

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

SIMULACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS A TOPE POR GTAW EN PLACAS PLANAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 430 MEDIANTE SOFTWARE ANSYS

COMPONENTE: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA MECÁNICA**

HIPATIA ABIGAIL CUESTAS REVELO

DIRECTOR: ING. WILLAN MONAR MSc.

DMQ, MARZO 2022

CERTIFICACIONES

Yo, HIPATIA ABIGAIL CUESTAS REVELO 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.



HIPATIA ABIGAIL CUESTAS REVELO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por HIPATIA ABIGAIL CUESTAS REVELO, bajo mi supervisión.



ING. WILLAN MONAR MSc.

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 el producto resultante 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.

HIPATIA ABIGAIL CUESTAS REVELO

ING. WILLAN MONAR MsC.

ING. GABRIEL VELASTEGUI MsC.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado con todo mi cariño a mi familia, a mi madre Germania, a mi padre Pastor, a mi tío Jairo, a mis hermanas Nathaly y María José por siempre darme su apoyo y ser un pilar fundamental de esta etapa importante de mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres por siempre estar para mí con su cariño, amor y apoyo, agradezco a todos los amigos que hice durante el proceso de estudios universitarios gracias a ellos ha sido más sostenible este trayecto de mi vida, agradezco al Ing. Willan Monar por permitirme realizar este proyecto de titulación y especialmente agradezco a mi tío Jairo quien fue el que siempre me supo guiar con su sabiduría.

Gracias a todas las personas que estuvieron conmigo durante todo este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ABSTRACT	XI
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 Aceros inoxidables ferríticos.....	4
1.4.3 Características generales del acero inoxidable AISI 430.....	4
1.4.4 Soldabilidad de los aceros inoxidables ferríticos de grado 430	6
1.4.5 Proceso de soldadura GTAW	7
1.4.6 Ensayo de Tracción	8
1.4.7 Ensayo Doblado de Cara y Raíz.....	9
1.4.8 Macrografía	10
2 METODOLOGÍA	11
2.2 Soldadura GTAW	11
2.2.1 Material base	12
2.2.2 Material de aporte.....	13
2.2.3 Equipo de soldadura GTAW	14
2.2.4 Parámetros para el proceso de soldadura GTAW	15
2.3 Toma de datos durante el proceso de soldadura GTAW	15
2.3.1 Toma de datos de deformaciones	19
2.3.2 Inspección visual a las probetas soldadas.....	22

2.4	Corte para la obtención de probetas normalizadas para la realización de ensayos mecánicos.....	22
2.5	Proceso para el ensayo de tracción	24
2.5.1	Proceso para el ensayo de tracción a las probetas normalizadas	24
2.5.2	Criterios de aceptación para ensayo de tracción	25
2.5.3	Equipo utilizado en el ensayo de tracción.....	26
2.6	Proceso para el ensayo de doblado de cara y raíz	26
2.6.1	Proceso de ensayo de doblado de cara y raíz a las probetas normalizadas	28
2.6.2	Criterios de aceptación para el ensayo de cara y raíz	30
2.6.3	Equipo utilizado para el ensayo de doblado de cara y raíz.....	30
2.7	Proceso de macrografía	31
2.7.1	Criterios de aceptación para macrografía.....	33
3	PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....	34
3.1	Resultados	34
3.1.1	Análisis de resultados del ensayo normalizado de tracción de las probetas soldadas	34
3.1.2	Análisis de resultados del ensayo normalizado de doblado de cara y raíz de las probetas soldadas	36
3.1.3	Análisis de resultados de la macrografía realizada a las probetas soldadas	38
3.2	Conclusiones.....	40
3.3	Recomendaciones.....	41
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	42
5	ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Proceso de soldadura GTAW.....	7
Figura 1.2	Esquema de una máquina de ensayos de tracción.....	8
Figura 1.3	Ejemplo de doblado de probetas.....	9
Figura 1.4	Macrografía de una soldadura.	10
Figura 2.1	Probeta punteada antes de la soldadura.....	11
Figura 2.2	Varillas de aporte ER-308L de 3/32 pulgadas de diámetro.	13
Figura 2.3	Equipo de soldadura GTAW utilizado para soldar las probetas.	14
Figura 2.5	Probeta con cordón de soldadura terminado.	17
Figura 2.6	Referencia de toma de datos de distancias para deformaciones.....	19
Figura 2.7	Deformación angular probeta N°1.	21
Figura 2.8	Deformación angular probeta N°2.	21
Figura 2.9	Ubicación de las probetas normalizadas de prueba para los diferentes ensayos.....	23
Figura 2.12	Dimensionamiento de la probeta normalizada para prueba de tensión rectangular transversal.....	24
Figura 2.13	Probetas normalizadas T1 y T2 mecanizadas para ensayo de tracción.	25
Figura 2.14	Probetas normalizadas T1 y T2 al final del ensayo de tracción.	25
Figura 2.15	Máquina universal de ensayos.....	26
Figura 2.16	Disposición de la plantilla y probeta para el doblado de raíz.....	27
Figura 2.17	Disposición de la plantilla y probeta para el doblado de cara.....	27
Figura 2.18	Especímenes para el ensayo de doblado de cara y raíz.....	28
Figura 2.19	Probetas normalizadas para el ensayo de doblado de raíz.....	29
Figura 2.20	Probetas normalizadas para el ensayo doblado de cara.....	29
Figura 2.21	Probetas normalizadas sometidas a doblado de cara y raíz.	29
Figura 2.22	Equipo de doblado.	30
Figura 2.24	Microscopio de zoom estéreo trinocular.....	32
Figura 3.1	Macrografía de la probeta ensayada.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición química del acero inoxidable AISI 430.....	5
Tabla 1.2 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 430.....	5
Tabla 1.3 Propiedades físicas acero inoxidable AISI 430.	6
Tabla 2.1 Resultados del análisis de espectrometría del acero inoxidable AISI 430.	12
Tabla 2.2 Composición química de la varilla de aporte ER-308L.....	13
Tabla 2.3 Especificaciones del equipo de soldadura GTAW.....	14
Tabla 2.4 Parámetros para el proceso de soldadura GTAW.....	15
Tabla 2.5 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°1 a 5 cm de distancia.	17
Tabla 2.6 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°1 a 10 cm de distancia.	17
Tabla 2.7 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°2 a 5 cm de distancia.	18
Tabla 2.8 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°2 a 10 cm de distancia.	18
Tabla 2.9 Datos de temperatura y tiempo para el cordón de soldadura en la probeta N°1.....	18
Tabla 2.10 Datos de temperatura y tiempo para el cordón de soldadura en la probeta N°2.....	19
Tabla 2.11 Datos de deformación en el borde derecho de la soldadura	20
Tabla 2.12 Datos de deformación en el borde izquierdo de la soldadura.....	20
Tabla 2.13 Datos de deformación a 5 cm del cordón de soldadura.	20
Tabla 2.14 Datos de deformación a 10 cm del cordón de soldadura.	20
Tabla 2.15 Datos de deformación angular probeta N°1 y probeta N°2.....	22
Tabla 2.16 Especificaciones técnicas de la máquina universal de ensayos.....	26
Tabla 2.17 Especificaciones técnicas de la máquina de doblado.....	31
Tabla 2.18 Especificaciones técnicas del Microscopio de zoom estéreo trinocular.	32
Tabla 3.1 Identificación de las muestras para ensayo de tracción.	34
Tabla 3.2 Evaluación visual de las probetas ensayadas a tracción.....	35
Tabla 3.3 Resultados obtenidos en los ensayos de tracción.....	35
Tabla 3.4 Identificación de las muestras para ensayo de doblado de cara y raíz. 36	
Tabla 3.5 Evaluación visual del ensayo de doblado de cara y de raíz.	37
Tabla 3.6 Resultados obtenidos en el ensayo de doblado de cara y de raíz.	38

RESUMEN

En el capítulo 1 para la caracterización de juntas soldadas a tope por GTAW en placas planas de 3mm de espesor de acero inoxidable AISI 430, se recopila y revisa información bibliográfica acerca de juntas soldadas a tope, información acerca de los aceros inoxidables ferríticos y sus características generales en especial del acero estudiado el AISI 430, además se explica la soldabilidad de los aceros inoxidables ferríticos y el proceso de soldadura GTAW, así mismo se adquiere información respecto a los ensayos mecánicos normalizados que se realizan a las probetas de acero, los ensayos principales realizados a las probetas son: ensayo de tracción, ensayo de doblado de cara y ensayo de doblado de raíz, para finalizar el capítulo 1 se concluye con la información acerca de cómo se debe realizar una macrografía debido a que es una parte importante para el proceso de caracterización de probetas.

Para obtener las características de las juntas soldadas a tope del acero AISI 430 se somete a las probetas del material soldado a una serie de ensayos destructivos normalizados, en el capítulo 2 se explica cuál es el proceso de elaboración de las probetas, en este trabajo se conforman cuatro placas de acero inoxidable AISI 430 con dimensiones de 300x125x3mm, estas placas se sueldan mediante el proceso de soldadura GTAW, obteniendo así dos pares de placas soldadas de dimensiones 300x250x3mm para posteriormente obtener de ellas las probetas normalizadas que serán sometidas a ensayos mecánicos.

Para finalizar con este trabajo se debe realizar ensayos mecánicos normalizados a las probetas previamente obtenidas, en el capítulo 3 se detalla cual es el proceso de los ensayos de tracción, doblado de raíz y doblado de cara, adicionalmente se realiza una macrografía, para obtener la caracterización completa de las probetas realizadas.

PALABRAS CLAVE: soldadura GTAW, ensayos mecánicos, macrografía, aceros inoxidables, AISI 430, aceros ferríticos.

ABSTRACT

In chapter 1 for the characterization of butt-welded joints by GTAW in flat plates of 3mm thickness of AISI 430 stainless steel, bibliographic information about butt-welded joints, information about ferritic stainless steels and their characteristics are compiled and reviewed. general studies, especially the steel AISI 430, also explains the weldability of ferritic stainless steels and the GTAW welding process, likewise information is acquired regarding the standardized mechanical tests that are carried out on steel specimens, the main tests made to the specimens are: tensile test, face bending test and root bending test, to finish chapter 1 it concludes with the information about how a macrography should be carried out because it is an important part of the process. of specimen characterization.

In instruction to get the characteristics of the butt-welded joints of AISI 430 steel, the specimens of the welded material are subjected to a series of standardized destructive tests, in chapter 2 the process of preparing the specimens is explained, in this work They make up four AISI 430 stainless steel plates with dimensions of 300x125x3mm. These plates are welded using the GTAW welding process, thus obtaining two pairs of welded plates with dimensions of 300x250x3mm to subsequently obtain from them the standardized specimens that will be subjected to mechanical tests.

To finish this work, standardized mechanical tests must be carried out on the previously obtained specimens. Chapter 3 details the process of the tensile tests, face bending and root bending, additionally a macrography is performed to obtain the Complete characterization of the samples made.

