VALIDACIÓN DE UN PROCESO DE SOLDADURA (GTWA) PARA LA FABRICACION DE PERFILERIA ESTRUCTURAL:

CASO DE ESTUDIO PERFILERIA FABRICADA POR LA EMPRESA ICOPERFILES S.A

JORGE ANDRÉS ARIZA ARDILA
CRISTIAN FERNANDO GÓMEZ BARRANTES

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA, MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA
BOGOTÁ
2021

VALIDACIÓN DE UN PROCESO DE SOLDADURA (GTWA) PARA LA FABRICACION DE PERFILERIA ESTRUCTURAL:

CASO DE ESTUDIO PERFILERIA FABRICADA POR LA EMPRESA ICOPERFILES S.A

JORGE ANDRÉS ARIZA ARDILA
CRISTIAN FERNANDO GÓMEZ BARRANTES
Ingeniería mecánica

Monografía para optar por el título de ingenieros mecánicos

ING. ALEXANDER ALVARADO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA, MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA
BOGOTÁ
2021

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 7
INTRODUCCIÓN 8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 9
2. ANTECEDENTES 10
3. JUSTIFICACIÓN 13
4. OBJETIVOS 15
4.1 Objetivo general 15
4.2 Objetivo especifico 15
5. MARCO TEÓRICO 16
5.1 Proceso de Soldadura 16
5.2 Gas Tugsten Arc Welding (Gtaw) O Tungsten Inert Gas (Tig) 16
5.2.1 Ventajas de soldadura GTAW 17
5.2.2 Equipo de soldadura GTAW 18
5.2.3 Tipo de gases de protección 18
5.2.4 Selección del gas de protección 18
5.2.5 Electrodo de uso 18
5.3 Calificación del procedimiento de Soldadura 19
5.3.1Calificación general WPS 19
5.3.2 Registro de la calificación de WPS 20
5.3.3 Variables del proceso 20
5.3.4 Voltaje diferencial de potencial 20
5.3.5 Amperaje 20
Figura. 5 variables del proceso 21
5.3.6 Espesor de metal base 21
5.3.7 Posición de soldadura 21
5.3.8 Clases de electrodos 22
5.3.9 Velocidad de avance y calor aportado 22
5.4 Especificación del procedimiento de Soldadura (WPS) 24
5.5 Registro de calificación del procedimiento (PQR) 24
5.6 Diseño de juntas 25
5.6.1 calificación de juntas para proceso de WPS 26
5.7 Norma ASTM A1011 26
5.7.1 Grados y símbolos 26
5.7.2 Propiedades mecánicas 27
5.7.3 Composición química 28
5.8 Perfil estructural 28

5.9 Elaboración de perfil 29
5.10 Laminados en caliente Hot rolled 29
6. FABRICACION DE PERFILES ESTRUCTURALES CERRADOS 30
6.1 Transporte y almacenamiento de materia prima 30
6.2 Proceso de corte y preparación de juntas 32
6.3 Conformación de perfiles estructurales cerrados. 34
6.3.1 Diagrama de flujo de proceso para arranque de conformadora 36
6.3.2 Aplicación de método GTWA en la fabricación de perfiles metálicos. 39
7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 41
7.1 Obtención de muestras 41
7.2 Corte de probetas 43
7.2 Fabricación de probetas 44
7.4 Ensayos de flexión o doblez guiado 48
7.5 Ensayo de tracción 51
8. VALIDACION Y RESULTADOS ESPERADOS 55
8.1 Resultados ensayo de tracción 55
8.1.1 Resultados ensayo de tracción probeta 1,5 mm 56
8.1.2 Resultados ensayo de tracción probeta 2 mm 57
8.1.3 Resultados ensayo de tracción probeta 3 mm 58
8.2 RESULTADOS ENSAYO DE FLEXIÓN O DOBLEZ GUIADO 59
8.2.1. Resultados ensayo de flexión o doblez guiado probeta 1,5 mm 59
8.2.2. Resultados ensayo de flexión o doblez guiado probeta 2 mm 60
8.2.2. Resultados ensayo de flexión o doblez guiado probeta 3 mm 61
9. ELABORACIÓN DE ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) SEGÚN EL CÓDIGO ASME SECCIÓN IX 62
9.1 Especificaciones Del Procedimiento De Soldadura (WPS) Lamina 1.5 Mm 63
9.2 Especificaciones Del Procedimiento De Soldadura (WPS) Lamina 2mm 64
9.3 Especificaciones Del Procedimiento De Soldadura (WPS) Lamina 3mm 65
10. ELABORACIÓN DEL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) SEGÚN LA SECCIÓN IX DEL CÓDIGO ASME 66
10.1 Registro De Calificación De Procedimiento (PQR) Lamina 1.5 Mm 67
10.2 Registro De Calificación De Procedimiento (PQR) Lamina 2mm 69
10.3 Registro De Calificación De Procedimiento (PQR) Lamina 3mm 71
11. CONCLUSIONES 73
12. BIBLIOGRAFIA 74

INDICE DE IMAGENES

Figura. 1 Proceso de GTWA 16
Figura. 2 aplicación de GTWA 17
Figura. 3 equipo de soladura GTAW 18
Figura. 4 clasificación de soldadura 20
Figura. 5 variables del proceso 21
Figura. 6 posición de soldadura 21
Figura. 7 ASME normativa de juntas G1 25
Figura. 8 ASME diseño de juntas 25
Figura. 9 ASME calificación de juntas G1 26
Figura. 10 grados y simbología 27
Figura. 11 propiedades mecánicas 27
Figura. 12 composición química 28
Figura. 13 estructura para codificación de aceros estructurales 29
Figura. 14 norma de acero HR 30
Figura. 15 Transporte de materia prima del puerto a la planta de producción 31
Figura. 16 transporte interno de bobinas 31
Figura. 17 línea de corte o slitter line 32
Figura. 18 Desenrollador, operación de corte de lamina 33
Figura. 19 Cortadora de lamina 33
Figura. 20 Enrollador de lamina 34
Figura. 21 almacenamiento de cintas o bobinas para producción de perfiles 34
Figura. 22 ubicación de bobina de lámina, en carreta de conformadora 35
Figura. 23 Equipo de soldadura, flujómetro y tablero de control de conformadora 37
Figura. 24 salida etapa de soldadura 38
Figura. 25 corte de perfil, salida de conformadora 38
Figura. 26 rodillo pisador, etapa anterior a la etapa de soldadura 39

Figura. 27 etapa de soldadura, aplicación de método GTWA sin aporte 40
Figura. 28 etapa de soldadura, aplicación de método GTWA sin aporte 40
Figura. 29 salida etapa de soldadura 41
Figura. 30 Esquema de dimensiones para probetas de ensayos de tracción según Código ASME 42
Figura. 31 Esquema de probeta ara ensayo de flexión o dobles guiado y máquina de ensayos. 42
Figura. 32 perfil 10x10 conformadora Icoperfiles S.A 43
Figura. 33 Corte perfil 10 x 10 43
Figura. 34 corte de perfil 10x10 para fabricación de probeta 44
Figura. 35 Desdoble de probetas 44
Figura. 36 Aplicación de capa de vinilo blanco 45
Figura. 37 Proceso de mecanizado probetas de estudio 46
Figura. 38 Pobretas para ensayos en 1.5 mm 46
Figura. 39 probetas para ensayos en 2 mm 47
Figura. 40 Probetas para ensayos en 3 mm 47
Figura. 41 probetas de flexión 1,5mm, 3mm 48
Figura. 42 diagrama de fuerza cortante y momento flector 49
Figura. 43 prueba de flexión probeta de 2 mm 49
Figura. 44 probetas falladas 2 mm 50
Figura. 45 prueba de flexión probeta de 3 mm 50
Figura. 46 probetas de tracción 1,5 mm, 2 mm, 3 mm 51
Figura. 47 diagrama de tracción 52
Figura. 48 diagrama fuerza vs alargamiento 52
Figura. 49 prueba de tracción 1,5 mm 53
Figura. 50 prueba de tracción 2 mm 53
Figura. 51 ruptura de probeta 3 mm por tracción 54
Figura. 52 equipo de flexión y tracción Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu). 54
Figura. 53 propiedades químicas y mecánicas acero en caliente (HOT ROLLED) 55
Figura. 54 grafica esfuerzo deformación probeta 1,5 mm 56
Figura. 55 grafica esfuerzo deformación probeta 2 mm 57
Figura. 56 grafica esfuerzo deformación probeta 3 mm 58
Figura. 57 grafica esfuerzo deformación probeta 1.5 mm 59
Figura. 58 grafica esfuerzo deformación probeta 2 mm 60
Figura. 59 grafica esfuerzo deformación probeta 3 mm 61

RESUMEN

En este documento se encuentra el proceso para elaboración de especificación de procedimiento de soldadura (WPS) y la elaboración de registro de calificación de procedimiento (PQR) según el código ASME sección IX, con esto se busca obtener un desarrollo óptimo en la unión de juntas soldadas por medio del método de soldadura GTWA sin aporte, aplicado por la empresa ICOPERFILES S.A. para la fabricación de sus perfiles metálicos.

