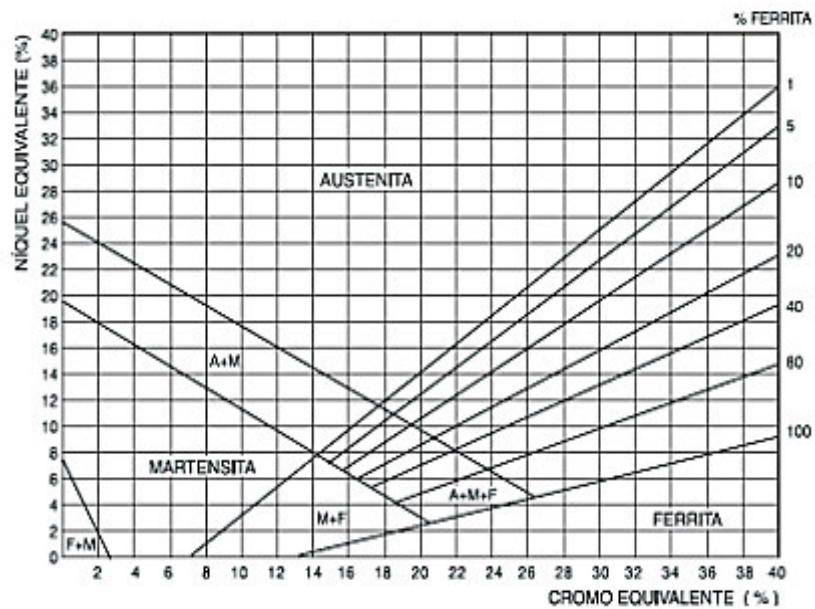


Figura 1.2 Diagrama de Schaeffler. [4]

Para calcular tanto el cromo como el níquel equivalente se necesita las siguientes fórmulas.

$$\text{Cromo equivalente} = \%Cr + \%Mo + 1.5 * \%Si + 0.5 * \%Nb \quad (1.1)$$

$$\text{Níquel equivalente} = \%Ni + 30 * \%C + 0.5 * \%Mn \quad (1.2)$$

Luego de emplear las fórmulas 1.1 y 1.2, en la línea de unión entre estos valores, se encuentra el punto final que muestra la composición final de la soldadura. Obtenido las propiedades luego de ser soldado [11].

Tabla 1.2 Porcentaje de elementos aleantes para el uso del diagrama Schaeffler [7]

C	0,25%	Mo	3,0%	Mn	1,0%
Nb	1,5%	Si	1,0%		

1.4.7 Soldabilidad de los aceros inoxidable ferríticos

Arrieta, E.A (2003) [12] dice, El acero inoxidable ferrítico sufre de tres problemas que se pueden enfatizar según la aplicación:

Su crecimiento de grano aumenta demasiado a más de 950°C, debido a que no se produce la recristalización del cambio de ferrita a austenita. Un grano grueso, posee características como: baja ductilidad y tenacidad en comparación con un grano fino. Sin embargo, la solución a este problema es aplicar un tratamiento que afine el grano, pero es de conocimiento general que en la soldadura no se puede emplear ningún tratamiento de recristalización. Por eso es considerado un problema de gran magnitud [12].

Estos aceros presentan una sensitización, que implica la aparición de celdas galvánicas dentro de la microestructura, provocando que al enfriarse rápidamente disminuya su resistencia a la corrosión en su borde de grano por la transformación en martensita. Su ductilidad disminuye por la presencia de la fase Sigma A, debido a la presencia del cromo [12].

Ibarra M., Núñez E., Huerta J. (2010) [10] dicen, el proceso GTAW es el mejor proceso para soldar el acero inoxidable. Realiza cordones de alta calidad, sin escorias (debido a que usan electrodos no consumibles sin revestimiento), por lo que se usa para soldaduras de responsabilidad en acero inoxidable, donde obtener soldaduras de calidad sea necesario. Suelda piezas con poco espesor (hasta 6 mm.), a diferencia de espesores mayores de 6 - 7 mm este procedimiento no resulta barato y se suele emplear procedimientos de soldadura por arco sumergido.

2. METODOLOGÍA

Se describe el proceso de soldadura GTAW, las variables que intervienen, se determina la microestructura del acero inoxidable AISI 430, se analiza el código de soldadura ASME IX que se empleará, especificación del procedimiento de soldadura GTAW (WPS) y el proceso de soldadura GTAW en las probetas.

2.1 Proceso de soldadura GTAW

GTAW (Tungsten Inert Gas), también conocido como TIG, es un proceso que emplea un gas inerte cuya función es proteger al metal fundido del aire. Adicional, es un alambre el material de aporte dentro del arco. [12]

En este proyecto se debe recalcar que se aplicara el proceso de soldadura GTAW a dos juntas de acero ferrítico AISI 430 en traslape tomando en cuenta que el material está totalmente libre de defectos. Las Ventaja es que no es necesario realizar una limpieza del cordón de soldadura ni mayor control de soldadura debido a que el charco de soldadura es visible.

2.2 Variables del proceso GTAW

Las variables en el proceso de soldadura son esenciales, controlan el calor entregado en el proceso, el manejo adecuado de las mismas permitirá la obtención de un cordón de soldadura que cumpla con los requisitos [13]. Las variables consideradas esenciales son las siguientes:

2.2.1 Corriente

I. S.A (2010) [13] dice, La corriente necesaria para el proceso de soldadura se lo decide de acuerdo con el espesor del material base, se recomienda usar corriente continua de polaridad directa; esta variable afecta al voltaje y se necesita una longitud de arco constante. En el caso del acero AISI 430 se emplea una corriente continua con polaridad directa, debido a que el uso de esta corriente obtiene una buena penetración y una velocidad elevada. [11]

2.2.2 Velocidad

Factor que afecta directamente a la calidad de la junta a traslape de la soldadura empleando el proceso GTAW, la velocidad aplicada es directamente proporcional con la cantidad de calor empleado en el proceso. En efecto, dentro del proceso de soldadura, está variable afecta al ancho del cordón y su penetración. [11]

2.2.3 Protección gaseosa

Su función principal es hacer de escudo en el arco de soldadura para evitar contaminar el metal base y el electrodo. Los gases de protección más comunes en la soldadura GTAW son el helio y el argón. En este caso el que se utiliza es el argón ya que permite una protección eficaz, y además por su disponibilidad en el laboratorio de soldadura. [11]

2.2.4 Material de aporte

Es una varilla o alambre que se usa porque el electrodo no se consume. Se emplea cuando existen las siguientes consideraciones:

- ✓ El espesor del material base pasa los 3mm.
- ✓ El ajuste entre piezas no debe ser exacto.

“El material de aporte debe presentar la misma o similar composición química que el metal base.” (Delattre, 1972, P. 19)

2.2.5 Selección de material de aporte

Se selecciona de acuerdo con la norma y según su aplicación, en este caso se puede utilizar un material con grados austeníticos como ER430, ER60, ER65, o similares, teniendo en cuenta que su resistencia debe ser menor a la resistencia mecánica en la ZAC y el material base.

Tabla 2.1 Alternativas de selección del material de aporte.

Alternativas	Designación	Criterios	Designación
ER430	A	Composición química y resistencia similar al material base	I
ER308 L	B	Disponibilidad en el mercado	II
ER309 L	C	Buena resistencia a la corrosión,	III

Se evalúan porcentualmente los criterios de selección (tabla 2.2)

Tabla 2.2 Evaluación de los criterios según su importancia

Criterios de selección	Porcentaje
Disponibilidad en el mercado	30%
Composición química similar al metal base	35%
Resistencia a la corrosión	35%

Tabla 2.3 Matriz de calificación.

ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN		
	I	II	III
A	7	9	9
B	8	10	8
C	6	9	8
TOTAL	21	28	25
ESCALA DE CALIFICACIÓN		1	Malo
		10	Excelente

Tabla 2.4 Matriz normalizada

ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN		
	I	II	III
A	0,245	0,27	0,315
B	0,288	0,30	0,28
C	0,21	0,27	0,28

Finalmente se obtiene la calificación de las alternativas utilizando la matriz normalizada. (Tabla 2.5)

Tabla 2.5 Resultados de la selección del material de aporte

Alternativas de selección	Porcentaje
A	0,276
B	0,289
C	0,253

El material de aporte seleccionado es el ER308-L, el criterio decisivo fue la disponibilidad en el mercado.



Figura 2.1 Electrodo seleccionado ER308-L [11]

2.2.6 Ciclo térmico de soldadura.

El ciclo térmico es el proceso en el cual la temperatura de un punto cambia a otro a medida que pasa el tiempo bajo la entrega de calor por la corriente de soldadura.

2.2.7 Temperatura de precalentamiento

Se debe tener presente reducir la entrega térmica al material base, así se evita que haya un excesivo crecimiento de grano. Para el acero AISI 430 se realizó un precalentamiento manual las cuales se encuentra en un rango recomendado entre 149-232 °C. [11]

2.3 Determinación de la microestructura del acero inoxidable AISI 430

2.3.1.1 Determinación de la composición química del material base

La microestructura se obtiene en base a la composición química del metal, para ello se solicitó un informe de espectroscopía por chispa al Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional, determinar la cantidad en peso de los elementos presentes en el metal. Del cual se obtuvieron los siguientes datos mostrados en la Tabla 2-6. Ver ANEXO

I



Figura 2.2 Muestra para obtener la microestructura del acero AISI 430 por medio del ensayo de chispa.

Tabla 2.6 Composición química del acero inoxidable ferrítico AISI430.

ELEMENTO ALEANTE	%
Carbono [C]	0,062
Silicio [Si]	0,281
Manganeso [Mn]	0,301
Fósforo [P]	0,201
Cromo [Cr]	16,22
Níquel [Ni]	0,130
Cobalto [Co]	0,025
Vanadio [V]	0,048
Hierro [Fe]	85,89

2.3.2 Determinación de la composición química del material de aporte

En este caso según la selección por criterios principales realizado anteriormente, el material de aporte seleccionado fue ER308-L (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Composición química del acero inoxidable AISI 430. [14]

ELEMENTO ALEANTE	%
Carbono [C]	0,02
Manganeso [Mn]	0,7
Silicio [Si]	0,7
Cromo [Cr]	19
Níquel [Ni]	10
Molibdeno [Mo]	1,6

2.3.3 Predicción de la Microestructura final

Se calcula el cromo y el níquel equivalente, a partir de las fórmulas 1.1 y 1.2, valores necesarios para obtener en el diagrama de Schaeffler la estructura del metal base.

$$\text{Cromo equivalente}_{\text{metal base}} = 16,22 + 0 + 1,5 * 0,281 + 0,5 * 0 = 17,14\%$$

$$\text{Níquel equivalente}_{\text{metal base}} = 0,13 + 30 * 0,062 + 0,5 * 0,301 = 2,14\%$$

$$\text{Cromo equivalente}_{\text{metal de aporte}} = 19 + 1,6 + 1,5 * 0,7 + 0,5 * 0 = 21,65\%$$

$$\text{Níquel equivalente}_{\text{metal de aporte}} = 10 + 30 * 0,02 + 0,5 * 0,7 = 10,95\%$$