KEYWORDS: GTAW welding, mechanical tests, macrography, stainless steels, AISI 430, ferritic steels.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Para el desarrollo del componente se realizan placas planas de acero inoxidable AISI 430 de 3 milímetros de espesor con dimensiones especificadas de 300x125mm para posteriormente caracterizarlas, así pues, se procede a soldar a tope las placas planas mediante el proceso GTAW, obteniendo dos pares de placas soldadas de dimensiones 300x250mm, de las cuales obtenemos los especímenes normalizados a probar. Después se realiza ensayos mecánicos tales como ensayo de tracción, doblado de cara y doblado de raíz a las probetas previamente soldadas, adicionalmente se realiza una macrografía para conseguir una caracterización completa de las probetas.

1.1 Objetivo general

Caracterizar juntas soldadas a tope mediante el proceso de soldadura GTAW en placas planas de 3mm de espesor de acero inoxidable AISI 430.

1.2 Objetivos específicos

1. Recopilar y revisar bibliografía acerca de caracterización de juntas soldadas a tope.
2. Elaborar probetas soldadas de acero inoxidable AISI 430 según las dimensiones especificadas bajo la norma AWS D1.6 para ensayos normalizados.
3. Llevar a cabo ensayos normalizados de tracción, doblado de cara y de raíz.
4. Realizar macrografía de la sección transversal de las juntas soldadas.

1.3 Alcance

Caracterizar probetas de acero inoxidable AISI 430, se realiza ensayos de soldadura de tracción, doblado de cara, doblado de raíz y macrografía de la sección transversal, para probetas soldadas mediante el proceso GTAW en acero inoxidable AISI 430 según la norma AWS D1.6.

1.4 Marco teórico

En esta sección se revisa la teoría de ciencia de materiales referente a los aceros inoxidable, características generales y las principales propiedades del acero inoxidable AISI 430, la soldabilidad de los aceros inoxidables ferríticos, el proceso de soldadura GTAW, los ensayos de tracción, doblado de cara, doblado de raíz y macrografía.

1.4.1 Aceros inoxidables

El acero es la aleación de hierro y carbono, y es uno de los materiales más empleados y requeridos por la industria de casi todo ámbito, debido a la variedad de características y propiedades beneficiosas que puede desarrollar al modificar el porcentaje de sus componentes o agregar nuevos elementos a la aleación, siendo así que en la actualidad se puede disponer de aceros tan diversos en propiedades que pueden ser estos dúctiles, rígidos, resistentes a la corrosión, blandos, resistentes a la temperatura, duros, etc.

Los aceros inoxidables son la consecuencia de la necesidad de tener materiales que puedan trabajar bajo condiciones y ambientes corrosivos y oxidantes. En la naturaleza existen materiales que generan óxidos protectores frente a los agentes corrosivos externos, uno de estos materiales es el cromo, es por esta razón que los aceros inoxidables incorporan dentro de su aleación hasta un mínimo del 11% en cromo. El cromo dentro del acero trabaja de tal manera que en presencia de oxígeno genera una fina película de óxido de cromo que es impermeable a la corrosión y oxidación, brindándole de esta manera su característica de inoxidable a este tipo de aceros. Cabe acotar que los aceros inoxidables no solamente incorporan cromo dentro de su aleación base, también pueden incorporar otros elementos aleantes para mejorar sus propiedades, elementos como el níquel y el molibdeno, pero siempre el elemento principal que caracteriza a los aceros inoxidables es el cromo.

Se tienen cinco grandes grupos de aceros inoxidables en forma general, estos son: ferrítico, martensítico, austenítico, endurecido por precipitación, dúplex.

Los aceros austeníticos, estos aceros son los que tienen la mejor resistencia de todos los aceros inoxidables antes mencionados, están compuestos de 16% a 26% de cromo y hasta un 35% de níquel, no son magnéticos, además en este acero no se puede llevar a cabo tratamientos térmicos. Los aceros auténticos más comunes son el acero grado 304 y sus

principales aplicaciones son: elementos aeronáuticos, industria alimenticia y medicinal (INDURA, 2010).

Los aceros inoxidable ferríticos contienen poco o nada de níquel, y cuentan con entre 11% a 27% de cromo, estos aceros no se endurecen por tratamiento térmico debido a que contienen un bajo contenido de carbono, se aplican donde se necesite sus propiedades como elementos de máquinas para automóviles o en diseños de arquitectura (INDURA, 2010).

Los aceros inoxidable dúplex, estos aceros son llamado así debido a que son el resultado de combinar en partes iguales aceros inoxidable ferríticos y austeníticos; su composición va de entre: 0.05% a 5% de molibdeno, 21% a 27% cromo, 0.05% a 3% de cobre y de 1.35% a 8% de níquel, estos aceros tienen mejor resistencia al desgaste por corrosión en comparación con los aceros inoxidable ferríticos y austeníticos, siendo utilizados mayormente en el área de transporte de químicos, almacenamiento y procesamiento (INDURA, 2010).

Los aceros inoxidable martensíticos tienen una composición que varía entre 12% a 18% de cromo, al tener un porcentaje relativamente alto en carbono, estos aceros son aptos para mejorar su propiedad de dureza mediante tratamientos térmicos. Conforme aumente el contenido de carbono en estos aceros también se aumenta la resistencia mecánica del material que se puede obtener a través de tratamientos térmicos, pero el aumento de carbono en este tipo de aceros implica también que habrá mayor formación de carburos de cromo, lo cual reduce significativamente el contenido porcentual del cromo en la aleación, reduciendo de esta manera su capacidad anticorrosiva, por lo tanto, si se quiere mejorar las propiedades mecánicas del material sin sacrificar sus propiedades anticorrosivas, el aumento de carbono en el acero debe ir a la par con el aumento de cromo en la aleación. Generalmente son usados para la elaboración de impulsores, hojas de cuchillo, equipos de ingeniería química, instrumentos quirúrgicos, turbinas, cuerpos de válvulas.

El acero inoxidable endurecido por precipitación, a este acero se le añade otros elementos como: aluminio, niobio y cobre, lo que los hace obtener una muy buena resistencia, el porcentaje de adición es menor al 0.5% de la aleación completa, este acero está compuesto por 3 a 5% de níquel, 15% a 17.5% cromo, y 3 a 5% de cobre, y se los emplea en la fabricación de ejes con grandes longitudes en vista de sus propiedades mecánicas (Britannica, 2021) (INDURA, 2010).

1.4.2 Aceros inoxidables ferríticos

Estos aceros se los conoce como aceros inoxidables de cromo directo, porque la característica inoxidable la aporta directamente el cromo, ya que la presencia de otro tipo de aleantes es muy reducida en este tipo de aceros. Su contenido de cromo va desde el 11% al 27%. Dichos aceros inoxidables presentan una estructura ferrítica estable, esto significa que a lo largo del calentamiento no muestran cambio de ferrita en austenita así mismo durante el enfriamiento no se presentan cambios a martensita, por lo cual no existe probabilidad de cambios de fase y no podrá ser endurecido por tratamientos térmicos, sino solo moderadamente por medio de trabajo en frío (INDURA, 2010).

Además, estos aceros son magnéticos y se los puede trabajar en frío o en caliente, pero consiguen su máxima ductilidad y resistencia a la corrosión en condiciones de recocido. En esta condición la resistencia de estos es aproximadamente 50% mayor que la de los aceros al carbono; además, son superiores en resistencia a la corrosión y maquinabilidad que los aceros martensíticos inoxidables. El recocido es el único tratamiento térmico aplicado a aceros verdaderamente ferríticos. Este tratamiento solo sirve para eliminar tensiones por soldadura o trabajo en frío (Avner, 1988).

Debido a que estos aceros ferríticos pueden constituirse fácilmente en frío, se utilizan mayormente para la elaboración de recipientes para industrias químicas o alimenticias y para adornos arquitectónicos y automotrices. (INDURA, 2010), (Avner, 1988).

1.4.3 Características generales del acero inoxidable AISI 430

El acero inoxidable AISI 430 analizado en el presente proyecto es un acero inoxidable ferrítico que posee las siguientes características como: composición química, propiedades mecánicas y propiedades físicas, las cuales están detallan en las siguientes tablas 1.1, 1.2, 1.3 respectivamente.

Tabla 1.1 Composición química del acero inoxidable AISI 430.

Elemento	Tipo 430
Carbón	0.12 máx.
Manganeso	1.00 máx.
Azufre	0.030 máx.
Fósforo	0.040 máx.
Silicio	1.00 máx.
Cromo	16.0 a 18.0
Níquel	0.75 máx.

NKS Acero inoxidable 430 (NKS, 2020)

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 430.

Tipo	Límite elástico 0,2 % compensación (KSI)	Resistencia a la tracción (KSI)	% de elongación (longitud de calibre de 2")
Recocido 430	30 mín.	65 mín.	22 mín.

NKS Acero inoxidable 430 (NKS, 2020)

Tabla 1.3 Propiedades físicas acero inoxidable AISI 430.

Propiedad	Temperatura	Valor
Densidad (libra/ plg ³)		0.278
Módulo de elasticidad en tensión (psi x 10 ⁶)		29.0
Calor específico (BTU/o F/libra)	32 a 212 °F (0 a 100 °C)	0.11
Conductividad térmica (BTU/h/pies ² /pies)	212 °F	13.8
	932 °F (500 °C)	15.0
Coeficiente promedio de expansión térmica (plg x 10 ⁻⁶ por o F)	32 a 212 °F (0 a 100 °C)	5.7
	32 a 932 °F (0 a 500 °C)	6.2
Resistencia eléctrica (microhmios por cm)	70 °F (21 °C)	60.0
Rango de punto de fusión (°F)		2600-2750
Resistencia a la oxidación: Servicio continuo (°F)		1500
Radio de Poisson		0.275-0.285

NKS Acero inoxidable AISI 430 (NKS, 2020)

1.4.4 Soldabilidad de los aceros inoxidables ferríticos de grado 430

Los aceros inoxidables de grado 430 tienen una tendencia al crecimiento de grano así mismo para la formación de martensita en la zona afectada por el calor a lo largo del proceso de enfriamiento, por este motivo se lo considera como un acero de baja soldabilidad, este inconveniente en la soldadura se puede ver mejorado realizando un tratamiento de recocido post soldadura, esto ayudará a regresar el material a su ductilidad inicial y aliviar tensiones residuales (Villalobos & Maldonado, 2015).

Los aceros ferríticos que contienen una elevada concentración de cromo pueden presentar fases dura y frágil (sigma), cuando estos permanecen por un largo tiempo sometidos a temperaturas próximas a 470°C, por otra parte, los aceros ferríticos resultan muy proclives al incremento de tamaño de grano cuando se someten por tiempos prolongados a temperaturas de entre 850°C a 900°C, esto es un obstáculo para la soldadura, para corregir este inconveniente es necesario realizar un precalentamiento en secciones mayores a ¼ de pulgada, debido a las fracturas que pueden ocurrir durante el proceso de soldadura. Según las recomendaciones (Arrieta & Pacheco, 2003) se debe realizar un

precalentamiento entre 148°C – 204°C para las secciones mencionadas y para los grados ferríticos de bajo carbono no es necesario realizar un precalentamiento para el encendido del electrodo en espesores menores a ¼ de pulgada (INDURA, 2010). (Ospina López, Aguirre Corrales, & Parra, 2007).