Para llevar a cabo la elaboración del WPS y el PQR, se realizaron análisis basados ensayos de tracción y flexión o doblez guiado, además de inspecciones visuales realizadas a veinte cuatro probetas de estudio, siguiendo los requerimientos del código ASME, se efectuaron los procedimientos que permiten garantizar la calidad del proceso y por ende la calidad de los productos fabricados por la empresa ICOPEFILES S.A.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de la industria lleva a las empresas a mejorar constantemente sus procesos de producción y la calidad de estos, todo con el fin de ser más competitivos y poder brindar al consumidor la confiabilidad de la calidad de sus productos.

En el contenido de este documento se encuentra el procedimiento que se llevó a cabo para elaboración de especificación de procedimiento de soldadura (WPS) y la elaboración de registro de calificación de procedimiento (PQR) según los requerimientos del código ASME, para la aplicación del método de soldadura GTWA sin aporte, el cual es usado por la empresa ICOPERFILES S.A. para la

fabricación de sus perfiles metálicos.

Además, se muestran los ensayos de tracción y flexión o dobles guiado que se realizaron a veinticuatro probetas extraídas de los perfiles fabricados por ICOPERFILES S.A, y sus respectivos resultados, los cuales respaldan el WPS y el PQR con el que se busca obtener un desarrollo óptimo en la unión de juntas soldadas para la fabricación de los perfiles metálicos y brindar la confianza a los clientes sobre la calidad de los productos que la empresa fabrica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ICOPERFILES S.A es una empresa que está en proceso de expansión en el mercado de la perfilería metálica estructural, buscando como objetivo garantizar sus métodos de fabricación y el progreso de sus productos sean óptimos y confiables en las acreditaciones industriales, aprobando los requerimientos de calidad que le permitan brindar confiabilidad a sus clientes. En la actualidad esta entidad no cuenta con un proceso de sistema de calidad que permita realizar una trazabilidad documental con respecto a sus técnicas de soldadura sin aporte, siendo esta una falencia considerable al desarrollo de certificaciones y metodologías, para la acreditación de eventos relacionados con ciencias de la

soldadura.

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior, se pretende abordar el estudio para llevar a cabo la elaboración de especificación de procedimiento de soldadura (WPS) y la elaboración de registro de calificación de procedimiento (PQR) según los requerimientos del código ASME, para el método de soldadura GTWA sin aporte, el cual es usado durante su proceso de fabricación de perfilería metálica estructural cerrada, permitiendo a la empresa tener una visión más concreta con respecto a esta técnica y su debido registro.

Con este estudio se pretende obtener un desarrollo óptimo en la unión de juntas soldadas para la fabricación de los perfiles metálicos estructurales, elaborados por la empresa y serán respaldados por los resultados obtenidos en ensayos destructivos y no destructivos que serán implementados a las probetas extraídas de perfiles fabricados por la empresa, ampliando el panorama de sus procesos y brindando un sistema de calidad para el desarrollo de su técnica de soldadura sin aporte.

2. ANTECEDENTES

- **"Diseño, especificación y calificación de un procedimiento de soldadura (WPS) con proceso GMAW, para láminas de acero de bajo carbono en posición vertical descendente",** en este documento se puede analizar el desarrollo presentado por el ingeniero Alonso Illeras Lara de la universidad libre de Colombia, en el cual está enfocado al diseño de una unión soldada en estructuras industriales, para lo cual la soldabilidad en las láminas Calibre #12 (2.65 mm o 0.1046") de material base ASTM A36/A36M -12 consiste en garantizar que el momento de realizar un WPS a este tipo de material se cumpla con los parámetros establecidos por la soldadura y no se presente impurezas, tales como manchas, contaminantes inorgánicos, herrumbre o escoria, de aleaciones de metales ferrosos, cobre, y aluminio, a su vez el procede a la explicación de diligenciar los formatos (WPS) (Welding Procedure Specification), por medio de estos parámetros, el desarrolla un documento para el diseño de la unión soldada, es por esto que la soldabilidad, es la aptitud que tiene un metal o aleación para ser unidos sin que presente fragilidad cumpliendo los requisitos mecánicos necesarios.

El presenta otra razón en el diseño de la unión soldada, permitiéndonos analizar e identificar la perforación de la lámina, compartiendo su investigación y así adjuntando dicha información para la especificación en el diseño del WPS, con parámetros necesarios tener presente el desarrollo de nuestra temática de una soldadura sin aporte y su registro de calificación (Lara Illeras, 2016).[1]

- **"Influencia de la utilización de insertos de varilla corrugada sobre las soldaduras de perfil estructural"** esta tesis presentada por Los ingenieros Miguel Ángel Pérez Cargua y Luis Miguel Pullas Rea de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo de Ecuador, nos presenta su aporte con la influencia del inserto de varilla en el perfil estructural en donde su objetivo se centra en el proceso de unión de las juntas soldadas, principalmente por la resistencia y seguridad que se requiere en los servicios, para ello analizan los diversos estándares para el diseño y control de la calidad de la soldadura tales como AWS, ASTM, ASME, API, entre las más difundidas. En el caso de construcción estructural los estándares más usados son el AWS D1.1 y el AWS D1.3, en el desarrollo de su temática nos permitió analizar la importancia del inserto en la perfilería estructural, dándonos como parámetro de ajuste la importancia de esta en el planteamiento de nuestra temática con perfilería estructural sin aporte que estamos implementando.

  Estos estándares ofrecen parámetros referenciales relacionados principalmente con las técnicas y procedimientos para evaluar la calidad de las juntas soldadas en estructuras metálica, a su vez ellos contemplan la importancia del material a soldar (varilla corrugada) para llevar un procedimiento de soldabilidad acorde al material que se emplea por otro lado, es bien conocido que las propiedades mecánicas de los materiales dependen de su macro y microestructura, que están en función de la composición del material y de las transformaciones de fase que se producen durante la solidificación y posterior enfriamiento hasta llegar a la temperatura ambiente y luego hasta la de trabajo. Es por esto que el desarrollo de esta tesis se inclina en la inspección de soldaduras realizadas en estructuras metálicas se ha verificado que, en varias uniones de perfiles estructurales, generalmente en cumbreros, se utiliza varilla con resaltes para hormigón armado como elemento de relleno de estos perfiles. La composición química del acero de los perfiles corresponde a la designación AISI 1010 mientras que la varilla corrugada para refuerzo de construcción, según análisis de fases correspondería a la designación AISI 1026, esto permite tener observaciones de parámetro de entrada óptimos para información relevante para la perfilería que estamos desarrollando sin aporte (Pérez y Pullas, 2009).[2]

- **"Influencia de los parámetros del proceso de soldadura GTAW en la aparición de porosidades en juntas de tuberías de acero SA 106 gr"** en este otro documento desarrollado por El ingeniero Argel Porrello de la Universidad de Carabobo de Valencia describe como se debe realizar el debido proceso de la soldadura, es por esto que la correcta selección y control de los parámetros inherentes al proceso es crucial para la obtención de un cordón de soldadura uniforme y con un mínimo de defectos, teniendo presente dicha información

[1] (Lara Illeras, 2016)

[2] (Pérez y Pullas, 2009)

procedemos a tenerla presente en el desarrollo de nuestro documento con respecto al proceso experimental del perfil estructural de trabajo. A partir de esto los factores como la intensidad de corriente, la velocidad de pasada del electrodo, el flujo de argón (gas protector), entre otros, deben manejarse dentro de los valores normalizados para garantizar la calidad de la soldadura. Además, es necesario contar con soldadores altamente calificados para dicha labor.

El realizo dicho procedimiento en la empresa TRIME, C.A. para así poder analizar las variables a estudiar, la empresa TRIME, C.A, efectúo una evaluación del rendimiento de cada soldador participante en el proyecto.
Esto se determina mediante un indicador porcentual denominado "Índice de Rechazo de Soldadura por Soldador", el cual representa el número de juntas soldadas con defectos 20 fuera de la tolerancia permitida por el código de construcción, realizadas por dicho soldador, respecto a la muestra de estudio seleccionada, esta muestra está basada en los requerimientos y especificaciones del cliente y el Código de Construcción aplicable.