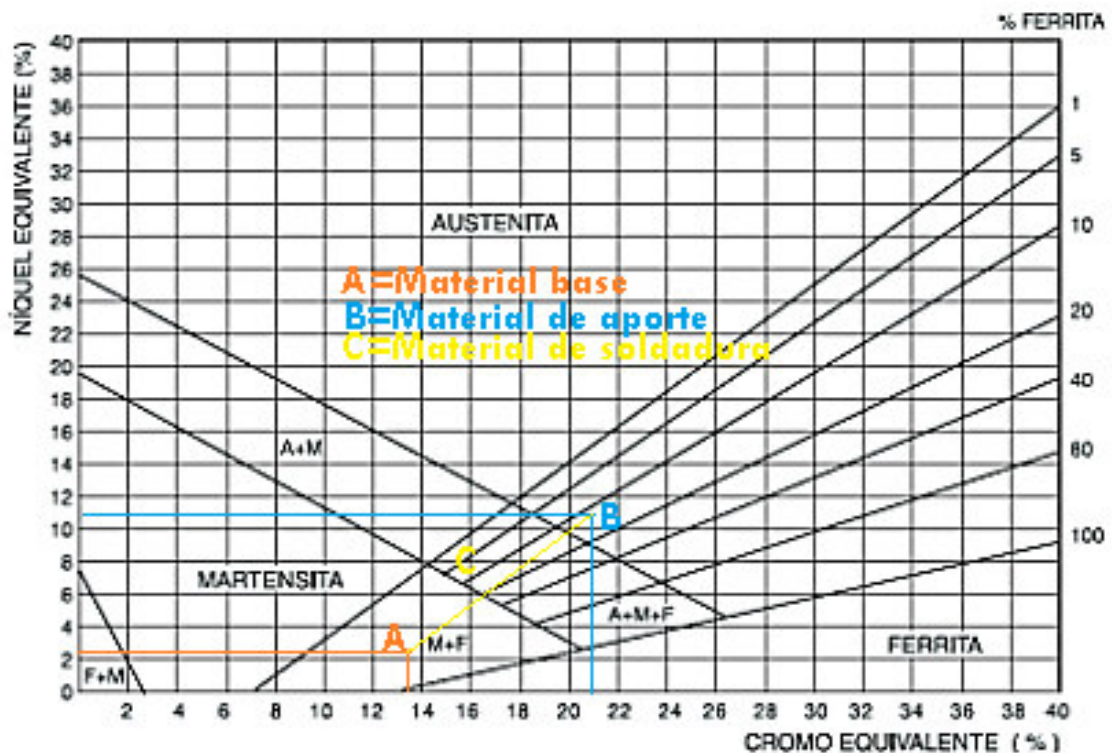


Figura 2.2 Diagrama de Schaeffler del acero inoxidable AISI 430.

2.4 CÓDIGO DE SOLDADURA ASME IX

Para calificar la soldadura de juntas a solape de aceros inoxidables se utiliza el código ASME IX, los requerimientos específicos dependen del espesor del material base y el tipo de proceso de soldadura, entre sus aplicaciones se encuentran las juntas soldadas sometidas a esfuerzos, dentro de los ensayos que se deben realizar según la norma están: ensayos de inspección visual, de tracción y macroataque. por lo que se toma a consideración los siguientes requerimientos:

2.4.1 Requerimientos y ensayos según código ASME IX

La norma en específico muestra los requerimientos, entre ellos las medidas de las probetas y los ensayos que se deben realizar, todo esto para que se logre la aprobación según los criterios establecidos. Y así lograr realizar Especificación del procedimiento de soldadura. Según la norma muestra las probetas normalizadas. (figura 2.3)

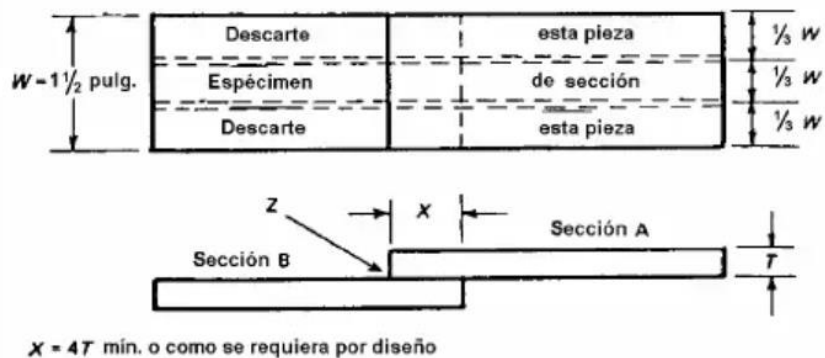


Figura 2.3 Dimensiones de las placas de acuerdo a la norma ASME IX. [15]

En la tabla 2.8, muestra los ensayos requeridos para las probetas de las juntas soldadas de acuerdo a la Figura 2.3

Tabla 2.8 Tipos de ensayos y número de probetas en función del espesor según código ASME IX. [15]

PRUEBAS DE TENSION Y PRUEBAS DE PELAR — JUNTAS DE SOLAPA				
Espesor t de Muestra de Prueba como se Suelta en Fuerte, pulg.	Orden de Espesor de Materiales Calificados por Placa o Tubo de Prueba pulg.		Tipo y Número de Especímenes de Prueba Requeridos	
	Min.	Máx.	Tensión QB-462.1	Pelar QB-462.3 [Nota (1)]
Menos de 1/8	$0.5t$	$2t$	2	2
1/8 hasta 3/8, incl.	$\frac{3}{8}t$	$2t$	2	2
Arriba de 3/8	$\frac{3}{8}t$	$2t$	2	2

2.5 WPS: Especificación del procedimiento de soldadura GTAW

El WPS, es el documento donde se caracterizan los principales parámetros del proceso de soldadura. Estas variables dependerán del proceso de soldadura empleado, en este caso es GTAW, y las variables son las ya mencionadas antes, tales como: corriente eléctrica, Velocidad de soldadura, tipo de junta, espesor del material, entre otros. En el ANEXO II se detallan los WPS.

2.6 Proceso de soldadura GTAW en las probetas.

Como primer paso, se procede a cortar el material base AISI 430 aplicando las especificaciones de la Figura 2.3, la cual nos indica que debemos cortar dos placas cuyas dimensiones fueron de 300 x 180 x 3mm.



Figura 2.4 Placas planas cortadas de acuerdo con las especificaciones requeridas

Se prepara el equipo de soldadura para GTAW, con los parámetros según el WPS, el gas de protección argón, el amperaje de 119A y con voltaje de 13.5V. Una vez preparado el equipo también se preparan las probetas a solape sin bisel.



Figura 2.5 Equipo de soldadura.

Se realiza el cordón de soldadura según la norma y el WPS. Primero en una placa se realiza la soldadura de un cordón y en una segunda placa se realiza dos cordones de soldaduras en cada lado del traslape. Con el fin de analizar el comportamiento de las dos placas.



Figura 2.6 Soldando en traslape.

Para el ciclo térmico de soldadura, en este caso se lo realizó empíricamente, mientras se realizaba la soldadura se precedió a marcar las placas de acero a una distancia entre ellas de 2cm, luego con una termocupla se tomó el valor de temperatura desde el centro hasta el final de la placa, mientras se realizaba el proceso de soldadura. Adicional con el cronómetro se tomó los datos de tiempo en cada división en el momento en el que el electrodo pasaba.

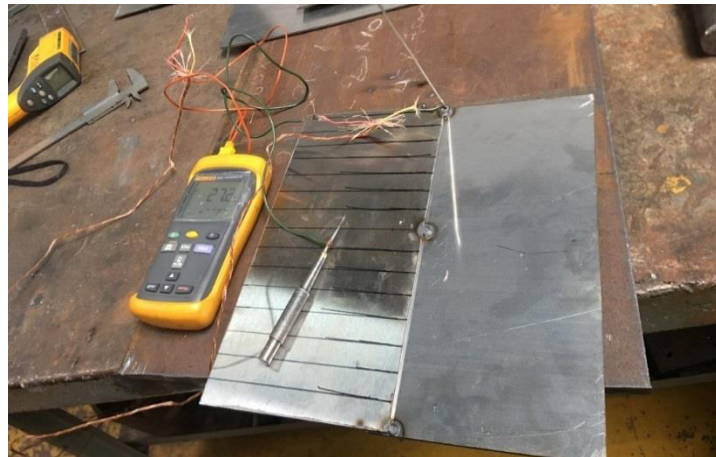


Figura 2.7 Obtención de las temperaturas con el paso del tiempo.

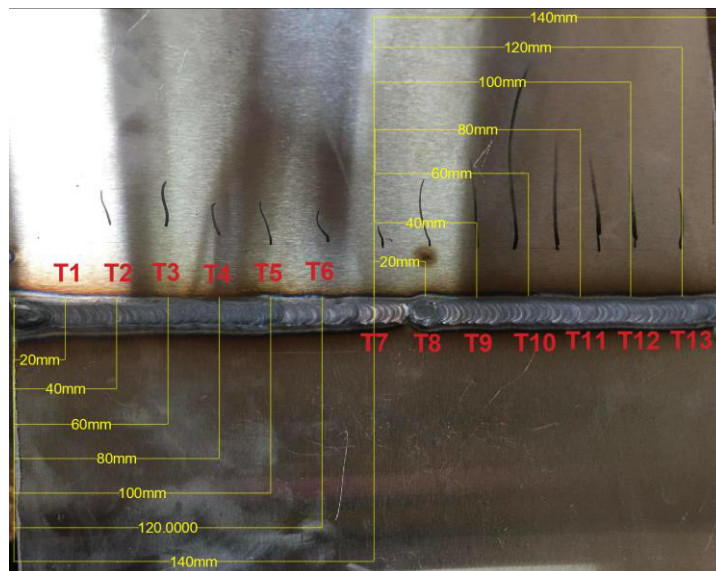


Figura 2.8 Toma de datos de temperatura en las juntas soldadas.

Finalmente, en la figura 2.9 se observan las placas soldadas en solape con un cordón de soldadura en un solo pase, siguiendo los parámetros descritos en el WPS.



Figura 2.9 Junta soldada con un solo cordón.

La figura 2.10 muestra la placa con doble cordón de soldadura, los cuales se obtuvo con un solo pase.

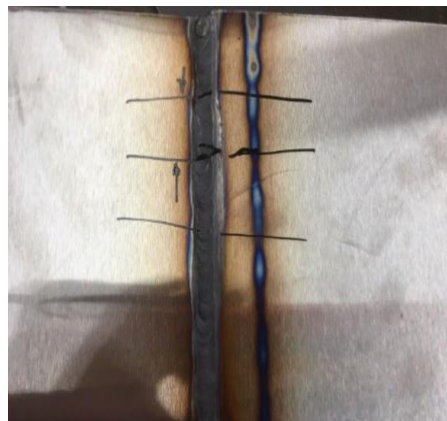


Figura 2.10 Junta soldada con doble cordón.

Tabla 2.9 Equipo de soldadura y especificaciones técnicas.

	MARCA:	Lincoln Electric
	MODELO:	Invertec V350-pro
	ENTRADA:	Voltaje:220V Frecuencia 50/60 Hz
	SALIDA;	Corriente Nominal (A): 300-350 Ciclo de trabajo (%): 100-60

3. PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describen los ensayos normalizados realizados a las probetas soldadas en traslape, se analizan los resultados obtenidos, se realizan las conclusiones y se analiza la aplicabilidad de los resultados en trabajos futuros.

3.1 Pruebas

Las pruebas realizadas a las diferentes probetas obtenidas son: inspección visual, ensayo de tracción, macrografía y micrografía.

3.1.1 Inspección Visual

Este ensayo se utiliza para encontrar discontinuidades a simple vista en el cordón de soldadura y así verificar que cumplan con los criterios de acuerdo con la norma ya establecida.

3.1.1.1 Criterios de aceptación

Los criterios para la calificación de este ensayo, sirven para verificar que estos se cumplan de acuerdo con la norma AWS D1.6 Los cuales son: la soldadura no debe presentar grietas, la sección transversal de la soldadura debe contar con cráteres llenos, la mordedura debe tener hasta 0,75 mm y la sobre monta debe tener hasta 3 mm, en los cordones de penetración completa sin respaldo y además la raíz no debe tener grietas o falta de penetración.

3.1.2 Ensayo de tracción

Se basa en aplicar una carga axial a una probeta para obtener la resistencia a la tracción en el momento de su rotura. Las probetas deben tener dimensiones dadas según la norma ASTM E8 en el Anexo III, la que define los estándares para que un metal sea sometido a este ensayo.