1.4.5 Proceso de soldadura GTAW

La soldadura por arco eléctrico con electrodo sólido no consumible de tungsteno y con atmósfera protectora creada por gas (GTAW), es un proceso que generalmente usa un gas inerte, frecuentemente argón, para crear la atmosfera protectora durante la soldadura, por lo cual muy a menudo se ha simplificado su denominación como TIG (tungsten inert gas) (American Welding Society, 2010).

El proceso GTAW es un proceso de soldadura que usa un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno no consumible y el material de trabajo para establecer un baño de soldadura. Mientras en otros procesos de soldadura con arco eléctrico, se tiene que la varilla de aporte es a su vez también el electrodo, en el proceso GTAW esto es diferente, ya que la varilla de aporte no es el electrodo, sino que la función de electrodo la cumple la varilla no consumible sólida de tungsteno y es a través de esta que se crea el arco eléctrico.

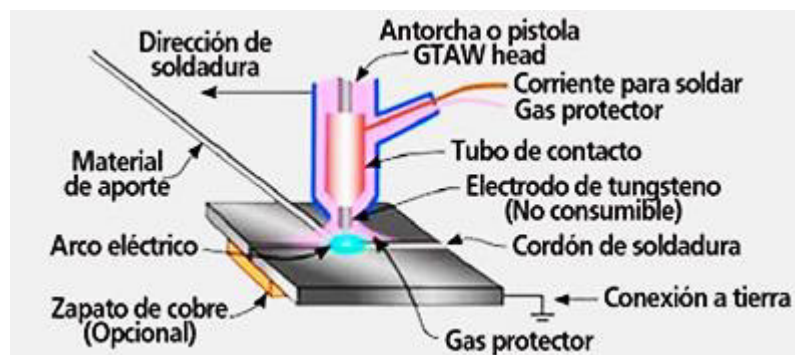


Figura 1.1 Proceso de soldadura GTAW.

(Miraferro, 2018)

La soldadura GTAW tiene las siguientes ventajas: soldaduras de alta calidad y excelente terminación, se utiliza para la soldadura de la mayoría de los metales, se pueden realizar en cualquier posición, no genera salpicaduras excepto cuando el operador realiza el proceso inadecuadamente, no genera escoria por lo que requiere poca o ninguna limpieza después de la soldadura. Como todo proceso de soldadura, el proceso GTAW también

tiene desventajas entre las cuales su puede citar: es preciso que el soldador tenga mayor habilidad y capacidad para realizar este proceso, la protección de la zona soldada en ambientes con altas corrientes de aire de puede ver afectada, la tasa de depósito es menor que las alcanzadas con el proceso SMAW, es más costosa que el proceso de arco con electrodo consumible para secciones de espesor mayor a 10mm (Contreras Muñoz, 2015).

Dentro del proceso GTAW existen variables que deben ser controladas dependiendo del tipo de material que se vaya a soldar y de las características de soldadura que se necesiten, dentro de estas variables están: tensión de arco, corriente de soldadura, varilla de aporte, gas de protección. Asimismo, tienen otras variables que pueden influir en el proceso como: caudal del gas, diámetro de boquilla y extensión de electrodo (American Welding Society, 2010).

1.4.6 Ensayo de Tracción

Este ensayo es uno de los más comunes en el medio de los ensayos mecánicos, se lo emplea para la determinación de las propiedades de tensión del material, en el transcurso del ensayo se determina la elasticidad, resistencia, alargamiento y ductilidad de la probeta, en la figura 1.2 se puede observar el esquema de una máquina de tracción (Pazos Peinado, 2006).

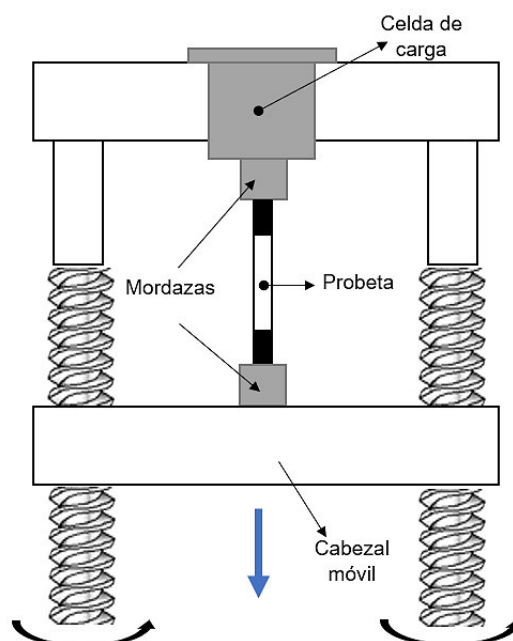


Figura 1.2 Esquema de una máquina de ensayos de tracción.

Para la elaboración del ensayo se comienza tomando las medidas iniciales de la probeta, seguidamente se coloca la probeta en las mordazas de la máquina asegurándola de manera correcta, después se enciende la máquina para que se aplique una carga de tensión en la sección transversal en consecuencia esto provoca la deformación de la probeta produciendo el aumento del esfuerzo hasta un valor en el cual se origina la fractura de la probeta (Pazos Peinado, 2006).

1.4.7 Ensayo Doblado de Cara y Raíz

Para realizar este ensayo los refuerzos en los cordones de soldadura deben ser pulidos y nivelados, adicionalmente las superficies deben estar lisas y cualquier raya que pueda existir debe ser ligera y transversal al doblado, en la figura 1.3 se presenta un esquema de cómo se realiza el ensayo de doblado (Cona Guzman, 2005).



Figura 1.3 Ejemplo de doblado de probetas.

(Metalurgia, 2020)

El ensayo de doblado consiste en colocar una probeta normalizada sobre una matriz estándar y centrarla sobre ella, para que un émbolo o punzón recaiga y aplique una carga sobre el centro de la soldadura, hasta conseguir un doblado en forma de U de 180°. Las dimensiones de las probetas y de las plantillas de doblado están establecidas en las diferentes normas de referencia (Metalurgia, 2020).

Existen algunos tipos de doblado guiado, como: doblado de raíz, doblado de cara, doblado lateral, doblado transversal, etc. (Metalurgia, 2020).

1.4.8 Macrografía

La macrografía es un método bastante recurrente en control de calidad, análisis de falla e investigación y principalmente es una acción de introducción elemental al estudio metalográfico. En análisis de falla la macrografía establece el procedimiento de producción, localiza superficies para análisis minucioso y frecuentemente informa acerca de las razones del problema como son: corrosión, fatiga, desgaste, etcétera, en la figura 1.4 se muestra un ejemplo de una macrografía de una soldadura (Forero Mora, 2010).

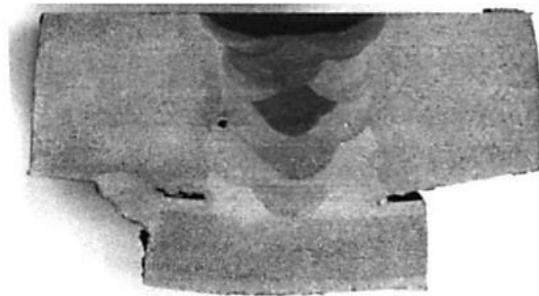


Figura 1.4 Macrografía de una soldadura.

(Forero Mora, 2010)

Para la preparación de la probeta para una macrografía se debe seguir los mismos pasos que para el análisis de metalografía, en algunos casos no es muy conveniente realizar un pulido, más bien un acabado en lija puede ser más que idóneo, depende de la clase de ataque que sea necesario, se debe tener cuidado durante la preparación de las probetas en especial al momento de desbastar debido a que se pueden ocupar las grietas con partículas o deformar el metal, las superficies deben quedar limpias de óxidos o grasas para prevenir sombras durante el ataque (Forero Mora, 2010).

2 METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el procedimiento que ha sido empleado con el fin de caracterizar las justas soldadas mediante el proceso de soldadura GTAW para el acero inoxidable AISI 430. Para lo cual se recurre a la elaboración de probetas normalizadas según la norma AWS D1.6, las cuales serán sometidas a ensayos destructivos de materiales en tracción, doblado de cara, doblado de raíz y macrografía.

2.1 Corte del acero inoxidable AISI 430

Para la elaboración de las probetas lo primero que se realiza es el corte de la plancha bruta de acero inoxidable AISI 430 de medidas 2440x1220x3mm en 4 placas de dimensiones de 300x125mm y 3mm de espesor mediante corte por láser, adicionalmente se elabora un biselado en las placas de 60°, se colocan juntas en pares para darles puntos de soldadura e inmovilizarlas obteniendo así dos especímenes de dimensiones de 300x250x3mm, probetas N°1 y N°2, listos para la soldadura formal, como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1 Probeta punteada antes de la soldadura.

2.2 Soldadura GTAW

Se aplica el proceso de soldadura GTAW en las palcas de acero inoxidable AISI 430 de acuerdo a la norma AWS D1.6, para lo cual se realiza el precalentamiento correspondiente, se selecciona el electrodo más adecuado para el referido proceso de soldadura elegido. Antes de empezar con la soldadura se debe asegurar que las placas estén limpias en toda su superficie y que queden libres de cualquier impureza, además se señalan varios puntos sobre las placas a soldarse con el objetivo de medir la deformación y donde se colocan termocoplas para medir los cambios de temperatura durante el proceso de soldadura.

Se configura el equipo de soldadura a los parámetros apropiados para el trabajo, tales como: voltaje, amperaje, diámetro del electrodo, cantidad de argón.

Mientras el soldador realiza el proceso de soldadura se tomará datos de temperatura y tiempo, en caso de ser necesario se podrá realizar un segundo pase.

2.2.1 Material base

Según el análisis de espectrometría por chispa realizado en la EPN (ANEXO I), se determinó la composición química que se presenta en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Resultados del análisis de espectrometría del acero inoxidable AISI 430.

Elemento	Medidas [%]	Desviación Estándar [%]	Intervalo de confianza [95%]
Carbono [C]	0.062	0.032	0.062±0.036
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		

EPN (EPN, 2021)

Para realizar el análisis de espectrometría de manera adecuada se toman 3 mediciones en un punto de la muestra, por último, se promedia los valores.

2.2.2 Material de aporte

Según la norma AWS D1.6 entre las varillas de aporte más sugeridas para la soldadura de aceros inoxidable AISI 430, está la varilla de aporte ER-308L. Dentro del país unos de los proveedores de esta varilla de aporte es INDURA, por lo cual se optó por adquirir la varilla de aporte a esta empresa y usar su catálogo de especificaciones como referencia.



Figura 2.2 Varillas de aporte ER-308L de 3/32 pulgadas de diámetro.

En la tabla 2.2 que se muestra seguidamente, se observa la composición química del material de aporte ER-308L.

Tabla 2.2 Composición química de la varilla de aporte ER-308L.

Composición química	
C: 0.02%	Mn: 1.90%
Si: 0.38%	P: 0.020
S: 0.01	Cr: 19.80%
Ni: 9.80%	Mo: 0.19%

INDURA (INDURA, 2010)

2.2.3 Equipo de soldadura GTAW

Para este proyecto específicamente se utiliza el equipo de soldadura GTAW que se encuentra en el laboratorio de soldadura de la EPN este se lo observa en la figura 2.3.