La detección de defectos en las juntas se realiza mediante la aplicación de Gammagrafía Industrial (parte interna del cordón de soldadura) y tintes penetrantes (partes superficiales del cordón de soldadura) a la muestra seleccionada (Porrello Argel, 2015).[3]

- **"Procedimiento de una soldadura para la empresa REVOCONSTRUCIONES- ANALISIS DE SOLDADURA"** presentada por el ingeniero Henao Lisandro contreras, de la universidad de la Amazonia nos presenta un tema para la optimización de sus labores con respecto a herramientas que permiten el desarrollo de estantería industrial, (montajes petroleros), permitiéndonos asociarlos de manera productiva en una de las necesidades que tiene la empresa de ICOPERFILES, la cual estamos analizando es el desarrollo del documento base. El objetivo de esta temática es someter a estudio por medios computacionales (ANSYS) la aplicación de la soldadura en materiales y así poder determinar estructuralmente la soldadura en montajes estructúrales, como lo son la extracción del crudo y por ello necesitan que las herramientas y uniones sean de alta fiabilidad sin importar el costo de inversión (Henao, 2016).[4]

[3] (Porrello Argel, 2015)
[4] (Henao, 2016)

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realiza con la finalidad de presentar un sistema de trazabilidad para un proceso de calidad de soldadura sin aporte, que permita el desarrolla para asegurar el cumplimiento de los requerimientos mecánicos, químicos y físicos de la soldadura aplicada y los procesos que se llevan a cabo, en la fabricación de perfiles metálicos de la empresa ICOPERFILES S.A; ya que, esta busca garantizar que sus productos fabricados con lamina Hot Rolled avalada por la norma ASTM A 1011 HS50-2 cumplan con la conformidad de los requerimientos de calidad exigidos para este tipo de elementos metálicos, dejando las falencias de no registrar los eventos de procesos de soldadura y permitiendo a través de inspecciones y anexos información detallada de esta técnica, respaldado por un WPS, que permita tener un control y certificado de este proceso .

La implementación de este proyecto permite a la empresa de ICOPERFILES S.A

tener un mejor panorama en el proceso de perfilaría estructural que implementa ellos en el mercado laboral, reconociendo los beneficios que tiene la unión de juntas sin aporte, en un entorno de estructura pesada implementando análisis de procesos, por medio de ensayos de elementos de prueba (probetas), que garantice la obtención y análisis de datos, que permita un registro impecable en el proceso de soldadura sin aporte, al realizar dicho análisis en este proyecto se pretende ilustrar una opción de perfilería de mayor resistencia y de gran fiabilidad para la empresa.

Para el desarrollo de la perfilería estructura de ICOPERFILES S.A implementa procesos de juntas con aportes y en proporción a estados medios, es por esto que se pretende con este proyecto ilustrar y dar a conocer una nueva implementación de unión de juntas certificadas, que puede trabajar esta empresa y así mismo, seguir parámetros por la norma ASTM A1011HS50-2, que respalde la labor presentado en esta técnica.

4. OBJETIVOS

4.1 **Objetivo general**

Desarrollar una especificación de un procedimiento de soldadura (WPS) y su registro de calificación (PQR), para la unión de juntas a tope, con un proceso GTAW bajo la sección IX del código ASME.

4.2 **Objetivo especifico**

- Fabricar las probetas necesarias para los ensayos, teniendo en cuenta las especificaciones de las normas ASTM y el codigo ASME para realizar los diferentes ensayos.

- Realizar ensayos destructivos y no destructivos que permitan analizar la calidad del proceso de soldeo aplicado en la junta de la lámina.

- Analizar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos aplicados a las diferentes probetas.

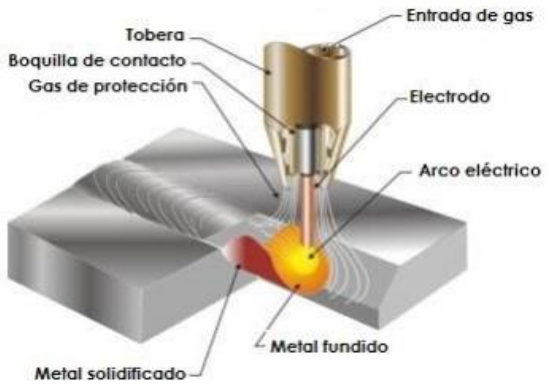
- Validar el procedimiento de soldeo según los resultados de los análisis realizados, teniendo en cuenta las especificaciones de la norma ASME.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Proceso de Soldadura

Proceso que se puede describir como la acción de unir dos materiales a través de la coalescencia de estos, es un recurso tecnológico utilizado en la industria, presentándose esta en alguna etapa de fabricación. La mayoría de los procesos de soldadura requieren la generación de altas temperaturas locales que permite la unión de metales. El tipo de la fuente de calor se utiliza a menudo como una descripción básica del tipo de procedimiento, tales como la soldadura de gas y la soldadura por arco. El grado de desarrollo de esta técnica ha ido guiando el avance de las industrias energéticas, transporte, aeroespacial y electrónica, que no hubieran llegado al estado actual sin investigar, desarrollar y aplicar este proceso, destacado por su versatilidad y economía.

Figura. 1 Proceso de GTWA



Fuente: proceso de soldadura GTWA

5.2 Gas Tugsten Arc Welding (Gtaw) O Tungsten Inert Gas (Tig)

GTAW El proceso de soldadura TIG (tungsten inert gas), identificado por la AWS como Gas Tungsten Arc Welding-GTAW, es un proceso de soldadura por arco eléctrico, que se establece entre un electrodo de tungsteno y la pieza a soldar, bajo la protección de un gas inerte que evita el contacto del aire con el baño de fusión y con el electrodo, que se encuentran a alta temperatura.

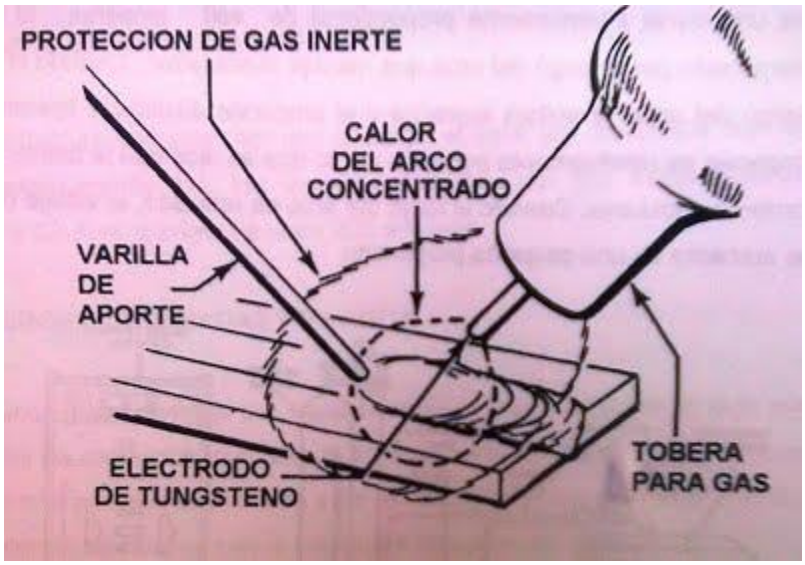
El electrodo de tungsteno está sujeto a una antorcha que le transmite la corriente eléctrica e inyecta el gas de protección; puede estar refrigerada y es alimentada por una fuente de poder que puede ser de corriente continua o alterna. El metal

de aporte, cuando es necesario, se agrega directamente a la pileta líquida (GTAW 2015).[5]

La soldadura por arco de tungsteno y gas (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW) es un proceso de soldadura por arco donde se utiliza un arco entre el electrodo y el charco de soldadura, en el proceso se emplea un gas de protección sin presión. La adición de metal es aporte es opcional.

El proceso GTAW se ha vuelto una herramienta indispensable en muchas industrias en virtud de la alta calidad de las soldaduras producidas.

Figura. 2 aplicación de GTWA



Fuente: Aplicación de soldadura GTWA

5.2.1 Ventajas de soldadura GTAW

las ventajas que presenta los procesos de soldadura por GTAW ayudan en gran proporción a identificar técnicas que ayuden con el proceso de soldadura, entre los cuales se presenta:

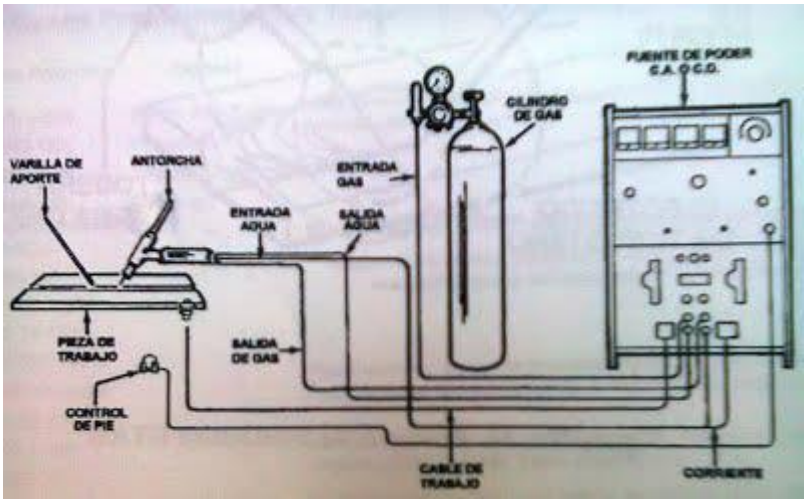
- Desde que el material de aporte no cruza el arco
- El chisporroteo no es problema
- Como en los otros procesos de gases protectores, el área a soldar es
- limpia al final del depósito de soldadura.