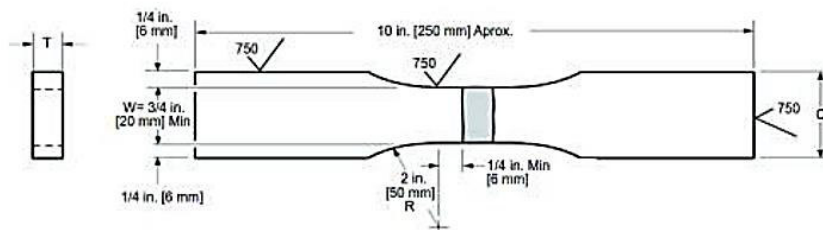


Figura 3.1 Estándares de las probetas de acuerdo con la norma ASTM E8. [16]

3.1.2.1 Preparación de las probetas para ensayo de tracción

Existen tres placas de las cuales una de ellas es la placa del material base, otra es la placa que fue soldada con un solo cordón de soldadura en solape y la última es la placa con doble cordón de soldadura en solape. A las cuales se las prepara según el apartado 2.4.1, que indica que se corta a cada una de las placas en probetas, en este caso como se aplica el ensayo de tracción el número de probetas que deben cortarse de cada placa son dos. Obteniendo seis probetas en total.



Figura 3.2 Junta soldada para la obtención de probetas según la norma ASTM E8.

3.1.2.2 Criterios de aceptación

A. D. AWS (2021) dice, La resistencia del material base debe ser menor que la de tracción del cordón. Al realizar el cordón, si la resistencia del material de aporte es menor que la del material base, la resistencia de tracción debe ser mayor que la del material de aporte.

3.1.2.3 Proceso del ensayo de tracción

Las seis probetas con las dimensiones estándares de acuerdo con la figura 3.3, se someten al ensayo en la máquina universal de ensayos, cuyas especificaciones técnicas se pueden ver en la Tabla 3.1, y luego de acuerdo con los criterios de aceptación se aprueba o no el resultado obtenido.



Figura 3.3 Probetas con las dimensiones estándares para aplicar ensayo de tracción.

Tabla 3.1 Especificaciones técnica de Máquina Universal de ensayos.

	Equipo:	Máquina universal de ensayos
	Marca:	Tinius Olsen
	Modelo:	Super L
	Capacidad de carga:	132000lb
	Tipo de sistema:	Hidráulico

3.1.3 Macrografía

El ensayo de macrografía estudia características y cualidades de los metales que pretende detectar la ausencia de defectos, geometría y la penetración del cordón de soldadura [8]. El procedimiento se lo realiza en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la EPN. (Anexo V)

3.1.3.1 Criterios de aceptación

A.D AWS (2007) dice, Existen requerimientos que se deben cumplir en una macrografía para una calificación permitida, los cuales son:

En una soldadura de filete debe existir la fusión en la raíz de la unión, el tamaño mínimo de pierna debe tener un tamaño acorde al tamaño de la soldadura especificado.

La penetración parcial de la junta debe tener los siguientes criterios: No tener fisuras, perfiles de soldaduras de acuerdo al detalle planteado. No tener socavado mayor a 1 mm [8].

3.1.3.2 Proceso para realizar la macrografía

En las probetas mecanizadas se realiza un corte transversal del cordón de soldadura de 25x20mm, se las coloca en una montura de resina poliéster, con el propósito de que el cordón quede fijo en la resina para realizar el pulido de la probeta como se muestra en la figura 3.4.



Figura 3.4 Probetas de los cordones de soldadura en la montura de resina poliéster.

Con las probetas secas en resina se realiza un desbaste grueso en una devastadora de disco, como lo muestra la figura 3.5.

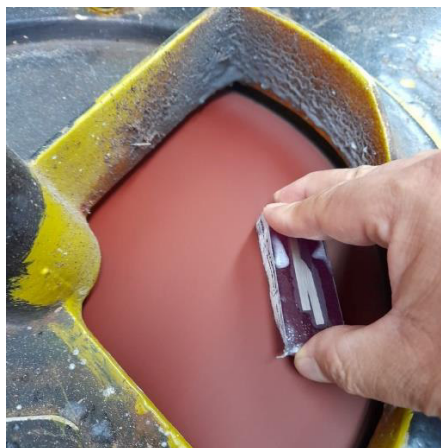


Figura 3.5 Desbaste de las probetas de los cordones de soldadura

Luego se procede a realizar el desbaste fino con lijas de 240, 320, 400 y 600 granos/pulg con el fin de reducir imperfectos como lo muestra la figura 3.6. cada muestra se las pule aproximadamente 2 minutos con cada lija.



Figura 3.6 Probetas sometidas a desbaste fino.




Finalmente, se procede a realizar un ataque químico a las probetas.

3.1.3.3 Equipos usados en la macrografía

En la tabla 3.2 muestra las especificaciones técnicas de los equipos utilizados en la preparación de las probetas para realizar la macrografía.

Tabla 3.2 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados para la macrografía

Equipo	Marca	Modelo	Imagen
--------	-------	--------	--------

Desbastadora de disco	Buehler	121-OM-84	
Banco de desbaste fino	Buehler	39-1470-AB	
Microscopio óptico	Meiji	EMZ-13 TR	

3.1.4 Micrografía

El ensayo metalográfico de micrografía es el encargado de preparar y describir la microestructura del cordón de soldadura, la zona afectada por el calor vistos con el microscopio, obteniendo fotografías, con un previo proceso de pulido de las probetas.

3.1.4.1 Proceso de micrografía

Al igual que en el proceso de macrografía, se extrae una probeta mediante un corte transversal y se fija en resina la probeta. Se realiza el desbaste con lijas de 60, 80, 100 y 120 granos/pulg en el banco de desbaste fino; luego se desbaste, con lijas de 240, 320,

400 y 600 granos/pulg con el fin de eliminar toda imperfección de la superficie de las probetas.

Se realiza un desbaste grueso y fino, hasta alcanzar una rugosidad mínima, el procedimiento se basa en colocar la muestra en una pulidora de paño, con lubricante de diamante a base de agua y un abrasivo de diamante, figura 3.7. Y finalmente, se termina de realizar un pulido fino con una pulidora automática hasta no observar ningún tipo de rugosidad.



Figura 3.7 Pulido de probetas.

Finalmente se realiza el ataque químico, se observa en el microscopio y se obtiene imágenes con aumento de 100x y 500x para determinar la microestructura del cordón y el material base.




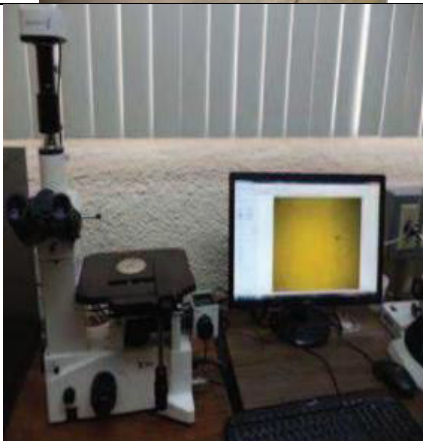
Figura 3.8 Probetas lista para micrografía.

3.1.4.2 Equipos para realizar la micrografía

Los equipos adicionales que se emplean en el ensayo de micrografía se indican en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados para el ensayo de micrografía

Equipo	Marca	Modelo	Imagen
---------------	--------------	---------------	---------------

Desbastadora de disco	Buehler	115-RM-1850	
Microscopio metalográfico invertido	Meiji	IM 7200	

3.2 Resultados

Con el propósito de analizar, evaluar y calificar la junta soldada a solape del acero inoxidable AISI 430, se muestran los resultados obtenidos, las variables del proceso, los ensayos normalizados, las macrografías y micrografías de las probetas soldadas.

3.2.1 Variables del proceso de soldadura

Las juntas a solape, la una con un cordón simple de soldadura y la segunda con doble cordón de soldadura se lleva a cabo bajo parámetros previamente establecidos en la norma ASME IX de acuerdo a los WPS que se encuentran en el ANEXO II. (Tabla 3.4)

Tabla 3.4 Variables del proceso de soldadura para las dos probetas de acero inoxidable AISI 430.

Probeta	Temperatura de precalentamiento [°C]	Voltaje [V]	Amperaje [A]	Velocidad de avance [mm/s]
Cordón simple	200	13,5	114	2,30
Cordón doble	200	15,6	119	1,60

Las tablas 3.5 y 3.6 muestran los resultados de las temperaturas obtenidas durante la soldadura de las probetas de acuerdo al apartado 2.6 como se estableció en la figura 2.8, en un tiempo y distancia específicos en la junta soldada.

Tabla 3.5 Temperaturas obtenidas hasta la mitad del cordón de la junta soldada.

Puntos de referencia	Distancia [mm]	Temperatura [°C]	Tiempo [s]
T1	20	81	1,43
T2	40	110	
T3	60	118	
T4	80	122	
T5	100	136	
T6	120	286	
T7	140	352	



Tabla 3.6 Temperaturas obtenidas a partir de la mitad del cordón de soldadura de la junta soldada.

Puntos de referencia	Distancia [mm]	Temperatura [°C]	Tiempo [s]
T8	20	260	1,19
T9	40	292	
T10	60	320	
T11	80	450	
T12	100	518	
T13	120	580	
T14	140	705	

3.2.2 Inspección visual

Los resultados obtenidos en la inspección visual de las probetas (tabla 3.7)

Tabla 3.7 Resultados de la inspección visual de las dos probetas de soldadura.

Cordón de soldadura simple		El cordón de soldadura presenta continuidad y uniformidad a lo largo de la soldadura. Sin poros, sin fisuras.
Cordón de soldadura simple		El cordón de Soldadura no presenta poros ni fisuras.

En la tabla 3.8 se muestran el resumen de la inspección visual de los dos cordones de soldadura en las juntas.

Tabla 3.8 Resumen de la inspección visual de las juntas soldadas.

Probetas	Discontinuidades presentes		Tipo de discontinuidad
	Cara	Raíz	
Cordón simple	NO	NO	NA
Cordón doble	NO	NO	NA

3.2.3 Ensayo de tracción

En la tabla 3.9 se muestran las probetas con su respectiva identificación para realizar el ensayo de tracción según la norma ASME IX donde se tiene dos probetas de cada junta soldada, en total 4 probetas y 2 probetas más del material base y en el ANEXO IV se encuentra el informe del ensayo de tracción.

Tabla 3.9 Identificación de las muestras de cada probeta.

Identidad de la probeta	Identidad del LAEV	Características de las probetas
T1.1	M21.089.01	Muestra 1: Junta soldada con cordón simple.
T1.2	M21.089.02	Muestra 2: Junta soldada con cordón simple.
T2.1	M21.089.03	Muestra 3: Junta soldada con doble cordón de soldadura.
T2.2	M21.089.04	Muestra 4: Junta soldada con doble cordón de soldadura.
MB1	M21.089.05	Muestra 5: Material base
MB2	M21.089.06	Muestra 6: Material base

En la figura 3.9 se muestra la probeta T1.1 con un solo cordón de soldadura maquinada según la norma ASTM E8 y la falla que se obtiene tras el ensayo de tracción.



Figura 3.9 Probeta con cordón de soldadura simple después del ensayo de tracción.

En la figura 3.10 se muestra la segunda probeta T1.2 con un cordón de soldadura simple maquinada según la norma ASTM E8 y se muestra la falla que se obtiene después del ensayo.



Figura 3.10 Probeta con cordón de soldadura simple después del ensayo de tracción.

En la figura 3.11 se muestra la primera probeta T2.1 con cordón de soldadura doble maquinada según la norma ASTM E8 y se muestra la falla después del ensayo.



Figura 3.11 Probeta T2.1 con cordón de soldadura doble después del ensayo de tracción.