Figura 2.3 Equipo de soldadura GTAW utilizado para soldar las probetas.

El equipo de soldadura GTAW de la figura 2.2 cuenta con varias especificaciones técnicas para llevar a cabo la realización del proceso de soldadura correspondiente, dichas especificaciones se puntualizan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Especificaciones del equipo de soldadura GTAW.

Especificaciones	
Equipo	Soldadora
Marca	LINCOLN ELECTRIC
Modelo	INVERTEC V350-PRO
Voltaje	5 - 425 [V]
Frecuencia	50/60 [Hz]
Corriente nominal	300 - 350 [A]
Ciclo de trabajo	60 - 100 [%]
Procesos Admisibles	Electrodo revestido, Innershield, Outhershield, GMAW (MIG), GTAW (TIG), corte con arco

2.2.4 Parámetros para el proceso de soldadura GTAW

Cuando se realiza el proceso de soldadura GTAW para este caso es preciso elegir todos los parámetros correspondientes que se requieren para realizar el proceso de soldadura de la manera más adecuada, entre los parámetros más importantes están valores de voltaje, amperaje, diámetro del electrodo, entre otros como se observa en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Parámetros para el proceso de soldadura GTAW.

Parámetros de soldadura	
Voltaje	8 - 10 [V]
Amperaje	90 - 110 [A]
Diámetro de la varilla de aporte	3/32 [plg]
Presión de gas de Argón	15 - 20 [litros/minuto]
Varilla de aporte	ER 308L
Electrodo	Electrodo no consumible de Tungsteno al 2% de Torio

En la tabla 2.4 se muestran los parámetros de soldadura con los cuales se configura el equipo de soldadura GTAW para realizar el trabajo. En el ANEXO II y ANEXO III se muestran los WPS's respectivos realizados para cada probeta.

2.3 Toma de datos durante el proceso de soldadura GTAW

Para la elaboración del cordón de soldadura en cada una de las probetas se empieza con verificar que las superficies estén libres de impurezas es decir libres de grasa o cualquier tipo de agente externo que pueda alterar el proceso de soldadura, luego se señala diferentes puntos de referencia ubicados a ciertas distancias en las placas como se observa en la figura 2.4 en donde se coloca las termocuplas, en dichos puntos se tomará datos de temperatura y tiempo.

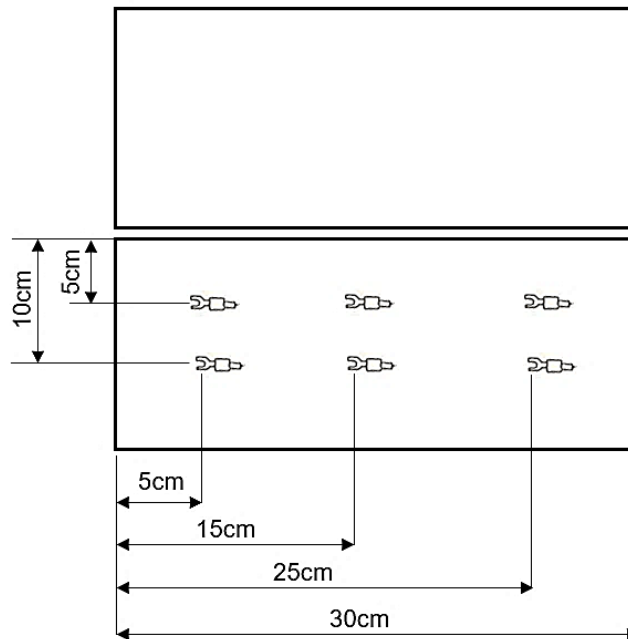


Figura 2.4 Puntos de referencia para la toma de datos de las probetas N°1 y N°2 donde se colocan las termocuplas.

Una vez señalados los puntos de referencia pasamos a entregar las placas al soldador, se realiza el precalentamiento adecuado el cual según manuales de soldadura es de un rango de temperatura de 149 a 232°C, se coloca los parámetros de soldadura correspondientes, así también se sitúa las termocuplas en los puntos de referencia como se indica en la figura 2.5, cuando todo lo anteriormente dicho se cumple, se procede a realizar el proceso de cordón de soldadura, cuando el soldador pasa por los puntos de referencia se toma datos de temperatura y tiempo estos datos se los muestra en las tablas 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, además se toma el tiempo que se demora en realizar el cordón como se muestra en las tablas 2.9, 2.10, este procedimiento se lo realiza tanto para la probeta N°1 como para la probeta N°2.

Después de haber realizado el cordón de soldadura se deja transcurrir el tiempo de enfriamiento adecuado para este caso son 17 minutos, cuando la probeta este a una temperatura de 35°C aproximadamente, se limpia el cordón de soldadura con un cepillo de metal, luego de que se haya limpiado se realiza un segundo cordón de soldadura es decir un segundo pase resultando el cordón final de las probetas como se muestra en la figura 2.5, también este segundo cordón se limpia con un cepillo metálico y tomamos datos de temperatura y tiempo como anteriormente se realizó, este procedimiento se lo realiza para ambas probetas.

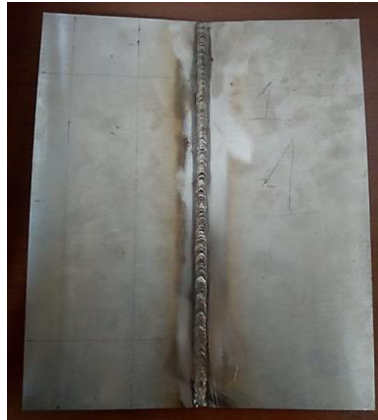


Figura 2.5 Probeta con cordón de soldadura terminado.

Tabla 2.5 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°1 a 5 cm de distancia.

Probeta N°1				
Temperatura 5 cm	Pase 1 [°C]	Tiempo [seg]	Pase 2 [°C]	Tiempo [seg]
T1 – 5 cm	78.2	63.21	79.5	61.23
T2 – 15 cm	83.5	124.63	100.8	125.5
T3 – 25 cm	82.6	189.87	86.7	183.68
Tiempo final		253.04		244.91

Tabla 2.6 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°1 a 10 cm de distancia.

Probeta N°1				
Temperatura 10 cm	Pase 1 [°C]	Tiempo [seg]	Pase 2 [°C]	Tiempo [seg]
T1 – 5 cm	40.8	63.21	59.7	61.23
T2 – 15 cm	38.7	124.63	58.6	125.5
T3 – 25 cm	39.7	189.87	53.4	183.68
Tiempo final		253.04		244.91

Tabla 2.7 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°2 a 5 cm de distancia.

Probeta N°2				
Temperatura 5 cm	Pase 1 [°C]	Tiempo [seg]	Pase 2 [°C]	Tiempo [seg]
T1 – 5 cm	90.9	70.61	102.3	63.42
T2 – 15 cm	83.5	141.64	99.5	135.21
T3 – 25 cm	91.5	212.66	105.4	206.99
Tiempo final		283.27		270.41

Tabla 2.8 Datos de temperatura y tiempo para la probeta N°2 a 10 cm de distancia.

Probeta N°2				
Temperatura 10 cm	Pase 1 [°C]	Tiempo [seg]	Pase 2 [°C]	Tiempo [seg]
T1 – 5 cm	37.3	70.61	55.4	63.42
T2 – 15 cm	35.7	141.64	58.6	135.21
T3 – 25 cm	38.6	212.66	52.4	206.99
Tiempo final		283.27		270.41

Tabla 2.9 Datos de temperatura y tiempo para el cordón de soldadura en la probeta N°1.

Probeta N°1				
Temperatura cordón	Pase 1 [°C]	Tiempo [seg]	Pase 2 [°C]	Tiempo [seg]
T1 – 5 cm	450.8	63.21	590.2	61.23
T2 -15 cm	470.5	124.63	540.7	125.5
T3 – 25 cm	587.4	189.87	650.9	183.68
T4 – 30 cm	590.6	253.04	690.4	244.91
Tiempo final		253.04		244.91

Tabla 2.10 Datos de temperatura y tiempo para el cordón de soldadura en la probeta N°2.

Probeta N°2				
Temperatura cordón	Pase 1 [°C]	Tiempo [seg]	Pase 2 [°C]	Tiempo [seg]
T1 – 5 cm	434	70,61	630	63,42
T2 – 15 cm	575	141,64	610	135,21
T3 – 25 cm	457	212,66	680	206,99
T4 – 30 cm	478	283,27	720	270,41
Tiempo final		283,27		270,41

2.3.1 Toma de datos de deformaciones

Antes de empezar con el proceso de soldadura se toma medidas de distancias en las posiciones como se muestra en la figura 2.6, después de haber finalizado los dos pases de soldadura, se espera el tiempo adecuado de enfriamiento y se procede a tomar las medidas finales de distancias según la figura 2.6, de esta manera se puede encontrar cuanto se deforma el material.

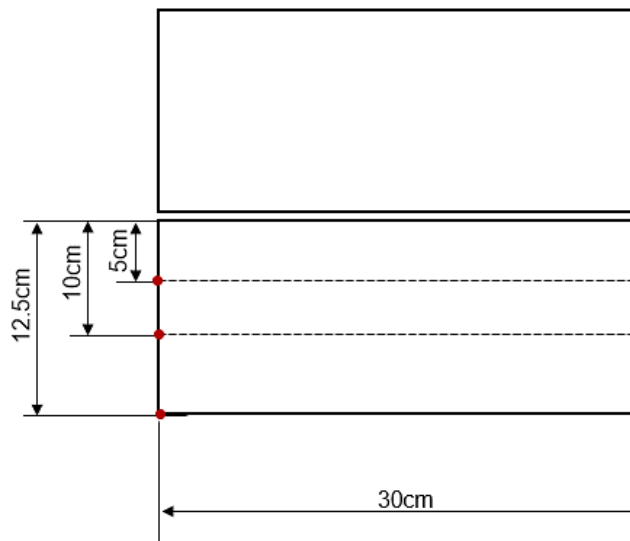


Figura 2.6 Referencia de toma de datos de distancias para deformaciones.

En las tablas 2.11, 2.12, 2.13, 2.14 mostradas a continuación se muestran los datos tomados de deformaciones, tanto de la probeta N°1 como de la probeta N°2.

Tabla 2.11 Datos de deformación en el borde derecho de la soldadura.

Deformación borde derecho de la soldadura			
Eje longitudinal [mm]	50	100	125
Probeta N°1	49.94	99.95	124.95
Probeta N°2	49.94	99.95	124.95

Tabla 2.12 Datos de deformación en el borde izquierdo de la soldadura.

Deformación borde izquierdo de la soldadura			
Eje longitudinal [mm]	50	100	125
Probeta N°1	49.97	100.01	125.01
Probeta N°2	49.98	99.99	124.99

Tabla 2.13 Datos de deformación a 5 cm del cordón de soldadura.

Deformación a 5 cm del cordón de soldadura			
Eje transversal [mm]	50	150	250
Probeta N°1	49.99	150.02	250.04
Probeta N°2	49.99	150.03	250.06

Tabla 2.14 Datos de deformación a 10 cm del cordón de soldadura.