[5] (GTAW 2001)

5.2.2 Equipo de soldadura GTAW

El equipo usado con el proceso incluye una fuente de poder, antorcha con cables eléctricos, suministro de gas protector con mangueras, suministro de agua para enfriamiento y un control de pedal. La fuente de poder es de tipo corriente constante.

Figura. 3 equipo de soladura GTAW



Fuente: equipo de soldadura GTWA

5.2.3 Tipo de gases de protección

El argón y el helio o la mezcla de estos dos son los más comunes de gas inerte empleados como escudos de protección, dependiendo el volumen a utilizar a estos gases pueden ser suministrados por cilindros o en tanques aislados.

.

5.2.4 Selección del gas de protección

En la mayor parte de las aplicaciones puede utilizarse el argón, helio o una mezcla de estos con la posible excepción de las soldaduras en materiales delgados, donde el argón es indispensable. En general, este gas produce un arco que opera de manera más uniforme y silenciosa, se maneja con mayor facilidad y es menos penetrante que un arco escudo el menor costo unitario y las tasas de flujo más bajas del argón hacen de este gas el preferido desde el punto de vista.

5.2.5 Electrodo de uso

Argón En GTAW la palabra tungsteno se refiere al elemento tungsteno puro y a sus diferentes aleaciones de tungsteno empleadas como electrodos. Los electrodos de tungsteno son no consumibles si el proceso se emplea como es

debido, ya que no se derrite ni se transfiere a la soldadura. El punto de fusión del tungsteno es 3, 410 ºC.

5.3 Calificación del procedimiento de Soldadura

Para obtener soldaduras satisfactorias, diversos códigos y especificaciones requieren que los procedimientos de soldadura sean probados. Existen dos tipos básicos de calificación en el área de soldadura; calificación del Procedimiento y Calificación del Personal. El primero tiene en cuenta el diseño de la junta, posición, material base, material de aporte, procesos de soldadura y sus parámetros como: precalentamiento, temperatura entre pases y tratamiento de post-calentamiento. La calificación de los soldadores u operarios de soldadura dependen de cada código desarrollado, se debe establecer una Especificación del Procedimiento de Soldadura en donde se indiquen tales variables. La prueba del procedimiento de soldadura es ejecutada por el fabricante o contratista de acuerdo con los parámetros dados por el código en particular. Los resultados de las pruebas de calificación del procedimiento de soldadura son registrados en un documento llamado PQR y es usado como base para respaldar el procedimiento de calificación (J.j 2001).[6]

5.3.1Calificación general WPS

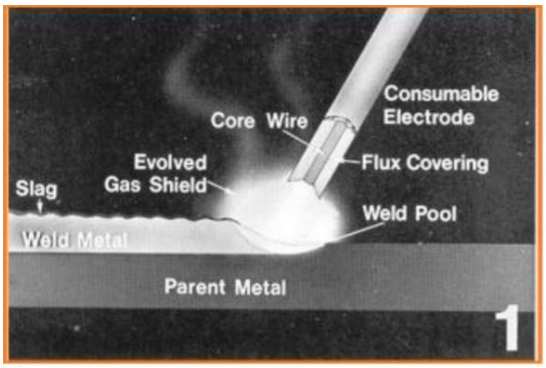
La especificación de procedimiento del WPS es un procedimiento de soldadura calificado escrito preparado para proveer las directrices para realizar soldadura de producción según los requerimientos del código. La WPS u otros códigos se puede usar para proveer dirección al soldador u operador de soldar para asegurar cumplimientos con los requerimientos del código.

Los contenidos de la WPS deberán describir todas las variables esenciales suplementarias para cada uno de los procesos de soldadura de la WPS estas variables están en lista y definidas en el artículo IV, datos de soldadura. La WPS deberá referenciar el soporte de registros calificados de procedimientos la organización puede incluir cualquier tipo de organización que pueda ser útil al hacer el conjunto soldado según el código.

El WPS deberá describir todas las variables esenciales, no esenciales y cuando se requiera, las variables esenciales suplementarias para cada proceso de soldadura usado en el WPS. Estas variables están listadas en QW-253. La información que debe incluirse en el WPS puede estar en cualquier formato, escrito o tabulado, que se ajuste a las necesidades de cada fabricante o contratista, siempre que cada una de las variables esenciales.

[6] (J.j 2001)

Figura. 4 clasificación de soldadura



Fuente: procedimiento de soldadura

5.3.2 Registro de la calificación de WPS

Documento que valida y califica un WPS; en él se registran los valores reales medidos de las variables del procedimiento de soldadura, mediante la ejecución de una soldadura de calificación en un cupón de prueba estandarizado; además de incluir los valores de los resultados adquiridos de los ensayos mecánicos de tensión, dobles, sanidad, dureza y macrografía, entre otros. La mayoría de los códigos y especificaciones requieren pruebas, para que los soldadores y otros trabajadores garanticen la habilidad esperada para seguir con éxito el procedimiento de soldadura. Para esto, es necesario que los soldadores hagan soldaduras específicas que se prueban, verificando que el soldador puede llevar a cabo la soldadura con la calidad exigida.

5.3.3 Variables del proceso

Los campos de los formatos WPS, PQR y WPQ, se diligencian con valores numéricos de las denominadas variables, las cuales representan el dato numérico de un valor asignado al quehacer del soldador, en la ejecución de una soldadura que cumpla con los requisitos de calidad de un documento normativo.

5.3.4 Voltaje diferencial de potencial

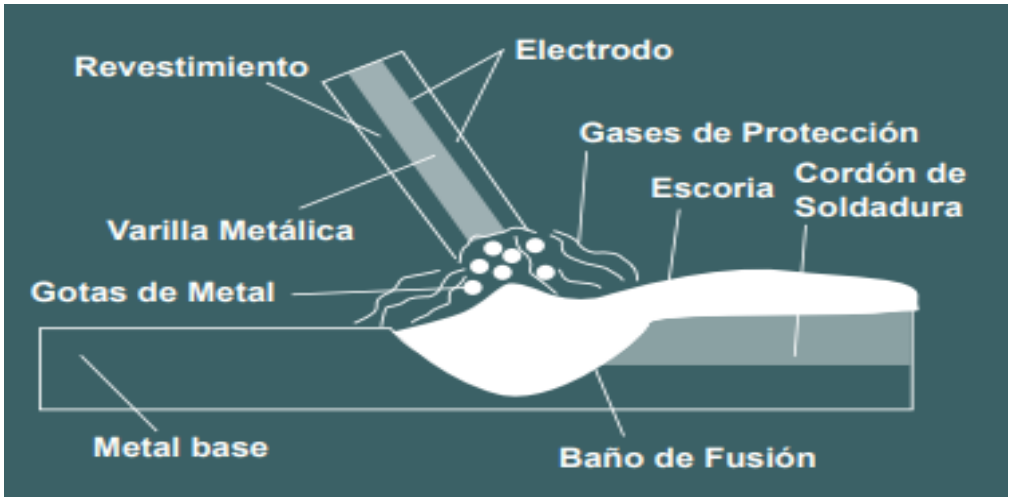
Valor de la tensión eléctrica entre una pinza de masa y la punta del electrodo para soldar, el cual varía en función del diámetro del electrodo de soldadura y del espesor del metal base.

5.3.5 Amperaje

Amperaje Número de electrones que fluyen entre el metal base y el electrodo; genera un arco eléctrico de gran calor (más de 5000ºC) que funde los metales base y aporte, creando el cordón de soldadura.
Diámetro del electrodo Tamaño del electrodo, en función del cual (su diámetro) se requiere de mayor o menor cantidad de voltaje y amperaje (WPS-WQR, 2018)[7]

[7] (WPS-WQR, 2018)

Figura. 5 variables del proceso



Fuente: registro y variables WPS - soldadura

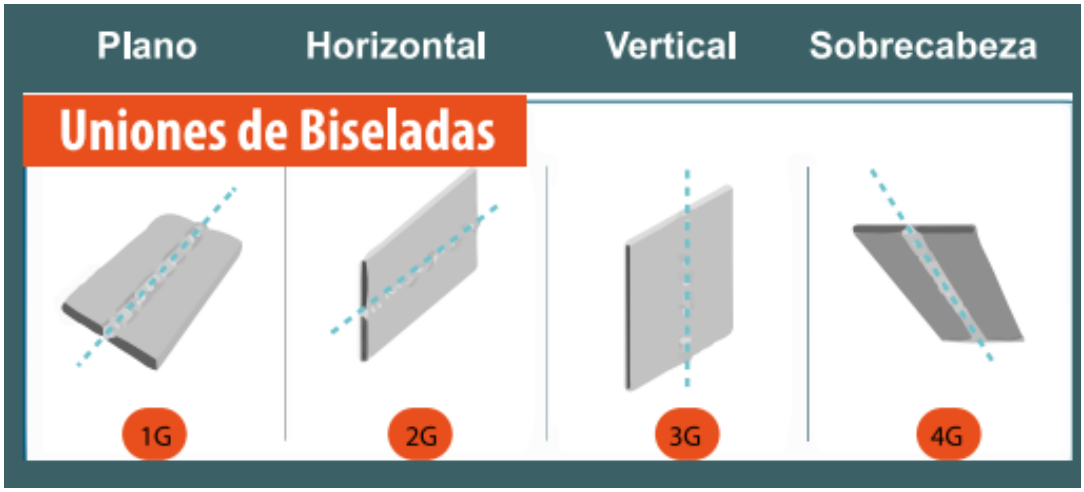
5.3.6 Espesor de metal base

Tamaño del metal a unir en configuraciones de juntas; en él se generan los denominados biseles.