En la figura 3.12 se muestra la segunda probeta T2.2 con cordón de soldadura doble maquinada según la norma ASTM E8 y se muestra la falla que se obtiene después del ensayo de tracción.



Figura 3.12 Probeta T2.2 con cordón de soldadura doble después del ensayo de tracción.

En la figura 3.13 se muestra la probeta MB1 del material base maquinada según la norma ASTM E8 y se muestra la falla que se obtiene después del ensayo de tracción.



Figura 3.13 Probeta MB1 del material base después del ensayo de tracción.

En la figura 3.14 se muestra la probeta MB2 del material base maquinada según la norma ASTM E8 y se muestra la falla que se obtiene después del ensayo de tracción.



Figura 3.14 Probeta MB2 del material base después de aplicar el ensayo de tracción.

3.2.3.1 Resumen del ensayo de tracción

En las tablas 3.10 y 3.11 se detallan los resultados del ensayo de tracción otorgados por el informe del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones.

Tabla 3.10 Resultados del ensayo de tracción de las juntas soldadas.

ID. Probeta	ID. LAEV	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga Máxima Registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
		mm	mm	Lbf	N	Ksi	Mpa	
T1.1	M21.089.01	12,70	3,08	3812	16957	62,9	433,5	FMB
T1.2	M21.089.02	12,56	3,03	1894	8427	32,1	221,4	FJS
T2.1	M21.089.03	12,32	3,13	4044	17991	67,7	466,5	FMB
T2.2	M21.089.04	12,31	3,02	4071	18110	70,1	487,1	FMB

FMB: Falla en el material base.

FJS: Falla en la junta soldada.

Tabla 3.11 Resultados del ensayo de tracción del material base.

ID. Probeta	ID. LAEV	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga Máxima Registrada		Resistencia a la tracción		%E 50mm
		mm	mm	Lbf	N	Ksi	Mpa	
MB1	M21.089.05	12,54	2,97	3725	16568	43,3	298,6	29,6
MB2	M21.089.06	12,57	3,02	3720	16547	41,4	285,7	32,2

En la gráfica 3.1 se encuentran las resistencias a la tracción de las probetas soldadas y una línea roja que hace referencia a la resistencia del material base.

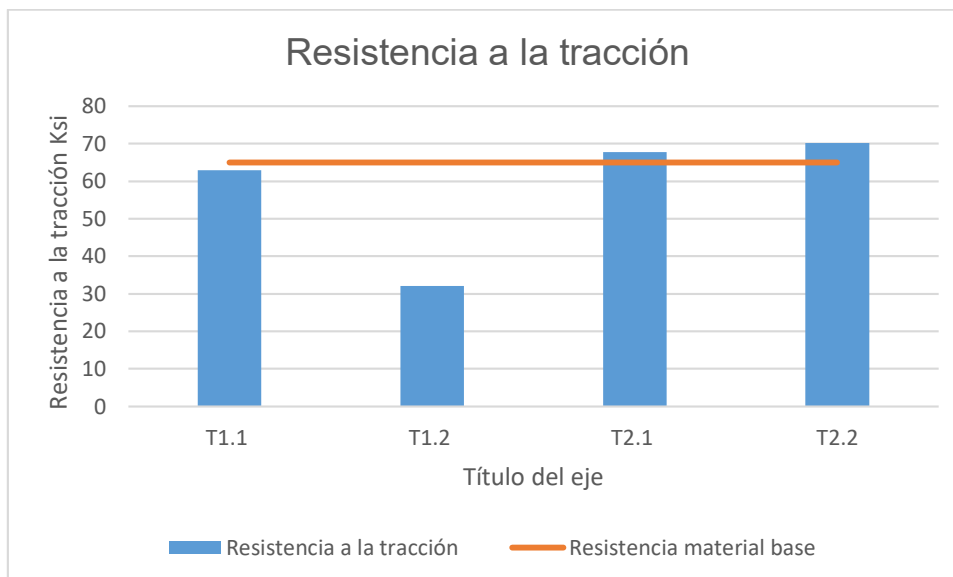


Gráfico 3.1 Resultados de los ensayos de tracción en las probetas.

3.2.4 Macrografía

Las probetas para el ensayo de macrografía con su respectiva identificación, se consideraron en un número de cuatro, dos probetas de cada junta soldada, se muestran en la tabla 3.12; los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 3.12 Identificación de las probetas para macrografía.

Identidad de la probeta	Características de las probetas
1.1	Muestra 1: Junta soldada con cordón simple.
1.2	Muestra 2: Junta soldada con cordón simple.
2.1	Muestra 3: Junta soldada con doble cordón de soldadura.
2.2	Muestra 4: Junta soldada con doble cordón de soldadura.

La figura 3.15 muestra la macrografía de la probeta 1.1 con magnificación de 4x donde la longitud del cordón de soldadura simple es 7,5mm.

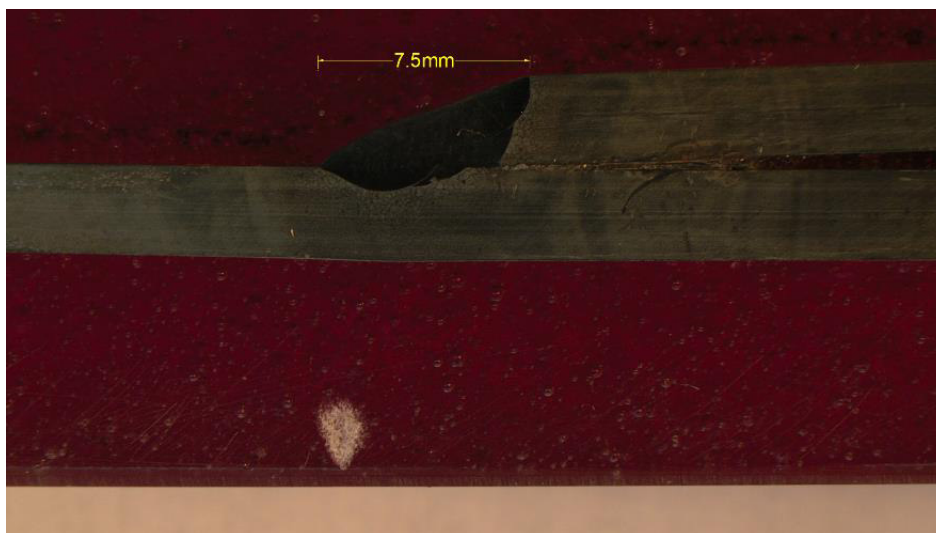


Figura 3.15 Macrografía con aumento 4x de la probeta 1.1.

La figura 3.16 muestra la macrografía de la probeta 1.1 con magnificación de 10x donde se pueden notar las siguientes características: La ZAC en la junta soldada tiene aproximadamente de 1.7mm.

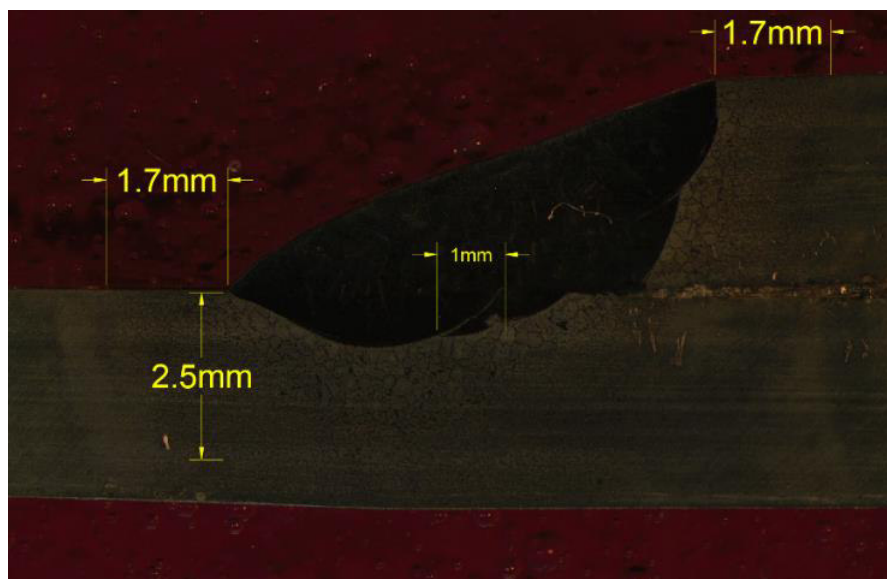


Figura 3.16 Macrografía con aumento 10x de la probeta 1.1.

La figura 3.17 muestra la macrografía de la probeta 1.2 con aumento de 4x de la segunda probeta con cordón de soldadura simple donde su longitud es 7mm.



Figura 3.17 Macrografía con aumento 4x de la probeta 1.2.

En la figura 3.18 se muestra la macrografía de la probeta 1.2 la ZAC cuya medida es aproximadamente de 1.5mm.

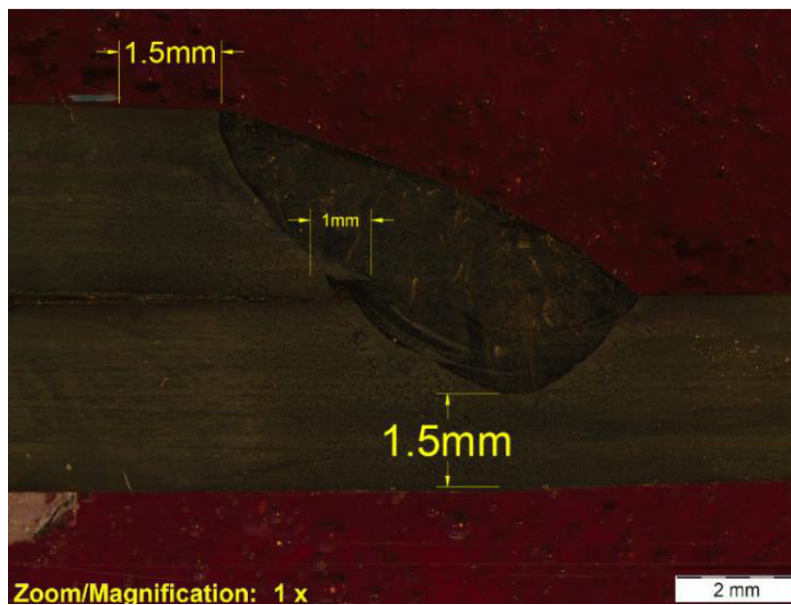


Figura 3.18 Macrografía con aumento de 10x de la probeta 1.2.

En la figura 3.19 se muestra la primera probeta 2.1 de juntas soldadas con doble cordón de soldadura cuya dimensión es: cordón del lado izquierdo 6mm y el cordón del lado derecho 7,5 mm.

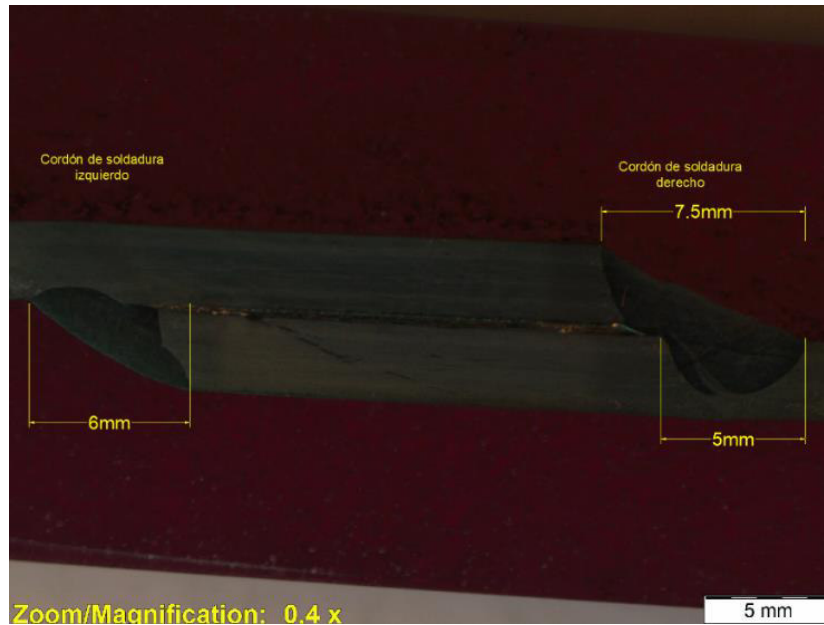


Figura 3.19 Macrografía con aumento 4x de la probeta 2.1.