Deformación a 10 cm del cordón de soldadura			
Eje transversal [mm]	50	150	250
Probeta N°1	50.03	150.03	249.99
Probeta N°2	50.03	150.03	249.99

En la figura 2.7 y 2.8 se observa como quedaron las placas al finalizar los dos pases de soldadura. Adicionalmente se calcula la deformación angular que se forma en las probetas, para el cálculo de estas deformaciones angulares se lo realiza mediante el software AutoCAD, los resultados se presentan en la tabla 2.15.



Figura 2.7 Deformación angular probeta N°1.



Figura 2.8 Deformación angular probeta N°2.

Tabla 2.15 Datos de deformación angular probeta N°1 y probeta N°2.

Datos de deformación angular	
Probeta N°1	8°
Probeta N°2	7°

2.3.2 Inspección visual a las probetas soldadas

La inspección visual se la realiza a las probetas soldadas exceptuando las partes que se designan como descartadas según la norma AWS D1.6, es decir la parte superior e inferior de las probetas. El cordón de soldadura para ser aprobado debe cumplir ciertos criterios que se describen en la norma AWS D1.6, estos criterios dicen que, no debe existir grietas superficiales, no debe hallarse superposición, si en el cordón de soldadura se observa la presencia de cráteres estos deben ser llenados completamente en la sección transversal de la soldadura, el socavado no tiene que sobrepasar 1mm de profundidad, el refuerzo de la soldadura no debe rebasar los 3mm, entre las capas contiguas de metal de soldadura y el metal base tiene que haber fusión completa (AWS, 2017).

Para este trabajo se realizó la inspección visual bajo los criterios de aceptación de soldadura de la norma AWS D1.6, en donde se corroboró que el cordón de soldadura realizado cumple con los criterios de aceptación por lo tanto el cordón de soldadura realizado tanto a la probeta N°1 como a la probeta N°2 son aceptados, y pueden pasar a realizarse el corte de las mismas para sus posteriores ensayos normalizados.

2.4 Corte para la obtención de probetas normalizadas para la realización de ensayos mecánicos.

Se procede a cortar las probetas N°1 y N°2 de dimensiones 250x300x3 mm, de tal manera que se obtienen cuatro probetas normalizadas para ensayos de tracción, cuatro probetas normalizadas para ensayos de doblado de cara y cuatro probetas normalizadas para ensayos de doblado de raíz como se observa en la figura 2.9, en esta figura se muestra cómo deben ir cortadas las probetas para cada uno de los ensayos.

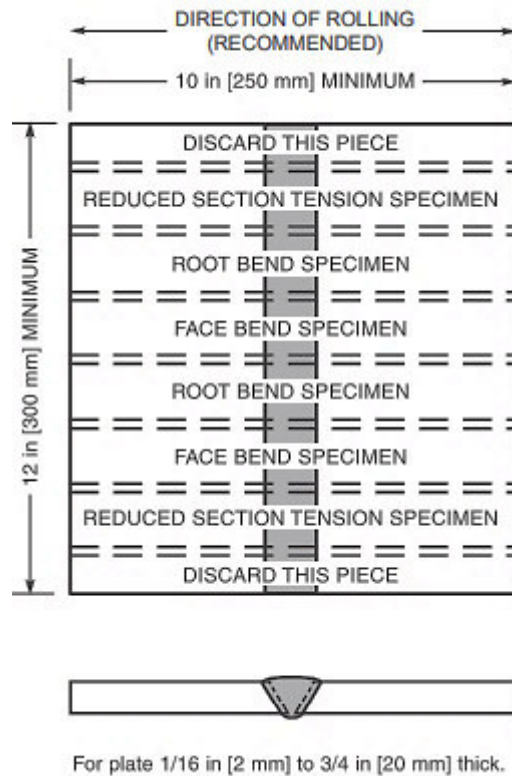


Figura 2.9 Ubicación de las probetas normalizadas de prueba para los diferentes ensayos.
(AWS, 2017, pág. 102)

En la figura 2.10 se observan las probetas normalizadas para sus respectivos ensayos bajo la norma AWS D1.6, en la cual se establece las dimensiones adecuadas para la realización de los diferentes ensayos. Cabe mencionar que el corte se realizó mediante chorro de agua a presión para evitar en lo posible la afectación de la estructura del material por efectos de calor.



Figura 2.10 Probetas normalizadas.



Figura 2.13 Probetas normalizadas T1 y T2 mecanizadas para ensayo de tracción.

Una vez que haya finalizado el ensayo de tracción realizado a las probetas normalizadas T1 y T2, estas terminan como se observa en la figura 2.14.



Figura 2.14 Probetas normalizadas T1 y T2 al final del ensayo de tracción.

2.5.2 Criterios de aceptación para ensayo de tracción

Para calificar probetas de aceros inoxidables soldadas, sometidas a ensayos de tracción, se sigue el siguiente criterio de aceptación de acuerdo a la norma AWS D1.6, que establece que la probeta será aceptada cuando la resistencia a la tracción de la probeta soldada no sea menor a la resistencia del material base.

2.5.3 Equipo utilizado en el ensayo de tracción

La elaboración del ensayo de tracción se lo realiza mediante la máquina universal de ensayos cuya imagen se expone en la figura 2.15 y las especificaciones se las muestra en la tabla 2.16.



Figura 2.15 Máquina universal de ensayos.

Tabla 2.16 Especificaciones técnicas de la máquina universal de ensayos.

Especificaciones Técnicas	
Equipo	Máquina universal de ensayos
Marca	TINIUS OLSEN
Capacidad de carga	132 000 [Lb]
Sistema de carga	Sistema hidráulico
Software	NAVIGATOR

2.6 Proceso para el ensayo de doblado de cara y raíz

Este ensayo se lo realiza para conocer la rigidez y ductilidad de la junta soldada, antes de empezar con el ensayo de doblado de cara y doblado de raíz se debe realizar las probetas según la norma AWS D1.6, para posteriormente pulir los pases de refuerzo y raíz de manera que la probeta quede lisa, es decir, los cordones de soldadura tienen que quedar nivelados a la altura del material base, una vez que los cordones de soldadura estén al

mismo nivel del material base se lleva a las probetas para que sean colocadas en el equipo de doblado.

Para el ensayo de doblado de cara y de raíz se usa la plantilla de doblado de la norma AWS D1.6, que consta de un émbolo y una matriz, el émbolo se ubica perpendicularmente a la raíz o cara de la probeta a ser ensayada en dirección a la hendidura de la matriz, después de que la probeta ya este colocada de manera adecuada se procede a bajar el émbolo que empuja a la probeta doblándola hacia la parte de adentro originando que la probeta ensayada tome la forma de U.

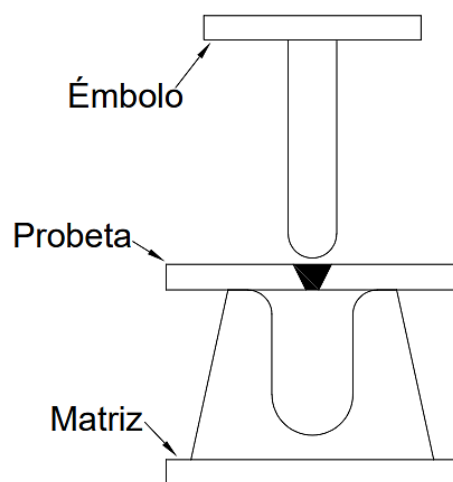


Figura 2.16 Disposición de la plantilla y probeta para el doblado de raíz.

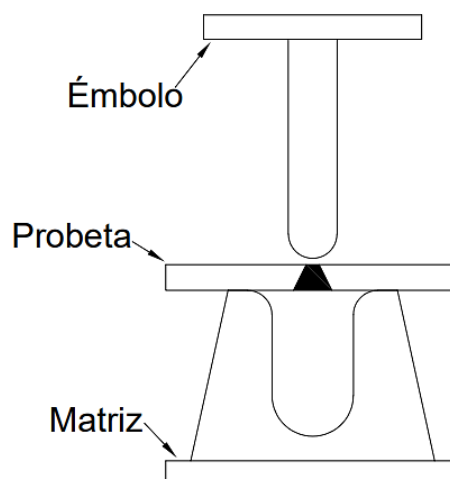


Figura 2.17 Disposición de la plantilla y probeta para el doblado de cara.

2.6.1 Proceso de ensayo de doblado de cara y de raíz a las probetas normalizadas

Para el ensayo de doblado de cara y de raíz se debe realizar las probetas normalizadas con las dimensiones establecidas en la norma AWS D1.6 como se presenta en la figura 2.18. Cabe acotar que los cordones de soldadura deben ser nivelados a la misma altura del material base antes de empezar con el ensayo.

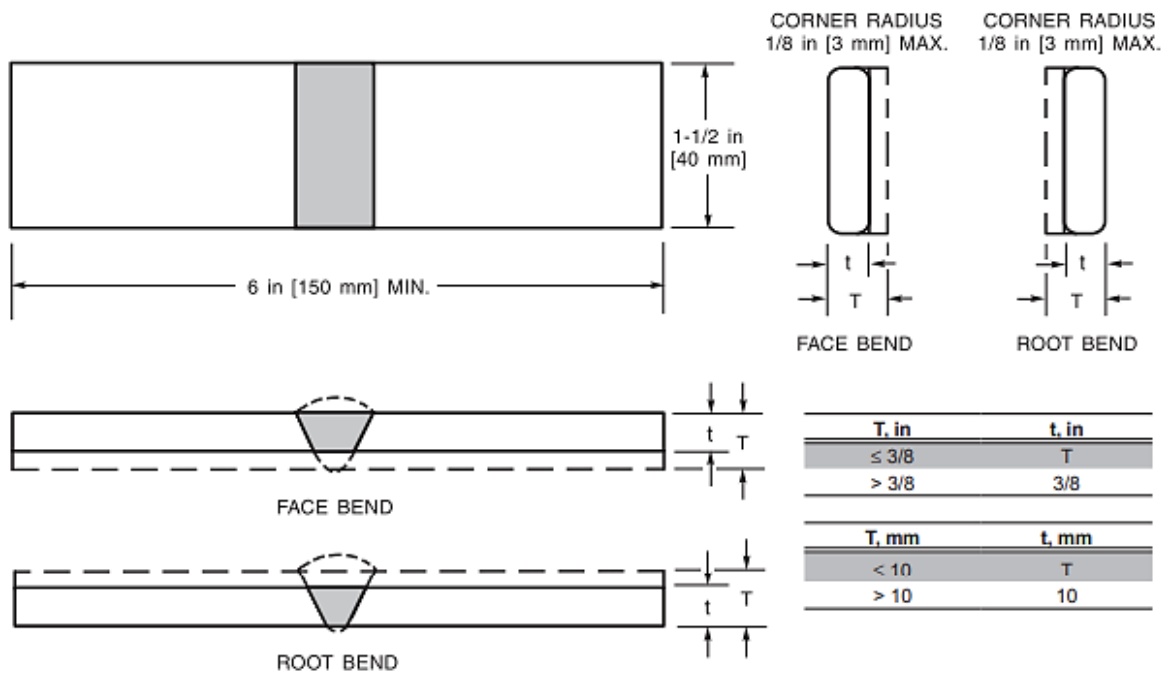


Figura 2.18 Especímenes para el ensayo de doblado de cara y raíz.
(AWS, 2017)

En la figura 2.19 y 2.20 se puede observar a las probetas normalizadas tanto para doblado de cara como para doblado de raíz cortadas según la AWS D1.6 y pulidas de tal manera que están listas para ser ensayadas.