5.3.7 Posición de soldadura

Según la disposición de las uniones de soldadura, se configurarán 4 ubicaciones geométricas que determinan la manera de aplicar un cordón de soldadura.

Figura. 6 posición de soldadura



Fuente: registro y variables WPS – soldadura

5.3.8 Clases de electrodos

La clasificación dada por AWS establece los tipos de electrodos para soldar, unos son de penetración, otros de relleno y otros para presentación.

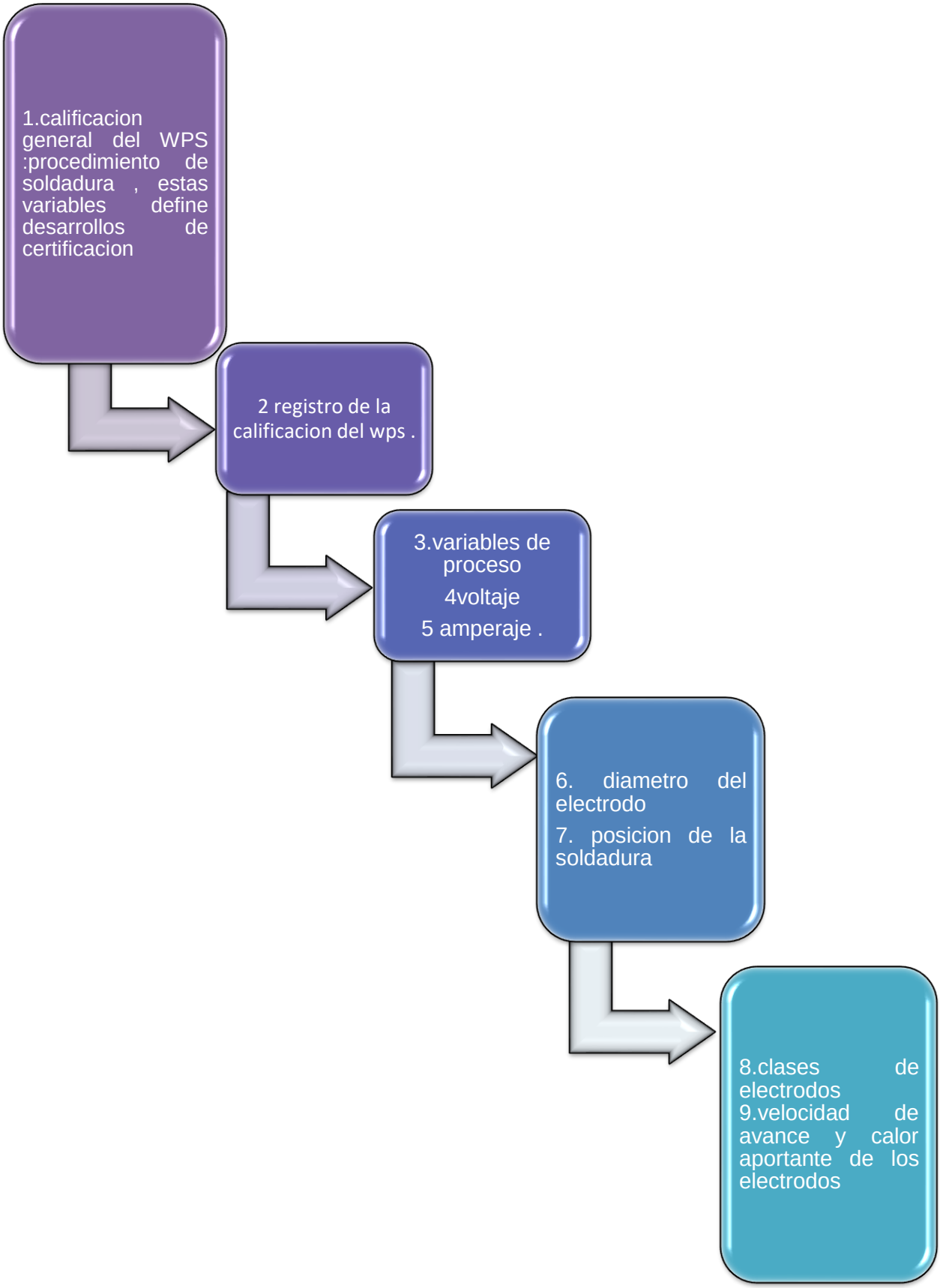
5.3.9 Velocidad de avance y calor aportado

Es la rapidez con la cual un soldador avanza en una junta a soldar; generalmente se determina en cm/min o pulgadas/min. Es la relación de la multiplicación del voltaje por el amperaje dividido por la velocidad de avance; su resultado estará dado en unidades de potencia sobre unidades de longitud.

Cada cordón de soldadura crea en la superficie del depósito una capa denominada escoria, esta se debe limpiar para que el siguiente cordón o capa de soldadura genere una unión metalúrgica entre pases. Generalmente se limpia con pica escoria o grata manual, recientemente con grata circular entorchada puesta en una pulidora industrial.

Es la relación de la multiplicación del voltaje por el amperaje dividido por la velocidad de avance; su resultado estará dado en unidades de potencia sobre unidades de longitud.

DESARROLLO Y PROCESO GENERAL WPS



5.4 Especificación del procedimiento de Soldadura (WPS)

El WPS es un documento que relaciona las variables a considerar en la realización de una soldadura específica, determina la ejecución de las pruebas de calificación tanto de proceso, como del operario de soldadura (ASME, 2013).[8]

- Variables esenciales: Las variables esenciales son aquellas en las que un cambio con respecto a lo descrito específicamente en el código afecta las propiedades mecánicas de la soldadura obtenida y por lo tanto requiere recalificación.

- Variables suplementarias: Las variables esenciales suplementarias son las que afectan las propiedades de tenacidad de los materiales a bajas temperaturas, estas variables deben tenerse en cuenta cuando alguna sección del código o de la especificación lo exija.
- Variables no esenciales: Las variables no esenciales son las que al cambiarse no ocasionan efectos apreciables en las soldaduras. El WPS debe definir las diferentes variables con los valores precisos o los rangos aceptables para ser utilizados al hacer las soldaduras. (ASMEII, 2013, págs. 52-58).

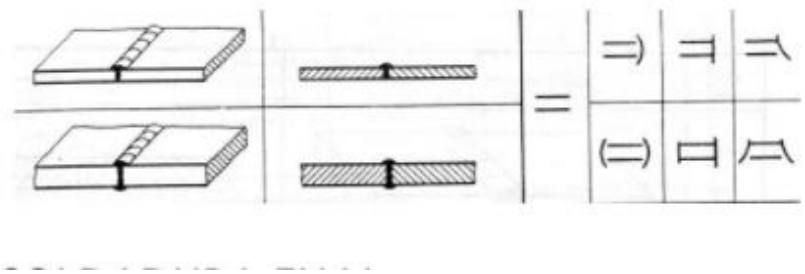
Una especificación de procedimiento es un documento escrito que suministra a la persona que aplica el proceso de unión de material. Los detalles para la preparación y calificación de las especificaciones de procedimientos para la soldadura (WPS), unión fuerte (brazing) (BPS), y fusión (FPS) son dados en las partes respectivas que dirigen aquellos procesos. Las especificaciones de procedimiento usados por una organización tienen responsabilidad en el control operacional de los procesos de unión de materiales que deberán ser calificados por esa organización o deberá ser especificación de procedimiento estándar aceptable bajo las reglas de la parte de aplicable para el proceso de unión a ser usado.