En la figura 3.20 se muestra la probeta 2.1, cordón izquierdo de la junta soldada, con una zona afectada por el calor pequeña de 1.5mm.

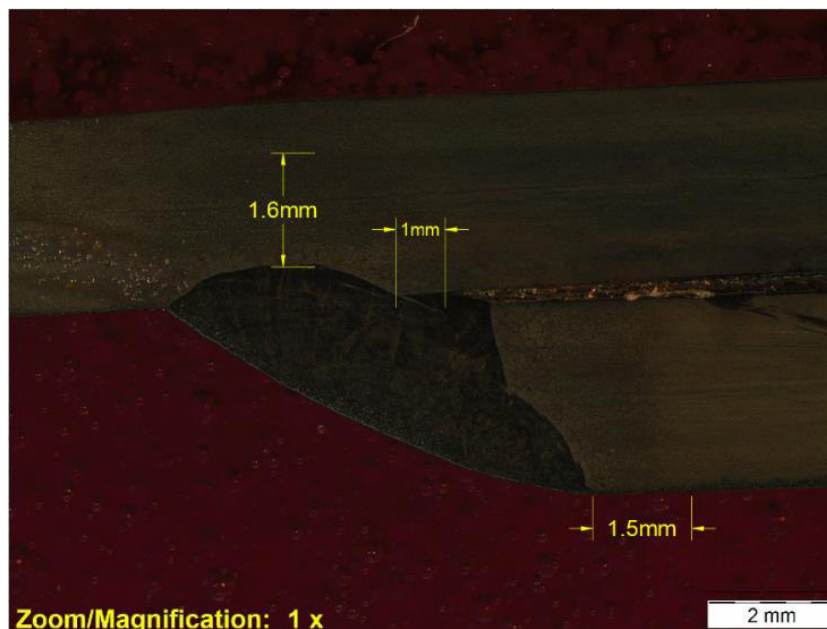


Figura 3.20 Macrografía con aumento de 10x del cordón izquierdo de la probeta 2.1.

En la figura 3.21 se muestra la probeta 2.1, el cordón de soldadura del lado derecho de la junta soldada, presenta una falta de penetración de 1mm.

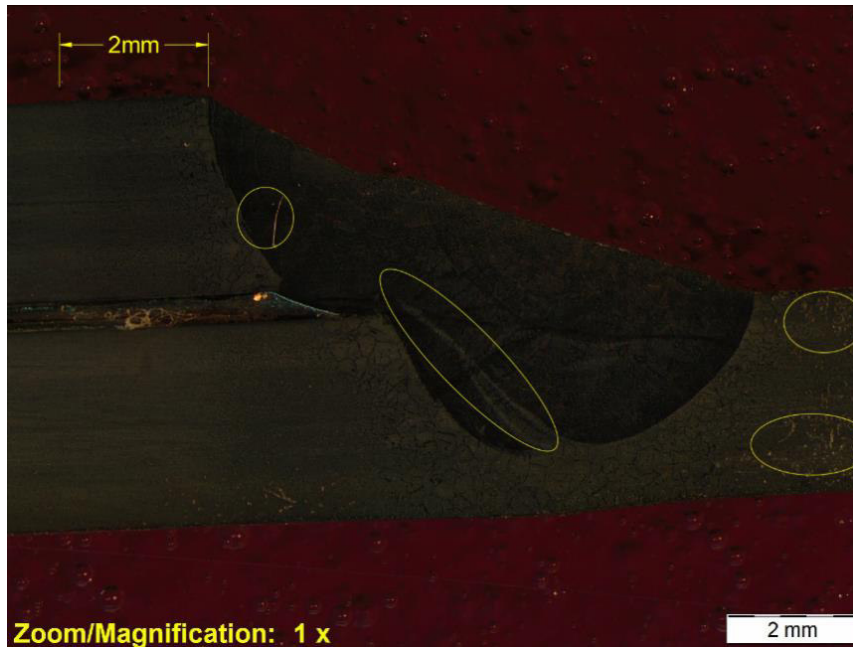


Figura 3.21 Macrografía con aumento 10x de la probeta 2.1 del cordón derecho de la junta.

En la figura 3.22 se muestra la macrografía de la probeta 2.2 con aumento 4x, se observa la segunda junta soldada a solape con doble cordón de soldadura, el cordón derecho mide 6,5mm y el cordón derecho mide 6mm aproximadamente.

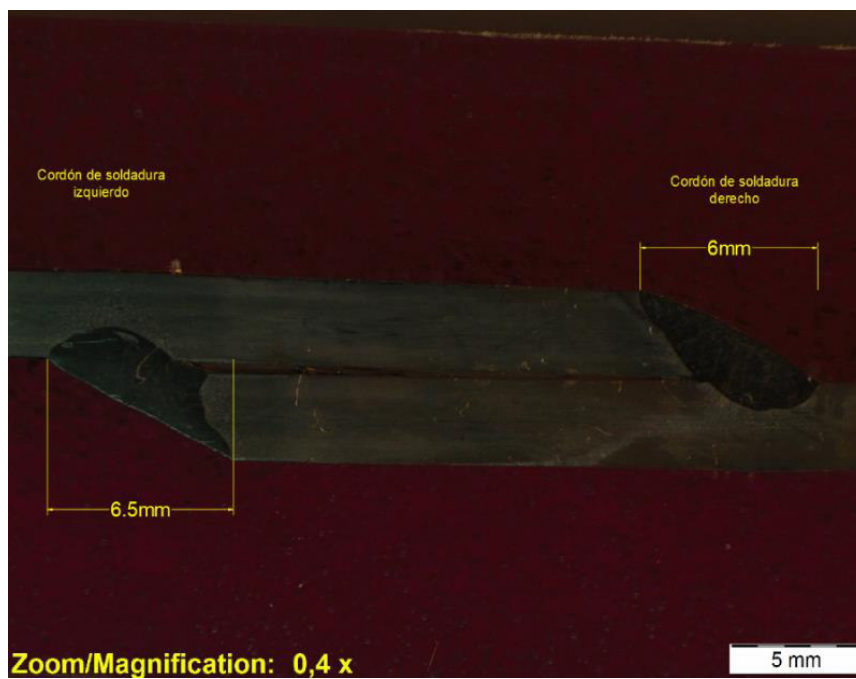


Figura 3.22 Macrografía con aumento 4x de la probeta 2.2.

En la figura 3.23 se muestra la macrografía del cordón de lado izquierdo de la probeta 2.2 cuya ZAC mide 1.5mm.

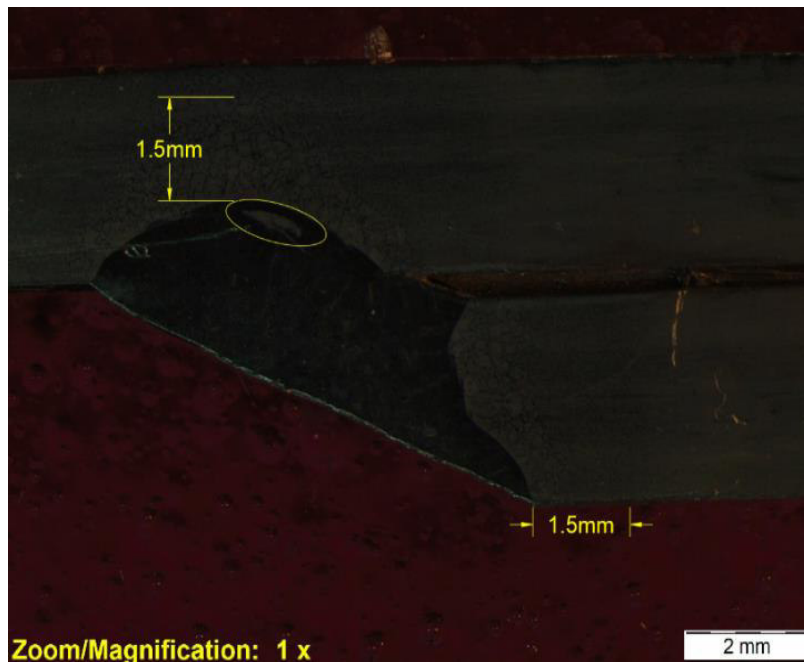


Figura 3.23 Macrografía con aumento 10x de la probeta 2.2 del cordón izquierdo de la junta.

En la figura 3.24 se muestra la macrografía del cordón del lado derecho de la probeta 2.2, cuya zona afectada por el calor es de 1,5mm.

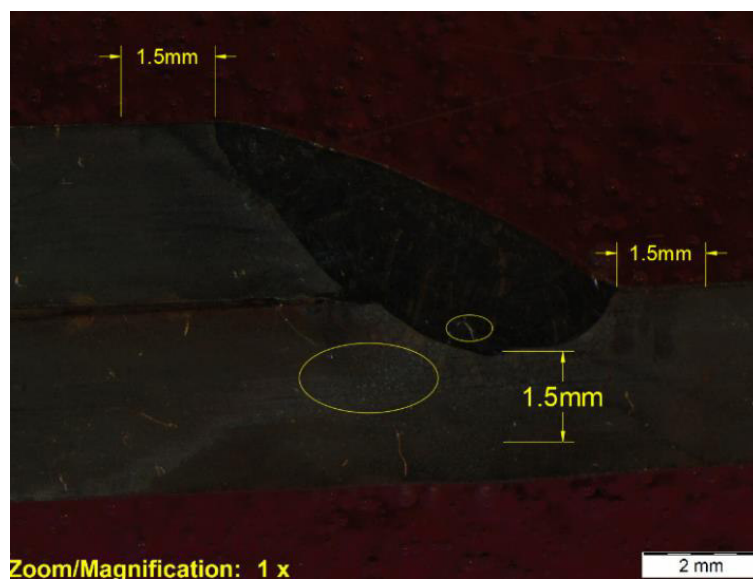


Figura 3.24 Macrografía con aumento 1x de la probeta 2.2 del cordón del lado derecho de la junta soldada.

3.2.5 Micrografía


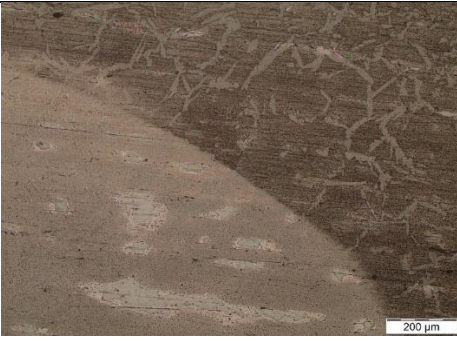
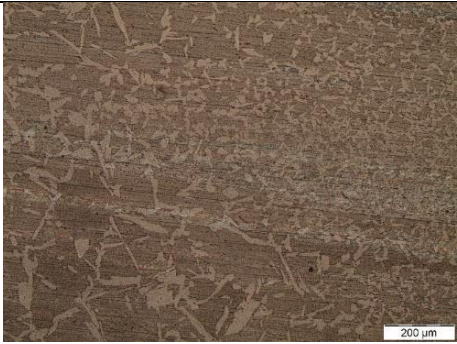
Las probetas para el ensayo de micrografía con sus respectivas nomenclaturas para poder identificarlas son dos, una de cada junta soldada a traslape con cordón simple y cordón

doble de soldadura respectivamente, se muestran en la tabla 3.13; los resultados obtenidos se muestran en las tablas 3.14 y 3.15, se realizaron siete fotografías en diferentes puntos y con dos tipos de aumento 100x y 500x, que muestran la microestructura de la ZAC, la interface Cordón ZAC y el material base.