Figura 2.19 Probetas normalizadas para el ensayo de doblado de raíz.



Figura 2.20 Probetas normalizadas para el ensayo doblado de cara.

Una vez finalizado tanto el ensayo de doblado de cara como el ensayo de doblado de raíz a las probetas normalizadas, estas terminan como se muestra en la figura 2.21.



Figura 2.21 Probetas normalizadas sometidas a doblado de cara y raíz.

2.6.2 Criterios de aceptación para el ensayo de cara y raíz

Para que las probetas normalizadas ensayadas puedan ser aceptadas se debe cumplir con los criterios de aceptación de la norma AWS D1.6 la norma explica que tiene que revisarse la superficie convexa de las probetas normalizadas sometidas a la prueba, primero de debe evaluar visualmente para notar si estos especímenes cuentan con alguna discontinuidad en la superficie.

Para ser aceptada, la superficie no puede contener discontinuidades que sobrepasen los 3mm medidos en cualquier dirección de la superficie; de la misma manera la norma no acepta que la suma de las magnitudes de todas las discontinuidades mayores a 1mm y menores o iguales a 3mm sobrepasen los 10mm; también la norma no acepta que la máxima fisura de esquina sea mayor a 6mm, menos cuando la fisura de esquina surja de una inclusión de escoria perceptible u otra discontinuidad de tipo fusión, siendo así debe emplearse un máximo de 3 mm. Las probetas que contengan una fisura de esquina que sobrepase los 6 mm sin evidencia de inclusiones de escoria u otra discontinuidad de tipo fusión deben ser rechazados, y se debe ensayar otra probeta de relevo de la soldadura original (AWS, 2017).

2.6.3 Equipo utilizado para el ensayo de doblado de cara y raíz

Para realizar el ensayo de doblado de cara y raíz se lo realiza mediante el equipo de doblado que se muestra en la figura 2.22 y sus especificaciones se muestran en la tabla 2.17.



Figura 2.22 Equipo de doblado.

Tabla 2.17 Especificaciones técnicas de la máquina de doblado.

Especificaciones Técnicas	
Equipo	Máquina de doblado
Marca	TINIUS OLSEN
Capacidad de carga	132 000 [Lb]
Sistema de carga	Sistema hidráulico

2.7 Proceso de macrografía

Para realizar el ensayo de macrografía se parte con la obtención de muestras adecuadas de las probetas soldadas, esto se logra con el corte de las probetas a través de la sección transversal del cordón de soldadura como se observa en la figura 2.23, este proceso se logra mediante técnicas de corte en frío para garantizar que las propiedades químicas y mecánicas no se alteren por procesos que aporten calor.

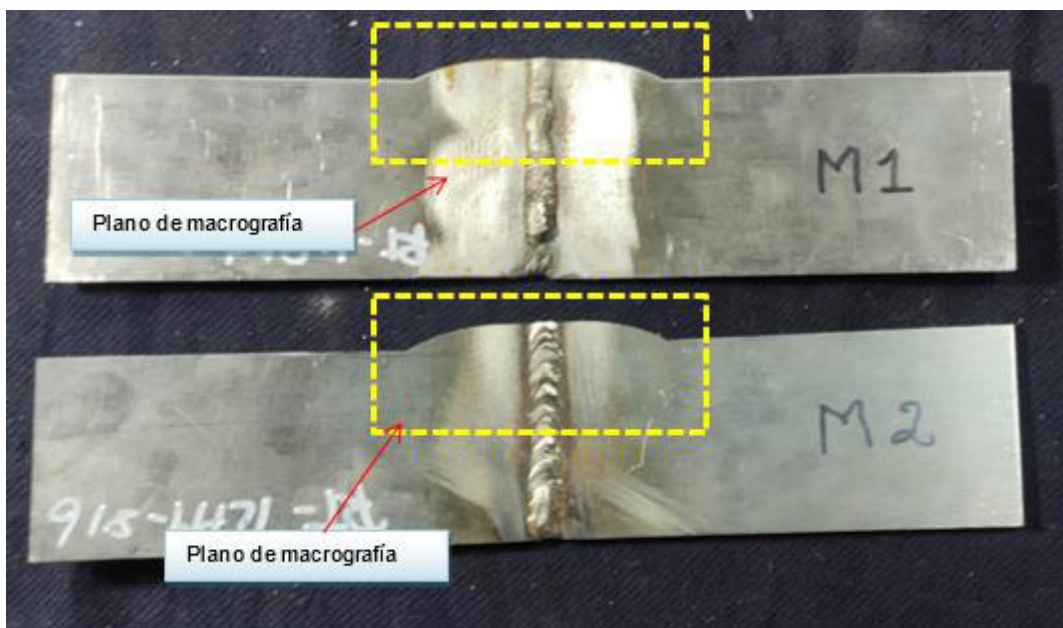


Figura 2.23 Muestras de probetas de soldadura para la macrografía.

(ILPM Engineerin Cía.Ltda., 2021, pág. 2)

A las probetas macrográficas se les realiza diferentes grados de pulido desde el más grueso hasta el más fino con la ayuda de una pulidora mineralográfica de disco. Empezando con un desbaste grueso con lijas graduadas de entre 80 y 180 de grano,

seguidamente se pasa a las probetas a un desbaste fino con lijas de entre 200 y 600 de número de grano, luego se realiza un pulido con lijas de agua mucho más finas aún con número de grano de entre 1200 y 2000 hasta obtener un pulido bastante prolijo, para terminar con el pulido por último se hace uso de un paño empapado de alúmina diluida en agua, obteniendo así un pulido lo suficientemente fino para aplicar el ataque químico a las probetas macrográficas, el reactivo que se utiliza para el ataque químico es el Marble, este se establece bajo la norma ASTM E340.

Para obtener las tomas macrográficas se utilizan las probetas anteriormente atacadas químicamente y se procede a colocarlas en un microscopio de zoom estéreo trinocular que se lo muestra en la figura 2.24 para poder observar y obtener las capturas macrográficas. Las especificaciones técnicas del microscopio de zoom estéreo trinocular se observan en la tabla 2.18.



Figura 2.24 Microscopio de zoom estéreo trinocular.

Tabla 2.18 Especificaciones técnicas del Microscopio de zoom estéreo trinocular.

Especificaciones Técnicas	
Equipo	Microscopio de zoom estéreo trinocular
Marca	AMSCOPE
Modelo	SM-6TX-FRL
Software	Toup-View
Capacidad	40X

2.7.1 Criterios de aceptación para macrografía

En la norma AWS D1.6 para los ensayos macrográficos se establece que la soldadura de las probetas normalizadas no debe tener grietas, debe existir fusión completa entre las capas contiguas del metal de soldadura y el metal base, no debe tener socavados superiores a 1mm, debe poseer fusión de la raíz, las mordeduras deben ser menores o iguales a 1mm, la soldadura no debe presentar ninguna convexidad o concavidad que sea mayor a 2mm.

3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la caracterización del acero inoxidable AISI 430 en el presente trabajo se realizaron cuatro ensayos destructivos: ensayo de tracción, ensayo de doblado de cara, ensayo de doblado de raíz y macrografía; cuyos resultados se detallan a continuación.

3.1 Resultados

En esta sección se expone y analiza los resultados que se obtienen mediante los ensayos normalizados de tracción, doblado de cara, doblado de raíz y macrografía realizados con anterioridad a las probetas soldadas.

3.1.1 Análisis de resultados del ensayo normalizado de tracción de las probetas soldadas

Se seleccionan dos probetas de acero inoxidable AISI 430 normalizadas bajo la norma AWS D1.6 para realizar el ensayo de tracción. En la tabla 3.1 se observa cómo se identificaron cada una de las muestras.



Tabla 3.1 Identificación de las muestras para ensayo de tracción.

Identificación cliente	Ensayo	Identificación LAEV
T1	Tracción (Juntas soldadas)	M22.007.01
T2	Tracción (Juntas soldadas)	M22.007.02

EPN (EPN, 2021)

Se procede a ensayar las probetas soldadas mediante la norma AWS D1.6. En la tabla 3.2 se muestra lo que se observa después de dar por finalizado el ensayo de tracción.

Tabla 3.2 Evaluación visual de las probetas ensayadas a tracción.

Identificación	Probeta	Comentario
Tracción 1 M22.007.01		Falla en el material base
Tracción 2 M22.007.02		Falla en el material base

En la tabla 3.3 se presenta el resumen de los datos arrojados por el equipo de ensayos universal a través del ordenador para las probetas ensayadas a tracción, en donde se evidencian datos como: carga máxima registrada, resistencia a la tracción, ancho promedio, espesor promedio y la debida identificación de las probetas según el laboratorio de ensayos de la EPN (ANEXO IV).

Tabla 3.3 Resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Identificación LAEV	Ancho Promedio [mm]	Espesor Promedio [mm]	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Observación
			[lbf]	[N]	[ksi]	[MPa]	
M22.007.01	20.42	2.68	6552	29147	69.5	479	Falla en el material base
M22.007.02	20.48	3.01	6447	28677	67.5	465.2	Falla en el material base

EPN (EPN, 2021)

De las tablas 3.2 y 3.3 se extrae que ambas probetas, tanto la probeta T1 como la probeta T2, identificadas como M22.007.01 y M22.007.02, fallan en el material base y sus valores de resistencia a la tracción son 69.5 [ksi] y 67.5 [ksi] respectivamente, esto demuestra que las probetas tienen un valor de resistencia a la tracción mayor en el cordón de soldadura que en el material base que es 65 [ksi], con lo que junto a los criterios de aceptación de la AWS D1.6 las probetas normalizadas ensayadas cumplen con los criterios de aceptación de la norma.

3.1.2 Análisis de resultados del ensayo normalizado de doblado de cara y raíz de las probetas soldadas

Se ensayan dos probetas para doblado de cara y dos probetas para doblado de raíz. En la tabla 3.4 se muestra cómo se identifica a las muestras para la realización de los ensayos.

Tabla 3.4 Identificación de las muestras para ensayo de doblado de cara y raíz.

Identificación cliente	Ensayo	Identificación LAEV
DC1	Doblado de cara	M22.007.03
DC2	Doblado de cara	M22.007.04
DR1	Doblado de raíz	M22.007.05
DR2	Doblado de raíz	M22.007.06

EPN (EPN, 2021)

En la tabla 3.5 se muestra el estado de las probetas después de haber sido sometidas al ensayo de doblado de cara y doblado de raíz.

Tabla 3.5 Evaluación visual del ensayo de doblado de cara y de raíz.

Identificación	Probeta	Comentario
Doblado de cara 1 M22.007.03		En esta probeta no se observa ninguna discontinuidad en el cordón de soldadura.
Doblado de cara 2 M22.007.04		En esta probeta no se observa ninguna discontinuidad en el cordón de soldadura.
Doblado de raíz 1 M22.007.05		En esta probeta no se observa ninguna discontinuidad en el cordón de soldadura.
Doblado de raíz 2 M22.007.06		En esta probeta si se observa una discontinuidad en el cordón de soldadura de 10.38mm.