5.5 Registro de calificación del procedimiento (PQR)

Documento que valida y respalda el WPS, contiene los valores reales de la soldadura, utilizadas en la prueba y los resultados del ensayo realizado sobre la soldadura, para propósitos de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura. En el PQR están relacionados las diferentes pruebas o ensayos realizados y la certificación de aprobación o rechazo firmada por inspector certificado en soldadura (ASME IX, 2013). [9]

[8] (ASME, 2013)
[9] (ASME IX, 2013)

Figura. 7 ASME normativa de juntas G1

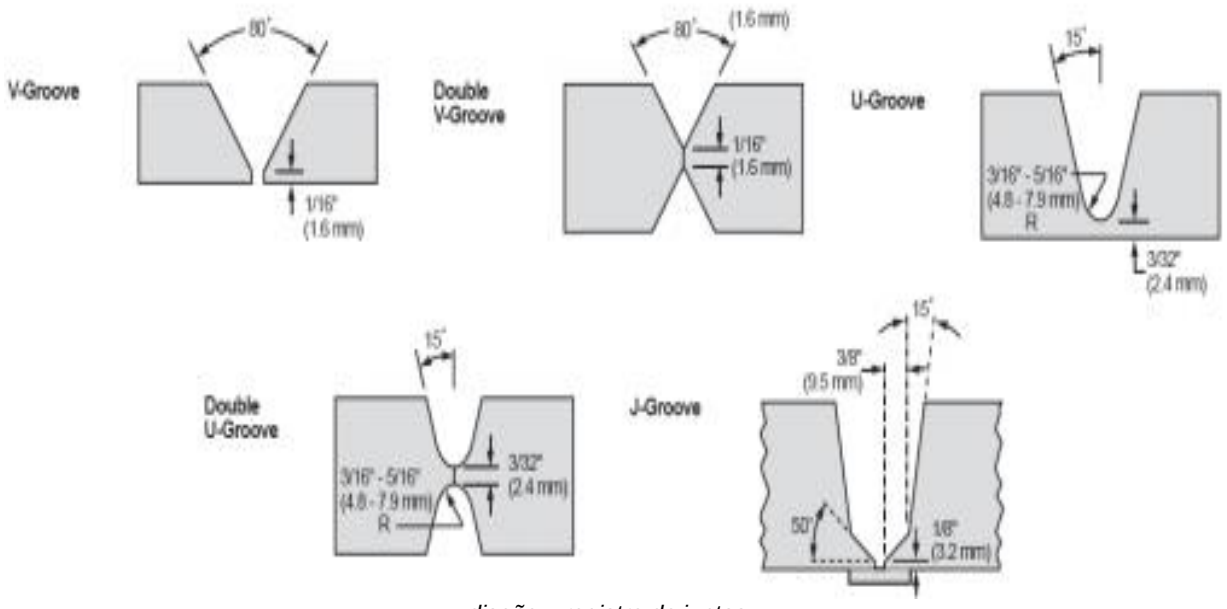


Fuente: diseño y registro de juntas-soldadura

5.6 Diseño de juntas

Diferentes diseños de junta pueden ser utilizados para unir productos, los mismos diseños de junta son usados en todos los procesos. Sin embargo, la modificación de los diseños puede ser requerida para SAW y GMAW para permitir un adecuado acceso a la junta.

Figura. 8 ASME diseño de juntas

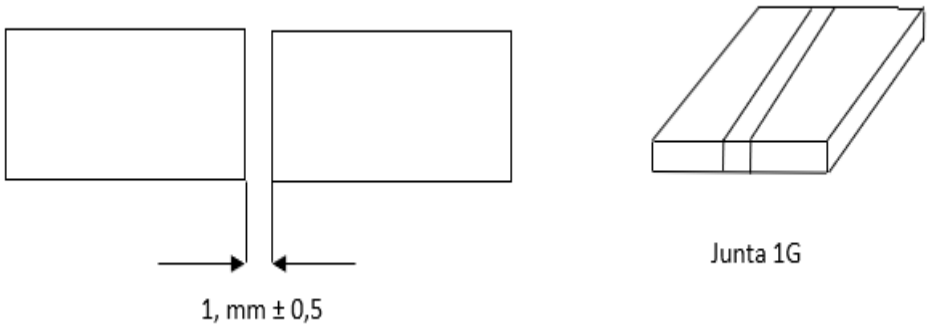


Fuente: diseño y registro de juntas

5.6.1 calificación de juntas para proceso de WPS

El diseño de la junta es una variable no esencial, pero para la implementación de perfilería estructural se considera que el diseño óptimo para el desarrollo de una junta sea de tope plano, con tolerancia de ± 0,5, con una luz de separación de 1mm diseño de junta (ASME IX, 2013). [10]

Figura. 9 ASME calificación de juntas G1



Fuente: *Diseño-propi0*

5.7 Norma ASTM A1011

Norma que indica que es un acero de bajo contenido de carbono laminado en caliente o en frio. Es uno de los aceros más ampliamente utilizados en el mundo, en la confección y diseño de estructuras metálicas, viene principalmente en láminas o bobinas, que son obtenidas mediante un proceso de rolado en caliente. Pertenecen a los aceros de baja aleación y alta resistencia mecánica (HSLAS Ruiz,2008).[11] Esta norma permite analizar grados, simbologías, y propiedades de acero laminados en caliente dejando como parámetros de entrada dichos valores para tener presente en sus procesos de soldadura.

5.7.1 Grados y símbolos

Esta norma se clasifica en cuatro categorías que permite identificar observaciones con respecto a su calidad, símbolo de grado que proporciona una descripción a la observación y clasificando por propiedades los elementos encontrados en esta simbología.

[10] (ASME IX, 2013)

[10] (HSLAS Ruiz,2008)

Figura. 10 grados y simbología

Símbolo de Grado	Observaciones
CS Tipo A, B y C (La Campana)	Calidad Comercial
DS Tipo A y B	Calidad para Embutido
SS Tipo 1 y 2 (La Campana)	Calidad Estructural
HSLAS	Calidad de Alta Resistencia y Baja Aleación

Fuente: normativa ASTM A 1011- simbología y grado

5.7.2 Propiedades mecánicas

Para los aceros laminados en caliente, se contempla unas propiedades mecánicas a través de la norma ASTM A 101, que garantiza que estas no se van a ver afectadas en el desarrollo de técnicas que no cambie sus propiedades frente a procesos de fabricación y diseño, teniendo como principales propiedades la resistencia a la tracción, punto de fluencia y elongación dichos valores se presenta por medio de la siguiente tabla de información.

Figura. 11 propiedades mecánicas

Propiedades Mecánicas	CS Tipo A	CS Tipo B	CS Tipo C	SS Grado 36
	Mpa (ksi)	Mpa (ksi)	Mpa (ksi)	Mpa (ksi)
Resistencia a la Tracción	-	-	-	365 min. (53)
Punto de Fluencia	205 a 340 (30 a 50)	205 a 340 (30 a 50)	205 a 340 (30 a 50)	250 min. (36)
Elongación	> 25%	> 25%	> 25%	22% min.

Fuente: normativa ASTM A 1011-propiedades mecánicas

5.7.3 Composición química

Para el proceso del acero de laminado en caliente es importante tener presente sus composiciones químicas, debido a que estas son importantes en las técnicas de transformación de los elementos que se constituyen, según la norma ASTM A 1011 es importante conocer e identificar los compuestos que se ven involucrados en los aceros laminados en caliente, comprender sus porcentajes y la finalidad que cumple cada uno de ellos en la implementación de la materia, en la siguiente tabla se puede identificar las composiciones de los principales elementos que se encuentran en los aceros en caliente.

Figura. 12 composición química

Norma ASTM A1011	CS Tipo A	CS Tipo B	CS Tipo C	SS Grado 36
Carbono	máx. 0,10%	0,02 a 0,15%	máx. 0,08%	máx. 0,25%
Manganeso	máx. 0,60%	máx. 0,60%	máx. 0,60%	máx. 0,90%
Fosforo	máx. 0,030%	máx. 0,030%	máx. 0,10%	máx. 0,035%
Azufre	máx. 0,035%	máx. 0,035%	máx. 0,035%	máx. 0,040%
Cobre	máx. 0,20%	máx. 0,20%	máx. 0,20%	máx. 0,20%
Níquel	máx. 0,20%	máx. 0,20%	máx. 0,20%	máx. 0,20%
Cromo	máx. 0,15%	máx. 0,15%	máx. 0,15%	máx. 0,15%
Molibdeno	máx. 0,06%	máx. 0,06%	máx. 0,06%	máx. 0,06%
Vanadio	máx. 0,008%	máx. 0,008%	máx. 0,008%	máx. 0,008%
Titanio	máx. 0,008%	máx. 0,008%	máx. 0,008%	máx. 0,008%
Silicio	-	-	-	-

Fuente: normativa ASTM A 1011-composicion química

5.8 Perfil estructural

la perfilería estructural se rige a través de la norma ASTM, debido a que es implementada internacionalmente para designar y regular la calidad de aceros de construcción y estructural que comercialmente se encuentra en el mercado.

La norma garantiza básicamente las propiedades mecánicas mínimas y de

soldabilidad de los aceros, dado a que estas son encontradas e implementadas en la industria, en los sectores de la construcción y a su vez en estructuras metálicas diversas. Los estándares publicados por la ASTM emiten designaciones para cada tipo de acero con su respectiva especificación y requerimientos para ser utilizados por los fabricantes y usuarios de los aceros.