Tabla 3.13 Identificación de las probetas para micrografías.

Identidad de la probeta	Características de las probetas
1.1	Muestra 1: Junta soldada con cordón simple.
2.1	Muestra 3: Junta soldada con doble cordón de soldadura.

Tabla 3.14 Micrografías de la probeta 1.1 con un solo cordón de soldadura.

100x		<p>Punto 1 Micrografía de la interface Cordón-ZAC.</p>
100x		<p>Punto 2 Micrografía de la interface cordón-ZAC.</p>
100x		<p>Punto 3 ZAC</p>



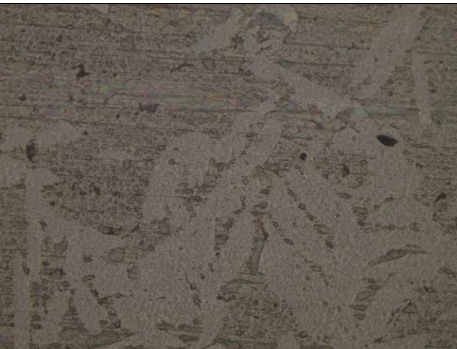


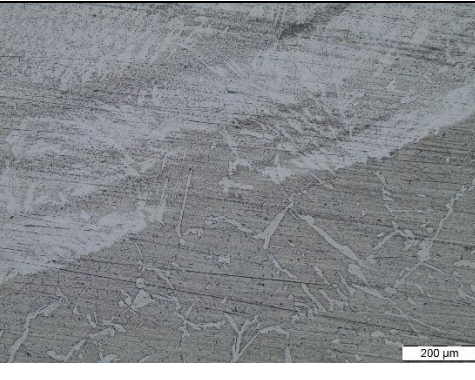
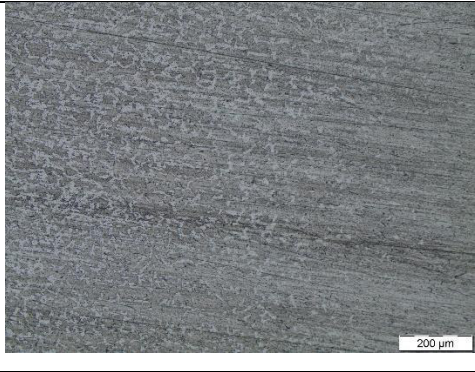
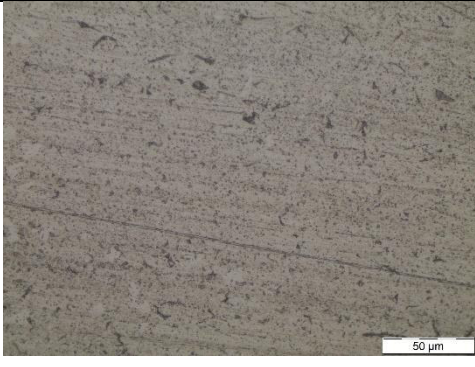
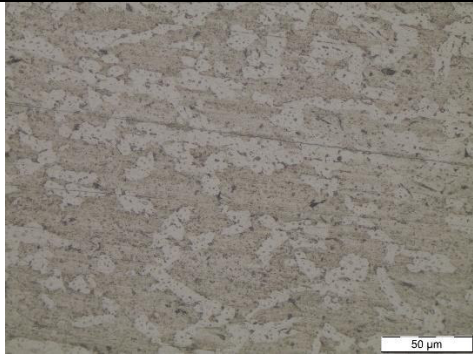
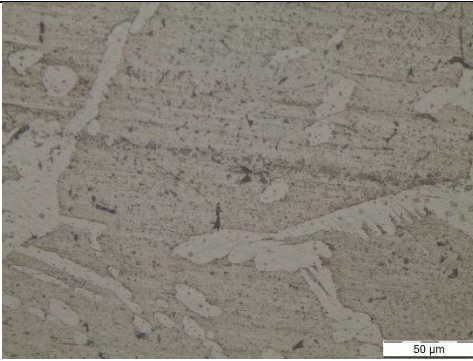
100x		<p>Punto 4 Material base</p>
500x		<p>Punto 5 ZAC</p>
500x		<p>Punto 6 ZAC</p>
500x		<p>Punto 7 Cordón de soldadura</p>

Tabla 3.15 Micrografía de la probeta 2.1, junta soldada con doble cordón de soldadura.

<p style="text-align: center;">100x</p>		<p style="text-align: center;">Punto 1 Cordón de soldadura</p>
<p style="text-align: center;">100x</p>		<p style="text-align: center;">Punto 2 Interface cordón-ZAC</p>
<p style="text-align: center;">100x</p>		<p style="text-align: center;">Punto 3 Interfase ZAC-Material base</p>
<p style="text-align: center;">500x</p>		<p style="text-align: center;">Punto 4 Cordón de soldadura</p>

500x		Punto 5 ZAC-Fina
500x		Punto 6 ZAC- Gruesa

3.3 Análisis de resultados

Se analizan los resultados de la temperatura durante la soldadura, los ensayos de: tracción, inspección visual y las metalografías de cada probeta.

3.3.1 Análisis de la temperatura en la junta soldada.

Se realiza el análisis para la junta soldada 1 con un solo cordón de soldadura, que se utilizó para la toma de datos de temperatura, con un precalentamiento de 200 °C y los resultados de la temperatura están entre [80-705]°C (tabla 3.5 y 3.6), las cuales se encuentran dentro del rango de las pruebas de temperatura del acero inoxidable AISI 430 que varía entre [80-1038]°C (tabla 1.1, propiedades del acero AISI 430), por lo tanto, los datos de este componente son aceptables.

3.3.2 Probeta 1.1

En la inspección visual, la junta soldada 1 con un cordón simple la cual provee las probetas 1.1 y 1.2, presenta un cordón con penetración completa y sin fisuras, por lo cual está dentro de los criterios según la norma ASME IX.

En el ensayo de tracción de la probeta T1.1 se produce la falla en el material base, con una resistencia a la tracción de 62.9 Ksi, siendo un valor menor, muy cercano a la resistencia del material base de 65 Ksi, resultado que no cumple con los requerimientos según el apartado 3.1.2.2.

De acuerdo a la macrografía con aumento 4x presenta el tamaño del cordón de soldadura de 7.5mm y la macrografía con aumento de 10x del cordón de soldadura muestran una fisura de 1mm, se puede apreciar que en la ZAC los granos de mayor de tamaño se encuentran en la frontera del cordón y van disminuyendo a medida que se acercan al material base.

Las micrografías del metal base muestran una microestructura ferrítica de grano fino; en la zona de fusión se observa austenita de grano fino; en la ZAC se observa martensita intragranular de grano grueso que disminuyen su tamaño a medida que se acerca al material base, debido a la engería entregada durante el proceso de soldadura. En el aumento 500x se puede apreciar que se forma martensita intergranular por la austenita a elevadas temperaturas.

3.3.3 Probeta 1.2

Según la inspección visual de la probeta 1.1 de la junta 1 con un cordón simple, el resultado es aceptable al no presentar ni fisuras ni falta de penetración según los criterios establecidos por la norma ASME IX.

Según el ensayo de tracción de la probeta T1.2 se produce la falla en la junta soldada, con una resistencia a la tracción de 32.1 Ksi, a diferencia de la resistencia del material base de 65 Ksi, por lo que no cumple con los criterios de aceptación del apartado 3.1.2.2.

Las macrografías muestran que en la zona fundida hay una falta de penetración, al igual que en la probeta 1.1 los granos alrededor del cordón son de mayor tamaño y al disminuir el tamaño significa que se termina la ZAC y empieza el material base.

3.3.4 Probeta 2.1

En la inspección visual, la junta soldada con cordón doble, donde se obtienen las probetas 2.1 y 2.2, presenta un cordón con falta de penetración, por lo cual cumple con los criterios según la norma ASME IX

El ensayo de tracción muestra que la probeta T2.1 se factura en el material base con una tracción de 67.7 Ksi, el cual es un valor mayor a la resistencia del material base que es 65ksi, por lo que de acuerdo a los criterios de aceptación si es aceptable según el apartado 3.1.2.2.

Las macrografías detallan los dos cordones de soldadura en la junta soldada, el cordón izquierdo muestra que zona de fusión se encuentra una fisura de aproximadamente de 1mm. Como la ZAC es pequeña, los granos alrededor del cordón también disminuyen su tamaño a comparación de las juntas con cordón de soldadura simple, en esta zona se

puede apreciar por el aumento de la imagen 1x que existe porosidad solo en un sector de la ZAC. El cordón derecho muestra la ZAC mide alrededor de 2mm aproximadamente. Y el tamaño de grano es mayor que el cordón del lado izquierdo.

En las micrografías se puede apreciar la fase ferrítica uniforme en el material base y en comparación con la probeta 1.1 con cordón simple su crecimiento de grano es menor. Se observa la formación de martensita.

3.3.5 Probeta 2.2

En la inspección visual la probeta 2.1 de la junta soldada 2. El ensayo de tracción muestra que esta probeta se factura en el material base bajo un esfuerzo de 67.7 Ksi, valor mayor a la resistencia del material base 65 Ksi, de acuerdo a los criterios del apartado 3.1.2.2 si es aceptable.

La macrografía del cordón del lado izquierdo muestra que existe una fisura de 3,5 mm entre el cordón y la ZAC. Se puede apreciar una falta de fusión en ciertas partes del cordón de soldadura, adicional también se observa la ZAC gruesa y fina, cuyos granos presentan tamaños variables. La macrografía del cordón derecho muestra que existe una penetración completa, no posee fisuras, este cordón muestra una ZAC con porosidad cuyo tamaño de grano es menor en comparación con el cordón del lado izquierdo. De acuerdo con los resultados la probeta no es aceptable.

Después del análisis de cada probeta se presenta en la tabla 3.16 el resumen de la calificación de los resultados de la inspección visual, los ensayos de tracción y afectación al material producido por la soldadura.

Tabla 3.16 Calificación de los resultados de la inspección visual, ensayo de tracción y afectación al material.

Probetas	Cordones	Inspección Visual		Ensayo de tracción (Alta)			Afectación al material (Metalografía)		
		Tipo de discontinuidades	Cumplimiento de la norma AWS D1.6	Esfuerzo de tracción [Ksi]	Esfuerzo del material base [Ksi]	Cumplimiento de la Norma ASME IX	ZAC [mm]	Discontinuidades	Cumplimiento de la norma AWS D1.6
Cordón simple	1.1 Centro	NA	Sí cumple	62,9	65	No cumple	1,7	Fisura < 1mm	Sí
	1.2 Centro			32,1		No cumple	1,5	Falta de penetración <1mm	Sí
Cordón doble	2.1 Izquierdo	NA	Sí cumple	67,7		Sí cumple	1,5	Falta de penetración <1mm	Sí
	2.1 Derecho			2		Falta de Fusión, Fisura	Sí		
	2.2 Izquierdo			70,1	Sí cumple	1,5	Sovacado < 1mm	Sí	
	2.2 Derecho					1,5	Porosidad	Sí	

3.4 Conclusiones

El componente del trabajo de integración curricular, caracterización de juntas soldadas en solape por GTAW de acero inoxidable ferrítico AISI 430, por medio de ensayos normalizados, fue alcanzado con éxito, pues mediante el cumplimiento de los objetivos específicos se logró analizar la composición química del material base y el material de aporte, también se caracterizó el comportamiento de las juntas soldadura en traslape.

Para extraer las muestras para el análisis metalográfico de las juntas soldadas a traslape, se concluye que no se debe usar oxicorte para no afectar la estructura y propiedades de la ZAC, la mejor opción de corte es por aserrado.