En la tabla 3.6 se muestra una recopilación de los datos arrojados en la realización del ensayo de doblado de cara y de raíz (ANEXO IV).

Tabla 3.6 Resultados obtenidos en el ensayo de doblado de cara y de raíz.

Identificación	Observaciones	Calificación
M22.007.03	No se perciben discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
M22.007.04	No se perciben discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
M22.007.05	No se perciben discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
M22.007.06	Se perciben una discontinuidad de 10.38 mm en el cordón de soldadura	No aprueba

EPN (EPN, 2021)

De las tablas 3.5 y 3.6 se encuentra que las probetas M22.007.03, M22.007.04, M22.007.05, no presentan ninguna discontinuidad en el cordón de soldadura, es decir, las dos primeras probetas sometidas a ensayo de doblado de cara y la tercera probeta sometida a ensayo de raíz cumplen con los criterios de aprobación de la norma AWS D1.6 por lo que son aprobadas, sin embargo la probeta M22.007.06 sometida a ensayo de doblado de raíz presenta una discontinuidad superficial en el cordón de soldadura de 10.38mm, por lo que no cumple con los criterios de aprobación de la norma AWS D1.6, por esta razón esta probeta no es aprobada.

3.1.3 Análisis de resultados de la macrografía realizada a las probetas soldadas

Para el ensayo de macrografía se elaboraron dos probetas, pero solamente una de ellas fue evaluada, debido a que una segunda probeta tenía el cordón de soldadura con una elevada sobremonta y fue descartado.

En la figura 3.1 se observa la macrografía de la probeta ensayada, a través del microscopio de zoom estéreo trinocular (ANEXO V).

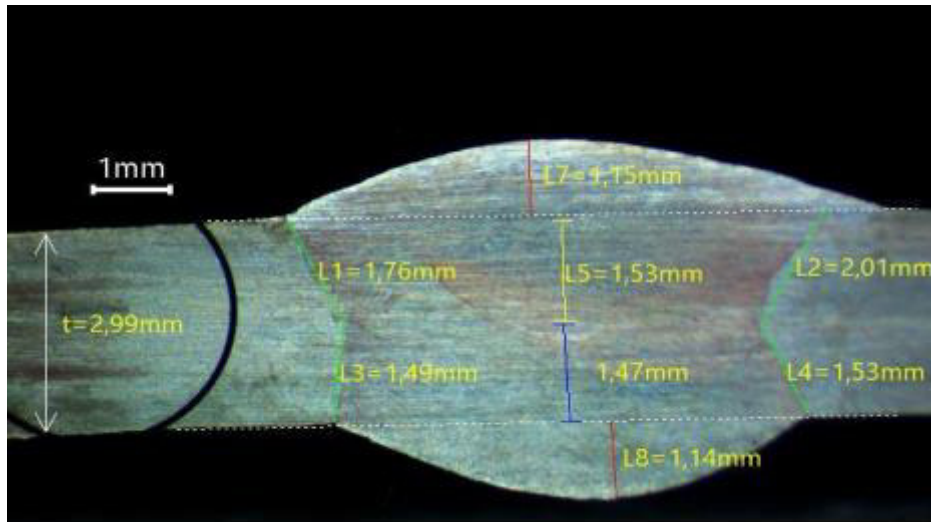


Figura 3.1 Macrografía de la probeta ensayada.

En la figura 3.1 se observa que L3 y L4 delimitan el primer pase del cordón de soldadura, L1 y L2 delimitan el segundo pase del cordón de soldadura, tomando en consideración esto, se puede apreciar que existe fusión entre el primer y segundo pase del cordón de soldadura con el material base, así mismo se puede apreciar que existe fusión entre las capas contiguas de los dos cordones de soldadura, también se puede apreciar que existe fusión completa en la raíz, lo cual está dentro de los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.6.

Se puede observar que L7 y L8 son la concavidad y la convexidad del cordón de soldadura y sus dimensiones no superan los 2 mm, esto quiere decir que estos parámetros cumplen con los criterios de aceptación de la norma AWS D1.6.

En la macrografía también se puede observar que existe ausencia de grietas, mordeduras, socavados o cualquier otra discontinuidad que pueda poner en riesgo la aceptación de la probeta bajo los criterios de aceptación de la norma AWS D1.6.

Tomando en cuenta todas las premisas antes mencionadas se puede deducir que la probeta soldada, cumple con todos los criterios de aprobación para el ensayo de macrografía bajo la norma AWS D1.6 para aceros inoxidables soldados.

3.2 Conclusiones

El objetivo general del componente de este trabajo de integración curricular fue caracterizar las juntas soldadas a tope mediante el proceso de soldadura GTAW en placas de acero inoxidable AISI 430 y bajo la norma AWS D1.6, fue alcanzado mediante la realización de los ensayos normalizados de tracción, doblado de cara, doblado de raíz y macrografía de probetas soldadas de este material.

Se recopiló y revisó información acerca de caracterización de juntas soldadas a tope, con lo que se consiguió establecer la metodología para el procedimiento adecuado, descrito en este trabajo para caracterizar las juntas soldadas por GTAW a tope de acero inoxidable de acero AISI 430; además, se logró enriquecer la literatura ya existente.

Se elaboraron probetas normalizadas de acero inoxidable AISI 430, utilizando láminas de 3 mm de espesor y soldándolas a tope mediante el proceso de soldadura GTAW, cumpliendo con los requerimientos descritos en la norma AWS D1.6.

De los resultados obtenidos con todas las probetas sometidas al ensayo de tracción, en los cuales la fractura sucedió en el metal base, se puede concluir, primero, que la resistencia del cordón de soldadura realizado con la varilla de aporte ER 308L es superior a la resistencia del metal base, y segundo, que el proceso de soldadura GTAW, los parámetros seleccionados para el equipo de soldadura y la destreza del soldador fueron satisfactorios.

De las probetas sometidas al ensayo de doblado de raíz, una de ellas, presentó una discontinuidad de 10.38 mm, en conclusión, una probeta en estas condiciones de acuerdo a la norma AWS D1.6, debe ser rechazada.

Del ensayo de macrografía realizado a la junta soldada, se puede evaluar que el acero inoxidable AISI 430 y la varilla de aporte ER 308L presentan una muy buena soldabilidad entre sí, ya que se aprecia que existe fusión completa y no existen discontinuidades.

De acuerdo a que los resultados obtenidos en los diferentes ensayos normalizados para el acero inoxidable AISI 430 fueron suficientemente satisfactorios, se puede concluir que la varilla de aporte ER 308L, así como el proceso de soldadura GTAW elegidos, son adecuados para la soldadura de este tipo de acero.

A pesar de que el acero inoxidable AISI 430 es un acero ferrítico, lo cual hace que este acero tenga baja soldabilidad, de los resultados obtenidos a través de los ensayos se puede evidenciar que eligiendo un proceso de soldadura adecuado el acero es perfectamente soldable.

3.3 Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se recomienda que para complementar la caracterización de juntas soldadas mediante GTAW a tope de acero inoxidable AISI430, realizar los diferentes ensayos no destructivos como: tintas penetrantes, ultra sonido, radiografía, entre otros.

Después de haber llevado a cabo el proceso de soldadura y antes de realizar los ensayos normalizados de tracción, doblado de cara y raíz. Se recomienda efectuar una inspección visual, que permita descartar imperfecciones superficiales, para lo que se recomienda una limpieza prolija de las probetas y mantenerlas libres de agentes externos, tanto durante su soldadura como durante el desarrollo de los diferentes ensayos aplicados.

Se recomienda cortar las probetas mediante procesos que no aporten calor (corte mediante aserrado, presión de agua a chorro), para evitar que la estructura y las propiedades físicas del material cambien y estropeen los resultados de los ensayos a los que las probetas sean sometidas.

Considerando que el acero inoxidable AISI 430 tiene una estructura ferrítica, que tiende a cambiar su estructura de ferrita a martensita cuando se somete a elevadas temperaturas, lo cual lo convierte en un acero duro y frágil, se recomienda precalentar el material antes de su soldadura, para evitar que cambie su estructura a martensita y sea susceptible a desarrollar discontinuidades como fisuras por el choque térmico.

Al momento de realizar el cordón de soldadura por GTAW, se recomienda realizarla en un ambiente cerrado, de modo que se evite corrientes de aire que provoquen la dispersión del gas argón y se formen poros en el cordón de soldadura.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- American Welding Society. (2010). Welding Processes, Part 1. Miami: AWS.
- Arrieta, E., & Pacheco, F. (2003). SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES Y TIPOS DE JUNTAS . Cartagena: INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR .
- Avner, S. (1988). Introducción a la metalurgia física. México: McGraw-Hill.
- AWS. (2017). Structural Welding Code Stainless Steel. An American National Standard.
- Britannica, T. (2021). Acero Inoxidable. Editors of Encyclopaedia.
- Carvajal, L. (2006). Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- Cona Guzman, J. (2005). Ensayos destructivos y no destructivos de probetas de acero soldadas con electrodos revestidos. Valdivia.
- Contreras Muñoz, A. (2015). Soldadura industrial proceso GTAW.
- EPN. (2021). Espectrometría por chispa. Quito.
- EPN. (2021). Informe técnico. Quito.
- Forero Mora, A. (2010). Metalurgia práctica.
- González Pérez, R. (2013). Fabricación, soldadura, control calidad y reglamentación de equipos criogénicos. Madrid.
- ILPM Engineerin Cía.Ltda. (2021). Informe Macrográfico. Quito.
- INDURA. (2010). Manual Aceros Inoxidables. INDURA S.A.
- Metalurgia. (2020). Area academica de metalurgia. Obtenido de Area academica de metalurgia: <https://www.areametalurgia.com/post/>
- Miraferro. (30 de Mayo de 2018). Miraferro. Obtenido de Miraferro: <https://miraferro.es/?p=184>
- NKS. (21 de 04 de 2020). Acero inoxidable 430. Recuperado el 17 de 04 de 2021, de <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-430/>
- Ospina López, R., Aguirre Corrales, H., & Parra, H. (2007). SOLDABILIDAD EN ACEROS INOXIDABLES Y ACEROS DISIMILES. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira .
- Pazos Peinado, N. (2006). Tecnología de los metales y procesos de manufactura. Caracas.
- Villalobos, D., & Maldonado, C. (2015). Agrietamiento en caliente de la unión soldada de un acero inoxidable ferrítico AISI 430. Veracruz.