Figura. 13 estructura para codificación de aceros estructurales

ASTM	CODIGO	GRADO	AÑO	REVISION
Normalización según American Society for Testing and Materials	Sistema inglés y sistema métrico (número arbitrario).	Grado del acero, límite de fluencia mínimo en Ksi	Año de adopción de la norma	Revisión último año

Fuente: propia tomada normativa ASTM registro y designación de norma

5.9 Elaboración de perfil

Los perfiles estructurales o vigas son un tipo de productos que se crean por laminación en caliente de acero. El tipo del perfil que vaya a tener la viga de acero, así como sus cualidades, son determinantes a la hora de elegirlos para su aplicación y uso en la ingeniería y la arquitectura. Entre sus propiedades clave destacan su forma o perfil, su peso, sus particularidades y la composición química del material con que está hecho y su longitud (Alonso Hierros, 2016). [12]

5.10 Laminados en caliente Hot rolled

Las láminas designadas por el nombre de Hot rolled son elaboradas a partir de un material de acero al carbono que se obtiene mediante un proceso de laminación en caliente que da como resultado un acero con excelentes propiedades estructurales y de gran formato.

El acero de HR es un resultado del proceso termo mecánico para reducir el espesor. El uso de según propiedades obtenidas, es estructural e industrial, por medio de esto se puede implementar este tipo de material para perfilería estructural y de construcción, garantizando por norma y demanda factores que se vean intervenidos con procesos de peso y carga elevada, manteniendo sus

[12] (Alonso Hierros, 2016)

propiedades iniciales.

Figura.14 norma de acero HR

NORMAS	USOS
ASTM A36 ASTM A572 Grado 50 Aceitado y decapado: acero de bajo carbono tal como ASTM A1011 (ASTM A569 anteriormente).	• Industria automotriz • Industria metalmecánica • Industria agrícola • Industria naval • Industria de la construcción • Estructuras metálicas • Recipientes a Presión • Fabricación de tubos soldados • Recipientes a presión

Fuente: normativa de HR referencia*

6. FABRICACION DE PERFILES ESTRUCTURALES CERRADOS

6.1 Transporte y almacenamiento de materia prima

El proceso de transporte inicia desde el embarque de la materia prima en los puertos de exportación, las bobinas de lámina son importadas por las empresas colombianas de países como Rusia, China, Japón entre otros. Luego de llegar a los puertos colombianos, se lleva a cabo todo el proceso de nacionalización del producto y pasa a ser enviada en tracto camiones a las plantas de producción, estando allí las bobinas son descargadas y ubicadas en diferentes grupos teniendo en cuenta su procedencia y calibre.

Figura. 15 Transporte de materia prima del puerto a la planta de producción



Fuente: Autores, transporte y almacenamiento de bobinas de lámina.

Figura. 16 transporte interno de bobinas



Fuente: Autores, transporte y almacenamiento de bobinas de lámina.

Durante todo el proceso de transporte se tienen los cuidados necesarios a fin de evitar que la lámina se deteriore o deforme significativamente, pues estos dos

aspectos pueden afectar los procesos productivos y la finalidad de uso de la materia prima.

6.2 Proceso de corte y preparación de juntas

Para el proceso de corte primero se selecciona el material de corte teniendo en cuenta el calibre que se desea trabajar, luego es trasportado y ubicado en la línea de corte o slitter line, esta línea está compuesta por el desenrollador, luego la cortadora y por último el enrollador.

Figura. 17 línea de corte o slitter line



Fuente: Autores, operación de corte de lámina.

Primero se ubica la bobina de lámina en el desenrollador, de modo tal que permita una correcta alineación con la cortadora y de esta manera garantizar que la bobina sea cortada de manera uniforme y que los cortes seleccionados cumplan con los requerimientos dimensionales de los perfiles que se desean fabricar. Luego de que la lámina pasa por la cortadora se deben realizar inspecciones visuales que garanticen que la lámina que está siendo cortada no presente rebabas en sus extremos o juntas, al igual que tampoco presente ondulaciones considerables durante el proceso; ya que este tipo de defectos generan inconvenientes para la fabricación de perfiles estructurales cerrados.

Figura. 38 Desenrollador, operación de corte de lamina



Fuente: Autores, desenrollador en operación.

Figura. 19 Cortadora de lamina



Fuente: Autores, corte de lámina.

Por ultimo las nuevas cintas formadas por el proceso de corte de son enrolladas para generar una bobina con características dimensionales que permiten la fabricación los perfiles requeridos y almacenadas según su calibre y dimensiones para luego ser llevadas a las conformadoras para la fabricación de los perfiles.

Figura. 20 Enrollador de lamina



Fuente: Autores, proceso de enrollado de bobinas o cintas.

Figura. 21 almacenamiento de cintas o bobinas para producción de perfiles



Fuente: Autores, clasificación y almacenamiento de cintas para producción.

6.3 Conformación de perfiles estructurales cerrados.

Para la fabricación de los perfiles estructurales, primero se transportan las bobinas con las dimensiones requeridas a las conformadoras, allí son ubicadas en unos

carretes que permiten que la maquina sea alimentada de manera constante durante el proceso. Luego de ubicar la lámina de manera correcta en la maquina se procede a hacer el arranque correspondiente, este proceso es llevado a cabo por el operario de la maquina en compañía del jefe encargado para poner a punto la operación correcta de la máquina.

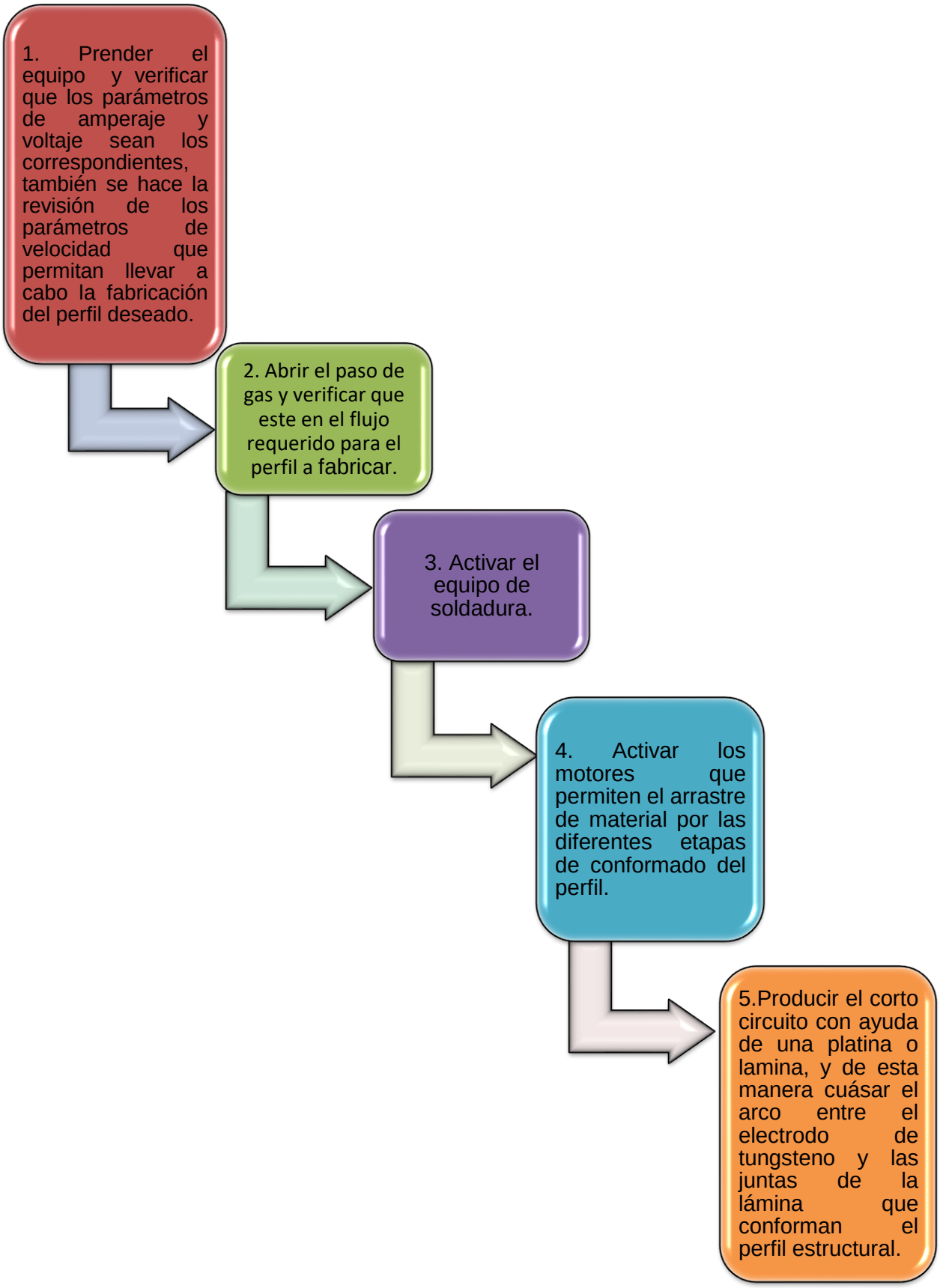
Figura. 22 ubicación de bobina de lámina, en carreta de conformadora



Fuente: Autores, lamina lista para procesar.