Lo novedoso de este componente del trabajo de integración curricular fue caracterizar las juntas soldadas en traslape de acero inoxidable, ya que no se encuentra información amplia y concisa sobre este tipo de método de soldadura y a su vez fue la fuente principal de datos experimentales para el segundo componente de este Trabajo de Integración Curricular: SIMULACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS A TRASLAPE POR GTAW DE ACERO INOXIDABLE AISI 430, y así poder comparar y hallar el porcentaje de error entre lo experimental y la simulación.

3.5 Recomendaciones

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda realizar en un proyecto de integración curricular a futuro, el análisis de soldabilidad mediante el ensayo houldcroft del acero inoxidable ferrítico AISI 430, en juntas soldadas en traslape en placas de 3mm de espesor por GTAW.

Las probetas para el ensayo de tracción se mecanizaron de acuerdo a la norma ASTM E8, sin embargo, en la práctica se recomienda que la longitud de la probeta debe tener una mayor longitud para permitir un agarre correcto en las mordazas de la máquina universal de ensayos de la FIM.

Para que los resultados sean más precisos, al momento de realizar la comparación de temperaturas con la simulación se debe tener especial cuidado en los métodos experimentales de mediciones de temperatura y tiempo de realización de los cordones de soldadura. Es imperativo la disposición equipos de tecnología avanzada, debido a que el porcentaje de error dependen de estos factores.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. S.A., Manual de sistemas y materiales de soldadura, Chile: Ograma, 2007.
- [2] Ulbrinox, «Ulbrinox,» 24 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.ulbrinox.com.mx/blog/que-son-los-aceros-inoxidables-1..>
- [3] W. D. C. y. D. G. Rethwisch, Ciencia e Ingeniería de Materiales, Introducción 9ª Edición WILEY, 2013.
- [4] J. L. y. D. KOTECKI, Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel, New Jersey-USA: Wiley-Interscience, 2005.
- [5] S. LAUFGANG, Aceros Inoxidables, Termo Soldex S.A., 2003.
- [6] Outokumpu, Handbook of Stainless Steel, Chile, 2010, pp. 1-89.
- [7] H. A. C. y. P. R. Ospina López, Soldabilidad en aceros inoxidables y aceros disimiles, 2007.
- [8] A. D. AWS, «Structural Welding Code,» *Miami: Stainless Steel*, 2007.
- [9] M. B. y. A. Casaroli, Stainless steels, Italia: Lucefin S.p.A, 2014, pp. 39-53.
- [10] A. L., «Propiedades y Soldabilidad de Aceros Inoxidables,» *Lincoln Electric*, 2012.
- [11] M. N. E. y. H. J. Ibarra, «Manual Aceros Inoxidables,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Aceros%20Inoxidables?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2Fd7a1a8fe99fe4b6a9fbed6412df7e93c.pdf>.
- [12] A. E. Y. P. F., SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES Y TIPOS DE JUNTAS., CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C. : INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR , 2003 .
- [13] I. S.A., Manual Aceros Inoxidables, Chile, 2010, pp. 1-89.
- [14] A. AWS, Specification for Bare Stainless-Steel Electrodes and Rods., ANS, 2017.

- [15] A. IX, QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING, BRAZING, AND FUSING OPERATORS, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2021.
- [16] A. A. S. H. a. T. O. Standard, «ASTM E8,» de *Standard test methods for Tension Testing of Metallic Materials*, Unites States, 2013.
- [17] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.
- [18] D. Ferreira, «Determinación de tensiones residuales y deformaciones resultantes en un proceso de,» *Universidade Nova de Lisboa*, 2012.
- [19] METALIUM, «Acero Inoxidable,» 2020. [En línea]. Available: <https://metalium.mx/acero-inoxidable/aceroinoxidable-aisi-430>.
- [20] A. AWS, Specification for Tungsten and Electrodes for Arc Welding and Cutting Oxide Dispersed, ANSI, 2009.
- [21] A. AWS, Specification for Tungsten and Tungsten Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting, ANSI, 2015.
- [22] J. Pozo-Morejón, ««metodología de modelación mediante ANSYS de la historia térmica, tensiones y deformaciones de soldadura.» *Revista de la facultad de ingeniería*, vol. 24, nº 2, pp. 13-26, 2009.
- [23] A. A. ASTM, «Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and fo General Applications,» *ASTM International*, 2004.
- [24] A. D. AWS, «Structural Welding Code,» *Miami:Stainless Steel*, 2007.
- [25] O. S. y. L. Huilca, «Espectroscopía por chispa,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2021.

5. ANEXOS

ANEXO I

INFORME DE ESPECTROSCOPIA POR CHISPA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE MATERIALES

LABORATORIO DE FUNDICIÓN

INFORME TÉCNICO



Solicitado por: Ing. Willan Monar Msc

Tipo de Trabajo: Espectrometría por chispa

Fecha: 22 de noviembre del 2021

Realizado por: Ing. Oscar Sotomayor/Ing. Luis G. Huilca

Descripción: Muestra de material metálico


1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional una probeta de material metálico.

Se solicita realizar la prueba de espectroscopía por chispa con la finalidad de determinar los componentes presentes en la muestra entregada.

2. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA.

La probeta para el análisis correspondiente es identificada como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación de la probeta	Identificación Gráfica
MUESTRAS METÁLICAS	M1	

3. ANTECEDENTES TÉCNICOS

3.1. Limpieza Superficial: Según norma ASTM E415 – 17 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry

3.2. Métodos utilizado:

Fe 130 Cr/Ni Steels

4. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se tomaron 3 mediciones en un punto del espécimen y finalmente se promediaron los valores.

Elemento	M1		
	Medias [%]	Desviación Estándar [%]	Intervalo de confianza (95%)
Carbono [C]	0,062	0,032	0,062 ± 0,0367
Silicio [Si]	0,281	0,044	0,281 ± 0,0504
Manganeso [Mn]	0,301	0,0038	0,301 ± 0,0044
Fósforo [P]	0,021	0,0010	0,021 ± 0,0011
Cromo [Cr]	16,22	0,055	16,22±0,0630
Níquel [Ni]	0,130	0,147	0,130 ± 0,1685
Cobalto [Co]	0,025	0,015	0,025 ± 0,0172
Vanadio [V]	0,048	0,019	0,048 ± 0,0218
Hierro [Fe]	82,89	0,232	82,89±0,2659
TOTAL	99,98		



Ing. Luis G. Huilca

Técnico Responsable



Ing. Oscar Sotomayor

Jefe del Laboratorio de Fundición



Con la finalidad de mejorar nuestros servicios, solicitamos de la manera más comedida se llene la encuesta mediante la captura del código QR adjunto, agradecemos su colaboración.

Bruker Analysis Report





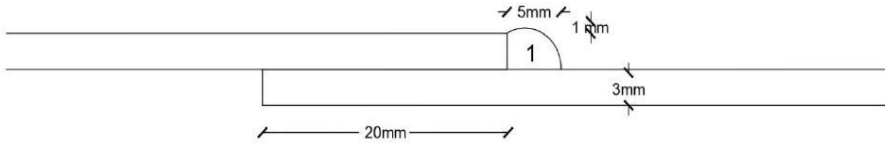
Sample: M1

Analysis Time: 19.11.2021 09:46:14

Method: Fe130

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,062	0,281	0,301	0,021	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	16,22	<0,0100	0,130	<0,0050	0,0052
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	Fe [%]
∅	0,025	<0,0100	0,0069	0,048	82,89

ANEXO II. WPS de un cordón y doble cordón de soldadura respectivamente.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE MATERIALES LABORATORIO DE SOLDADURA							
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Nombre Compañía: EPN PQR No.: 01 Según norma: AWS D1.6		WPS No. 01 Fecha: 18/11/2021 Realizado por: Constantine Habana Organización: Escuela Politécnica Nacional						
ARTICULO I. JUNTA UTILIZADA		ARTICULO V. POSICIÓN DE SOLDADURA						
Tipo de Junta:	Junta en Solape	Posición de Soldadura: 2F						
Abertura raíz:	N/A	Progresión: Lineal						
Talón:	N/A	Técnica:						
Angulo de ranura:	N/A	Un pase: <input checked="" type="checkbox"/>						
Placa de respaldo:	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Varios pases: <input type="checkbox"/>						
Preparar bisel:	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>							
ARTICULO II. METAL BASE		ARTICULO VI. PRECALENTAMIENTO						
Especificación:	Inox AISI 430	Temperatura: 200 °C						
Espesor:	3 mm							
Dimensión:	300*180*3							
ARTICULO III. METAL DE APORTE		ARTICULO VII. TECNICA DE SOLDADURA						
Proceso:	GTAW	Soldadura de:						
Diámetro:	1,6 mm	Proceso de soldadura:						
Denominación AWS:	ER308-L	Tipo de soldadura:						
Marca:	AGA	Arco						
Denominación comercial:	308-L	GTAW (TIG)						
		Manual <input checked="" type="checkbox"/>						
		Semiautomática <input type="checkbox"/>						
		Automática <input type="checkbox"/>						
		Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>						
		Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>						
		Soldadura a:						
		Cordón de respaldo:						
		Pase múltiples o simples (por lado)						
		Electrodos Múltiples o únicos						
		Cordón Recto u Oscilante:						
		Limpieza						
		Primer paso y siguientes:						
		Simple						
		Único						
		Oscilante						
		Cepillo metálico						
		Sí						
ARTICULO IV. GAS DE PROTECCIÓN		ARTICULO VIII. NOTAS						
Tipo:	Ar 100%	Verificar limpieza de la junta						
Caudal:	2 lt-min							
Detalle de la Junta								
								
ARTICULO IX. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACION								
No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm).	Tipo y polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	ER 308-L	1,6	DC-	114	13,5	5	X	



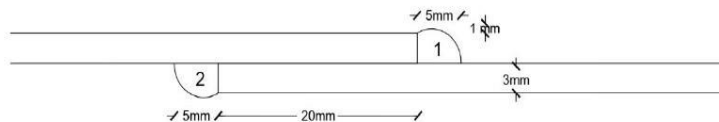
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: 01 Según norma: AWS D1.6		WPS No. 01 Fecha: 18/11/2021 Realizado por: Constantine Habana Organización: Escuela Politécnica Nacional	
ARTICULO I. JUNTA UTILIZADA		ARTICULO V. POSICIÓN DE SOLDADURA	
Tipo de Junta:	Junta en Solape	Posición de Soldadura:	2F
Abertura raíz:	N/A	Progresión: Lineal	
Talón:	N/A	Técnica:	Un pase: <input type="checkbox"/> Varios pases: <input checked="" type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	N/A	ARTICULO VI. PRECALENTAMIENTO	
Placa de respaldo:	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura:	200°C
Preparar bisel:	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	ARTICULO II. METAL BASE	
ARTICULO III. METAL DE APORTE		ARTICULO VII. TECNICA DE SOLDADURA	
Especificación:	Inox AISI 430	Soldadura de:	Arco
Espesor:	3 mm	Proceso de soldadura:	GTAW (TIG)
Dimensión:	300*180*3	Tipo de soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/>
Proceso:	GTAW	Soldadura a:	Un lado <input type="checkbox"/> Dos lados <input checked="" type="checkbox"/>
Diámetro:	1,6 mm	Cordón de respaldo:	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
Denominación AWS:	ER308-L	Pase múltiples o simples (por lado)	Simple
Marca:	AGA	Electrodos Múltiples o únicos	Único
Denominación comercial:	308-L	Cordón Recto u Oscilante:	Oscilante
ARTICULO IV. GAS DE PROTECCIÓN		Limpieza	Cepillo metálico
Tipo:	Ar 100%	Primer paso y siguientes:	Si
Caudal:	2 lt-min	ARTICULO VIII. NOTAS	
		Verificar limpieza de la junta	

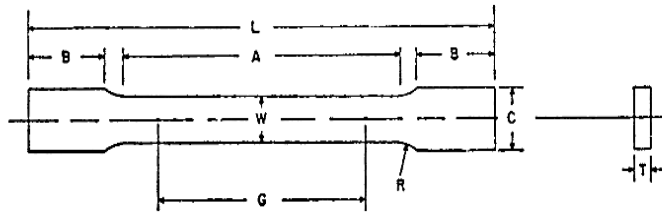
Detalle de la Junta



ARTICULO IX. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN

No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm).	Tipo y polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	ER 308-L	1,6	DC-	119	13,5	5	X	
2	ER 308-L	1,6	DC-	114	15,6	6,5	X	

ANEXO III. NORMA ASTM E8



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

NOTE 1—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 25 mm [1 in.] apart, or one or more pairs of punch marks 200 mm [8 in.] apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 40 mm [1.500 in.] wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 75 mm [2.25 in.] may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.10, 0.05 or 0.02 mm [0.004, 0.002 or 0.001 in.], respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 40 mm [1.500 in.] wide specimens shall be 5 mm [0.188 in.]. Maximum thickness of 12.5 and 6 mm [0.500 and 0.250 in.] wide specimens shall be 19 and 6 mm [0.750 and 0.250 in.], respectively.