5 ANEXOS

ANEXO I. Informe de espectroscopía 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:



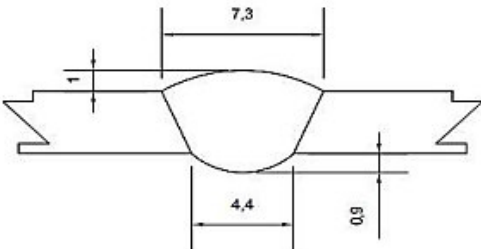
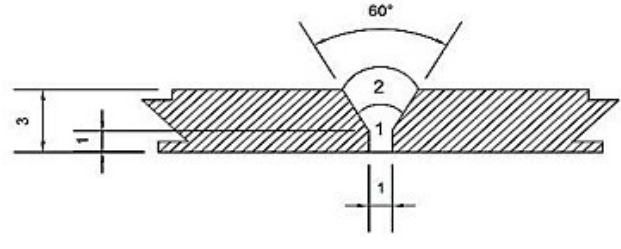
Fe 130 Cr/Ni Steels

4. VALORES OBTENIDOS



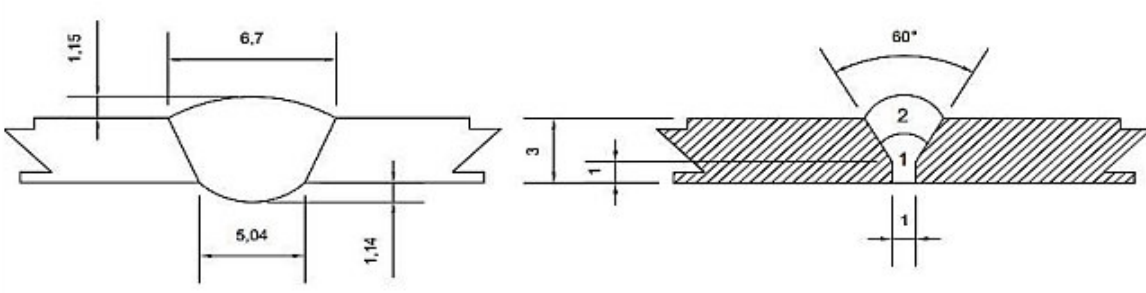
El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se tomaron 3 mediciones en un punto del espécimen y finalmente se promediaron los valores.

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		

ANEXO II. WPS elaborado para la probeta N°1.

		Nombre de compañía: EPN PQR #: Según norma: AWS D1.6		No. Identificación: Probeta N°1 Fecha: 12/01/2022 Realizado por: Cuestas, A. Vásquez, C. Organización: EPN				
Artículo I. Tipo de junta: Tipo de bisel: Abertura Raíz: Ángulo de ranura: Placa de respaldo: Preparar bisel:		Junta Utilizada A Tope En V 1±0.5 mm 1±0.5 mm si: no: X si: X no:		Artículo II. Proceso de soldadura: Tipo de soldadura: Manual: X Semiautomática: Automática: Soldadura a: Un lado: X Dos lados: Cordón de respaldo: si: no: X Limpieza: Pase raíz: Cepillo metálico Pases siguientes: Cepillo metálico		Técnica de soldadura GTAW (TIG)		
Artículo III. Especificación: Largo: Ancho: Espesor:		Metal Base Inox AISI 430 300 mm 125 mm 3 mm		Artículo IV. Posición de soldadura: Progresión: Pases: Técnica:		Técnica de soldadura 1G Empuje: X Arrastre: Un pase: Varios pases: X Oscilado: X Recto:		
Artículo V. Diámetro: Denominación AWS: Casa comercial: Denominación comercial:		Metal de Aporte 2.4 mm (3/32") ER-308L INDURA 308-L		Artículo VIII. Tipo de corriente: Amperaje: Voltaje:		Características Electricas DC- 90-110 A 8-10 V		
Artículo VI. Tipo: Tamaño:		Electrodo EWG 2.4 mm (3/32")		Artículo IX. Temp. Min. Pre calentamiento: Temperatura entre pases:		Pre calentamiento 120°C 35°C		
Detalle de junta: Escala 1:1 Unidades en mm								
								
No. De pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [V]	Vel. De avance [cm/min]	Tecnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [A]			Oscilado	Recto
1	ER-308L	2.4	DC-	98	8	6.8	X	
2	ER-308L	2.4	DC-	102	10	7.5	X	

ANEXO III. WPS elaborado para la probeta N°2.

		Nombre de compañía: EPN PQR #: Según norma: AWS D1.6		No. Identificación: Probeta N°2 Fecha: 12/01/2022 Realizado por: Cuestas, A. Vásquez, C. Organización: EPN				
Artículo I. Tipo de junta: Tipo de bisel: Abertura Raíz: Ángulo de ranura: Placa de respaldo: Preparar bisel:		Junta Utilizada A Tope En V 1±0.5 mm 1±0.5 mm si: no: X si: X no:		Artículo II. Proceso de soldadura: Tipo de soldadura: Manual: X Semiautomática: Automática: Soldadura a: Un lado: X Dos lados: Cordón de respaldo: si: no: X Limpieza: Pase raíz: Cepillo metálico Pases siguientes: Cepillo metálico		Técnica de soldadura GTAW (TIG)		
Artículo III. Especificación: Largo: Ancho: Espesor:		Metal Base Inox AISI 430 300 mm 125 mm 3 mm		Artículo IV. Posición de soldadura: Progresión: Pases: Técnica:		Técnica de soldadura 1G Empuje: X Arrastre: Un pase: Varios pases: X Oscilado: X Recto:		
Artículo V. Diámetro: Denominación AWS: Casa comercial: Denominación comercial:		Metal de Aporte 2,4 mm (3/32") ER-308L INDURA 308-L		Artículo VIII. Tipo de corriente: Amperaje: Voltaje:		Características Electricas DC- 90-110 A 8-10 V		
Artículo VI. Tipo: Tamaño:		Electrodo EWG 2,4 mm (3/32")		Artículo IX. Temp. Min. Pre calentamiento: Temperatura entre pases:		Pre calentamiento 120°C 35°C		
Artículo VII. Especificación: Caudal:		Gas de Protección Ar 100% 15-20 Lt/min		Detalle de junta: Escala 1:1 Unidades en mm				
								
No. De pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [V]	Vel. De avance [cm/min]	Tecnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [A]			Oscilado	Recto
1	ER-308L	2.4	DC-	106	8	10	X	
2	ER-308L	2.4	DC-	110	8	8.5	X	

ANEXO IV. Informe técnico del ensayo de tracción y doblado de cara y raíz de las probetas N°1 y N°2.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

INFORME TÉCNICO

LAEV – M22.007

Quito, 27 de enero de 2022

Solicitado por: M.Sc. Willan Monar
Persona de contacto: Hipatia Cuestas, Carlos Vásquez
Teléfono: 0987536339
Correo: hipatia.cuestas@epn.edu.ec
Fecha de recepción: 24/01/2022
Fecha de ejecución: 26/01/2022

ORDEN DE TRABAJO N°: DM-OTI0012-2022

1. MUESTRAS: Dos (2) probetas de junta soldada para ensayo de tracción y cuatro (4) probetas de junta soldada para ensayo de doblado.

2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: SIMULACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS A TOPE POR TIG EN PLACAS PLANAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 430 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	Ensayo	Id. LAEV
T1-T2	Tracción (junta soldada)	M22.007.01- M22.007.02
DC1-DC2	Doblado de cara	M22.007.03- M22.007.04
DR1-DR2	Doblado de raíz	M22.007.05- M22.007.06

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: 21,4 ± 0,5 °C

Humedad relativa: 55,0 ± 0,6 %

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	
M22.007.01	20,42	2,98	6 552	29 147	69,5	479,0	FMB
M22.007.02	20,48	3,01	6 447	28 677	67,5	465,2	FMB

*FMB= Falla en el material base



5. ENSAYO DE DOBLADO

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de doblado.



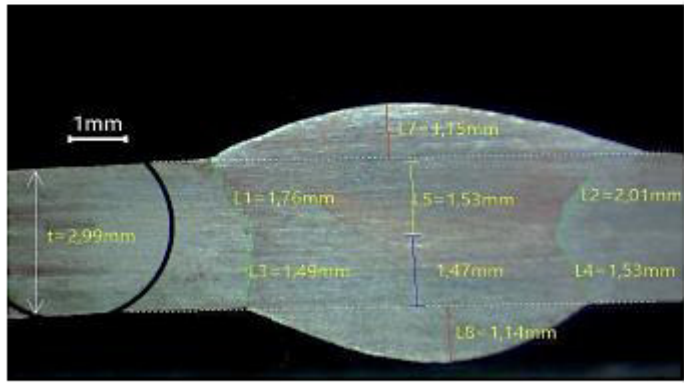


Tabla 3. Resultados del ensayo de doblado

Identificación	Observaciones	Calificación
M22.007.03	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.	Aprueba
M22.007.04	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.	Aprueba
M22.007.05	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.	Aprueba
M22.007.06	Se observa una discontinuidad de 10,38 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba

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:	 Firmado digitalmente por JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELO	WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO  Firmado digitalmente por WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Fecha: 2022.01.27 12:09:10 -05'00'
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABRATORIO	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

ANEXO V. Macrografía probeta N°2.

		ILPM ENGINEERING CIA TDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales			
ID DECLARATIVO ILPM 01-01 Revisión No. 06 Fecha de Rev.: 01/01/2023		REGISTRO DE ENSAYO DE MACROGRAFIA DE SOLDADURA		Informe No. ILPM 2022-025 - MCR	
Cliente:	Abigail Cuestas	Fecha de Ensayo:	20/1/2022		
Solicitante:	Abigail Cuestas	Número de macros:	1		
Temperatura:	20±3°C	Humedad:	60±20%	Instrumento de medición:	INST-30 Micrómetro
Fiscalización:	----		Calibración: 17/08/2021	Próx. Calibración: 17/02/2023	
Elemento:	GTAW (1G) / Soldador Jorge Arévalo / AISI 430 3 mm				
CONFORME NORMA AWS D1.6 (Stainless Steel Welding Code)					
MACRO N°	ESTAMPA SOLDADOR	ID PROBETA	WPS		
1	W144	M2	NA		
RESULTADOS DE EVALUACIÓN (U=±0,1mm)					
DENOMINACIÓN		ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
L1=L2 = Longitud de piernas		Debe conocerse el tamaño mínimo de pierna	1,76 y 2,01	x	
L3=L4= Longitud de piernas		Debe conocerse el tamaño mínimo de pierna	1,49 y 1,53	x	
L5=L6 = Garganta		-----	1,53 y 1,47	x	
L7 y L8 = Concavidad y Convexidad		Ligeramente Convexo o Cóncavo	1,15 y 1,14	x	
Fusión de la raíz		Debe existir fusión	Existe	x	
Grietas		No se aceptan	No se evidencia	x	
Fusión entre capaz adyacentes		Debe existir fusión	Existe	x	
Fusión entre material base y soldadura		Debe existir fusión	Existe	x	
Mordeduras		≤ 1 mm	No se evidencia	x	
<p><small>*NOTA: Los resultados presentados corresponden únicamente a las probetas extraídas y analizadas. SU Representa la incertidumbre de medición del método de ensayo. Para la Aceptación (A)/Rechazo (R) se toma en cuenta la incertidumbre de medición (SU) del método de ensayo y la regla de decisión acordada.</small></p>					
			<p>RESULTADO: APROBADO</p>		
<p>COMENTARIO: El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.6</p>					
Realizado Por:	Aprobado Por:	Cliente:	Fiscalización:		
					
Ing. Plinio Pazos	Ing. Iván Estupiñán				
Laboratorio ILPM Cía. Ltda.	CWI 09111401	Abigail Cuestas			