NOTE 6—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, a 13 mm [0.500 in.] minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 690 MPa [100 000 psi] in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions A and B, see Note 9.

NOTE 8—To aid in obtaining axial force application during testing of 6-mm [0.250-in.] wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 200 mm [8.00 in.].

NOTE 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 12.5 mm [0.500-in.] wide specimens is over 10 mm [0.375 in.], longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 2.5, 1.25 and 0.13 mm [0.10, 0.05 and 0.005 in.], respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the 12.5 mm [0.500 in.] wide specimen shall be symmetrical within 0.2 mm [0.01 in.].

NOTE 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm [0.05 in.], and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 2.5 mm [0.10 in.].

NOTE 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2 W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

ANEXO IV. INFORME DEL ENSAYO DE TRACCIÓN.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

INFORME TÉCNICO

LAEV – M21.089

Quito, 30 de noviembre de 2021

Solicitado por: M.Sc. Willan Monar
Persona de contacto: Habana Constantine, Diego Tapia
Teléfono: 0992838658
Correo: diego.tapia@epn.edu.ec
Fecha de recepción: 24/11/2021
Fecha de ejecución: 26/11/2021

ORDEN DE TRABAJO N°: DM-OTI0134-2021

1. **MUESTRAS:** Cuatro (4) probetas de juntas soldadas y dos (2) probetas planas de material base para ensayo de tracción.

2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: SIMULACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN SOLAPE POR TIG EN PLACAS PLANAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 410 MEDIANTE SOFTWARE ANSYS

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras

Id. cliente	Id. LAEV
T1.1-T1.2 (juntas soldadas)	M21.089.01 - M21.089.02
T2.1-T2.2 (juntas soldadas)	M21.089.03 - M21.089.04
MB1-MB2 (material base)	M21.089.05 - M21.089.06

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $19,4 \pm 0,9$ °C

Humedad relativa: $62,2 \pm 2,2$ %

4. ENSAYO DE TRACCIÓN EN JUNTAS SOLDADAS

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 2. Ensayo de tracción.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.089.01	12,70	3,08	3 812	16 957	62,9	433,5	FMB
M21.089.02	12,56	3,03	1 894	8 427	32,1	221,4	FJS
M21.089.03	12,32	3,13	4 044	17 991	67,7	466,5	FMB
M21.089.04	12,31	3,02	4 071	18 110	70,7	487,1	FMB

*FMB= Falla en el material base

*FJS = Falla en la junta soldada


5. ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIAL BASE

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 3. Ensayo de tracción a material base

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
M21.089.05	12,54	2,97	3 725	16 568	43,3	298,6	64,5	444,9	29,6
M21.089.06	12,57	3,02	3 720	16 547	41,4	285,7	63,2	435,9	32,2

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:	 <p>Firmado electrónicamente por: JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELO</p>	<p>WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO</p> <p>Firmado digitalmente por WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Fecha: 2021.11.29 16:42:31 -05'00'</p>
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABORATORIO	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

ANEXO V. COTIZACION DEL ANÁLISIS METALGRÁFICOS.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE MATERIALES LABORATORIO DE METALGRAFÍA, DESGASTE Y FALLA RUC: 1760005620001 - Tel.: (593 - 2) 2 976 300 Ext. 3010/3011 E-mail: metalgrafia@epn.edu.ec		
	RG-LMDF-0302	PROFORMA DE SERVICIOS	Revisión 001

Empresa o Institución:	EPN / M.Sc. Wilian Leopoldo Monar Monar	Cot. N°	61	00011	
Contacto:	Habana Nicole Constantine Franco / Diego Jose Tapia Reinos	CI / RUC	17 21824991	Fecha:	24/11/2021
Email:	diego.tapia@epn.edu.ec / habana.constantine@epn.edu.ec / willian.monar@epn.edu.ec	Ciudad:		Quito-Ecuador	
Teléfono:	09 9 283 86 58	Fax:		Código:	FMI-LMDF-21- 661

ASUNTO: Ensayos complementarios para el desarrollo del proyecto de titulación de la CSMULADON DE JUNTAS SOLDADAS EN SOLAPE PORTIG EN PLACAS PLANAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 410 MEDIANTE SOFTWARE ANSYS. Memorando No. EPN-DMT-2021-2120-M

ÍTEM	ENSAYO PARÁMETRO/SERVICIO	PROCEDIMIENTO/ NORMA DE REFERENCIA/ TÉCNICA	NÚMERO DE ÍTEM DE ENSAYO	HORAS	LABORATORIO	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Corte y Preparación de Probetas de media complejidad / DT-S0933	PROYECTO DE TITULACIÓN/ N/A/ MAQUINA DE CORTE	4	N/A	LMDF	22,34	89,36
4	Macrografía (DT-S0911)	Interno/ ASTM E-340/ E-407/ Microscopio SZX7	4	N/A	LMDF	50,00	\$ 200,00
Subtotal:							\$ 289,36
IVA 12%:							\$ 34,72
VALOR TOTAL:							\$ 324,08
DESCUENTO:							\$ 324,08
VALOR FINAL:							\$ 0,00

Lunes a viernes de 07:00 - 12:00 ; 13:00 - 16:00.
Lunes a viernes de 06:00 - 13:00 ; 14:00 - 17:00.

Área de extracción y preparación de probetas
Área de análisis

Consideraciones adicionales:

A fin de lograr una adecuada realización del trabajo, en la tabla que se presenta a continuación se detallan consideraciones adicionales.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Condiciones de la muestra	Las muestras suministradas deben estar debidamente codificadas para todo cliente. Si parte de la muestra necesita ser enviada a otro laboratorio, el cliente tiene la obligación de coordinar la entrega con el laboratorio respectivo. En los análisis de falla, corrosión y caracterización de material, es obligación del cliente enviar la documentación correspondiente de la muestra como es: ficha técnica del elemento, historial del elemento, tiempo de funcionamiento, condiciones de trabajo, mantenimiento, etc. En ensayos para recubrimientos las muestras no deben venir con filos cortantes, estas deben ser eliminadas de origen para evitar heridas o daños al personal que manipula las muestras. Para clientes internos e investigadores que requieran realizar los análisis de metalografía, las probetas deben venir etiquetadas conforme al código presente en la proforma (Ejemplo: 19-001). Además cumplir los requisitos de la norma ASTM E-3 y para el ensayo de dureza, las probetas deben cumplir los requisitos de la norma ASTM E 18 / ASTM 384 según corresponda y definir los requisitos de ensayo.
Tiempo de permanencia de la muestra	Si el cliente deja una muestra y no efectúa el pago del servicio en 120 horas la muestra será chatarrizada, así como después de realizar el ensayo permanecerá almacenado en el LMDF por 30 días a partir de la fecha de emisión del informe de resultados. Después del plazo establecido, el material sobrante del análisis será desechado sin opción a reclamo. Por este motivo, el cliente deberá retirar las muestras ensayadas antes del plazo establecido.
Método empleado/Normas de Referencia	El ensayo se realizará de acuerdo al método indicado en la oferta y/o especificado por el cliente. En caso de requerir un método específico (norma internacional y/o nacional), se debe facilitar el documento y contactarse con el responsable del laboratorio.

Fecha de entrega de resultados:

Dependiendo de la complejidad del ensayo y de la cantidad de trabajo que disponga el laboratorio, la entrega del informe se realizará en máximo 20 días laborables a partir del pago del servicio (cuenta EPN) y deberá entregar las muestras en las instalaciones del laboratorio "área de análisis" (responsable del laboratorio).

El cliente tiene la obligación de enviar o dejar en secretaría el comprobante de pago para la emisión de la orden de trabajo. El LMDF no realiza ningún ensayo sin orden de trabajo de secretaría (02 976 300 ext. 3711)

En el caso de ser cliente externo, se debe enviar o entregar el Acta de trabajo que fue enviada con esta proforma.

Proceso de Pago y Condiciones del Servicio:

- Para estudiantes externos, el solicitante accederá a un descuento dependiendo del tipo de ensayo y/o servicio solicitado de acuerdo a la lista de precios que utiliza el LMDF, siempre que los resultados del ensayo y/o servicio sean con fines académicos y se justifique adecuadamente al fin.
- Si la oferta es aceptada, por favor contactar vía correo electrónico o telefónica al LMDF y secretaría para la elaboración de la cotización y orden de trabajo respectiva, en caso de requerirse, puede acercarse a las instalaciones del laboratorio con los ítems de ensayo a fin de comprobar que el laboratorio está en capacidad de realizar el trabajo.
- El pago podrá ser realizado en efectivo, mediante cheque certificado y/o transferencia bancaria a nombre de la Escuela Politécnica Nacional, luego retirar la respectiva factura en la secretaría de la Facultad de Ingeniería Mecánica. (Ext. 3711 "Secretaría")

* Datos para pagos: BANCQ: PICHINCHA

Nombre del titular: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Cuenta: CUENTA CORRIENTE

Número: 2100201192

Observaciones:

1. La Escuela Politécnica Nacional, amparada por la Ley de Educación Superior goza de un beneficio fiscal mediante el cual está exenta de que persona natural o jurídica alguna proceda a realizar, en sus pagos a la institución, retenciones en la fuente.

ESTIMADO CLIENTE, POR DISPOSICIÓN DE LA DIRECCIÓN FINANCIERA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Y CONTROLORÍA GENERAL DEL ESTADO, NO SE PROCEDERÁ CON NINGÚN ESTUDIO SIN LA CANCELACIÓN DE LA FACTURA RESPECTIVA. GRACIAS POR SU COMPRESIÓN.

Cualquier inquietud sobre la propuesta, favor contactar al LMDF al teléfono 2976300 Ext. 3010, 3011; email: metalgrafia@epn.edu.ec

Tiempo de validez de la oferta: 30 días

NOTA: Estimado cliente en el caso de que usted tenga algún reclamo o queja respecto al servicio los canales de comunicación son: a) VÍA CORREO ELECTRÓNICO metalgrafia@epn.edu.ec o b) LLAMADA TELEFÓNICA 2976300 Ext. 3011 y/o c) BUZÓN DE QUEJAS ubicado en cada área de servicio "SECRETARÍA" "ÁREA DE ANÁLISIS" "ÁREA DE CORTE", POR FAVOR PONER SU CONTACTO PARA SEGUIMIENTO DE LA MISMA.

Elaborado por:

Revisado y Aprobado por:

Ing. Patricia Proaño MSc.
Especialista de Caracterización de Materiales
Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla

Ing. Carlos Díaz MSc.
Jefe del Laboratorio
Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla

Campus Politécnico "José Ruben Orellana Ricaurte" - Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño - Edificio N°14 PB
Quito-Ecuador