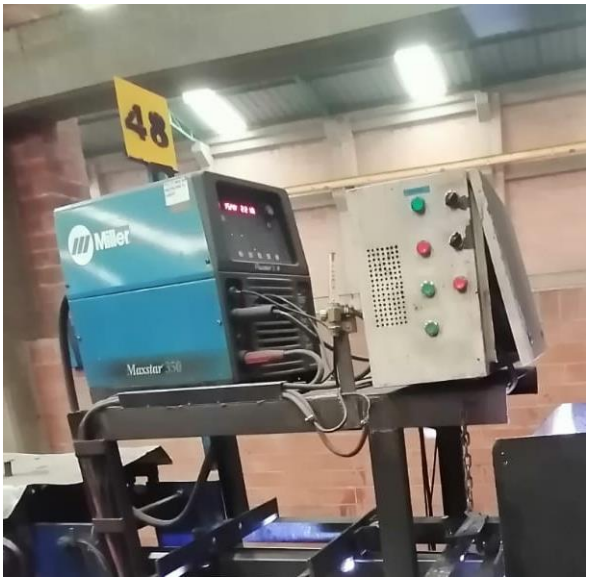
Los pasos el encendido y posterior arranque de la conformadora e iniciar el proceso de fabricación se muestran en el siguiente diagrama de flujo.

6.3.1 Diagrama de flujo de proceso para arranque de conformadora



Los pasos anteriores son realizados de manera casi simultánea.

Figura. 23 Equipo de soldadura, flujómetro y tablero de control de conformadora



Fuente: Autores, equipos de control conformadora.

Luego de esto se inicia el proceso de producción de los perfiles, durante los primeros minutos del proceso se verifica que el cordón de soldadura aplicado por medio del método GTWA sin aporte, penetre de manera correcta en la junta y no cause perforaciones en el material. Y a lo largo del proceso se sigue haciendo constante revisión del proceso de fabricación; ya que se pueden presentar perforaciones en el material, estas perforaciones son causadas principalmente por:

- Mala ubicación del electrodo en la junta del perfil.
- Presencia de rebaba en la junta.
- Ondulaciones en el material.
- Mala ubicación del material en la conformadora.

Figura. 24 salida etapa de soldadura



Fuente: Autores, última etapa de conformación.

Los perfiles generalmente son producidos en formatos de 6 metros de longitud y para el corte de estos se hace uso de tronzadoras ubicadas a la salida de la etapa de soldadura, estos perfiles son almacenados en paquetes y luego llevados a la zona de producto terminado, donde finalmente son cargados y enviados a los diferentes clientes.

Figura. 25 corte de perfil, salida de conformadora



Fuente: Autores, corte y embalaje de perfiles para almacenamiento.

6.3.2 Aplicación de método GTWA en la fabricación de perfiles metálicos.

Para la aplicación de este método en el proceso de fabricación de perfilería metálica se deben tener en cuenta diferentes aspectos, esto permite identificar cuáles son los más adecuados y generar la elaboración de especificación de procedimiento de soldadura correspondiente, lo cual garantiza la calidad del proceso y por ende la del producto que se está fabricando. Los aspectos más relevantes del proceso son:

- Calibre de la lámina usada como materia prima en el proceso de fabricación.
- Amperaje del equipo de soldadura durante el proceso de fabricación de los perfiles.
- Flujo de gas de protección.
- La ubicación del tungsteno respecto a la junta de unión soldada del perfil y la geometría de su punta.
- Velocidad de avance de material.

Figura. 26 rodillo pisador, etapa anterior a la etapa de soldadura



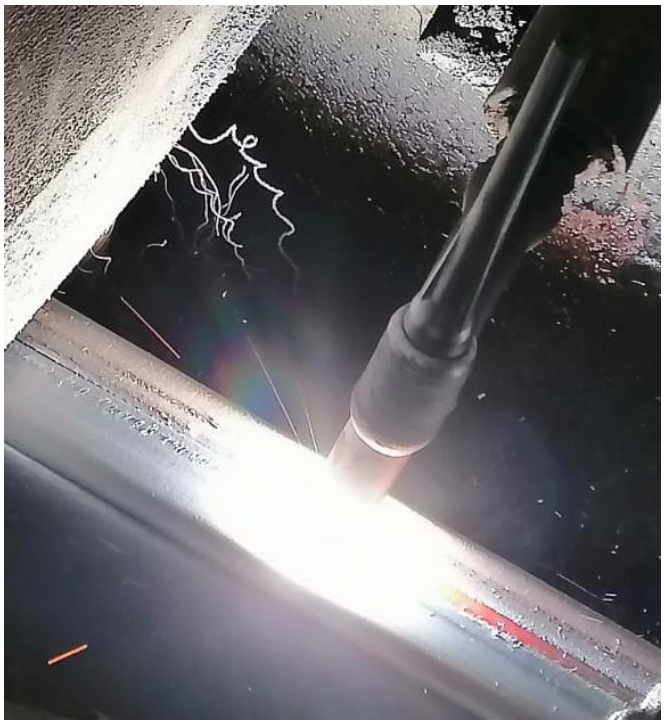
Fuente: Autores, entrada a la etapa de soldadura

Figura. 27 etapa de soldadura, aplicación de método GTWA sin aporte



Fuente: Autores, aplicación del método GTWA sin aporte en la fabricación de perfiles metálicos.

Figura. 28 etapa de soldadura, aplicación de método GTWA sin aporte



Fuente: Autores, aplicación del método GTWA sin aporte en la fabricación de perfiles metálicos.

Figura. 29 salida etapa de soldadura



Fuente: Autores, junta soldada usando el método GTWA sin aporte

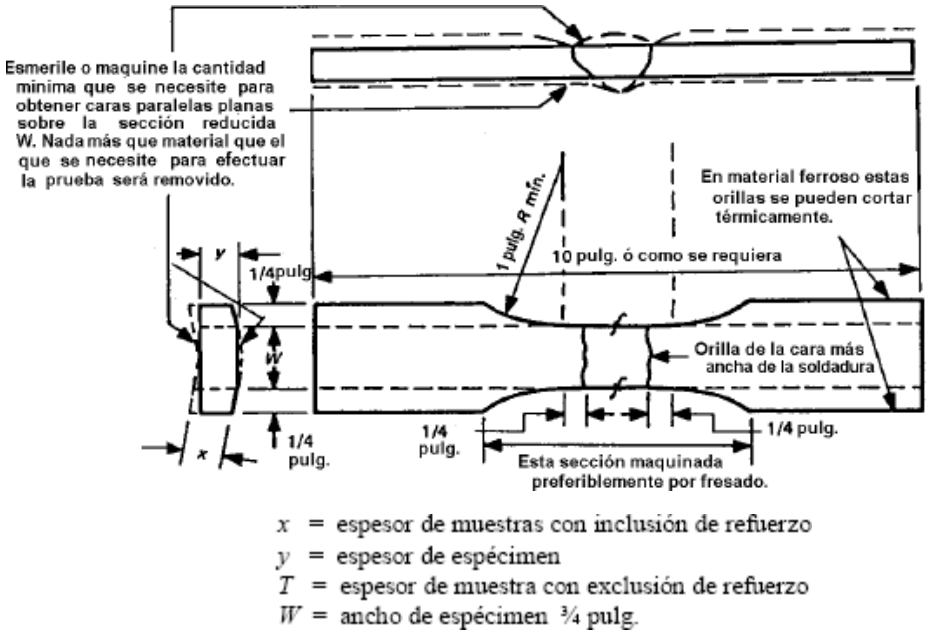
7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

7.1 Obtención de muestras

Luego de que se llevan a cabo algunos procesos de almacenamiento, clasificación y corte de la materia prima usada para la fabricación de la perfilería estructural, se proceden a montar las cintas de los anchos correspondientes al desarrollo del perfil que se desea fabricar en las conformadoras o perfiladoras para iniciar el proceso de transformación de la lámina en perfiles estructurales.

Para la obtención de las probetas de estudio se tuvo que escoger inicialmente un perfil que con su desarrollo geométrico permitiera la fabricación de las probetas con las dimensiones requeridas por el código ASME y la norma ASTM, en nuestro caso se eligieron perfiles cuadrados de 10 cm x 10 cm en los 3 diferentes calibres que fueron caso de estudio (1,5 mm, 2 mm, 3 mm).

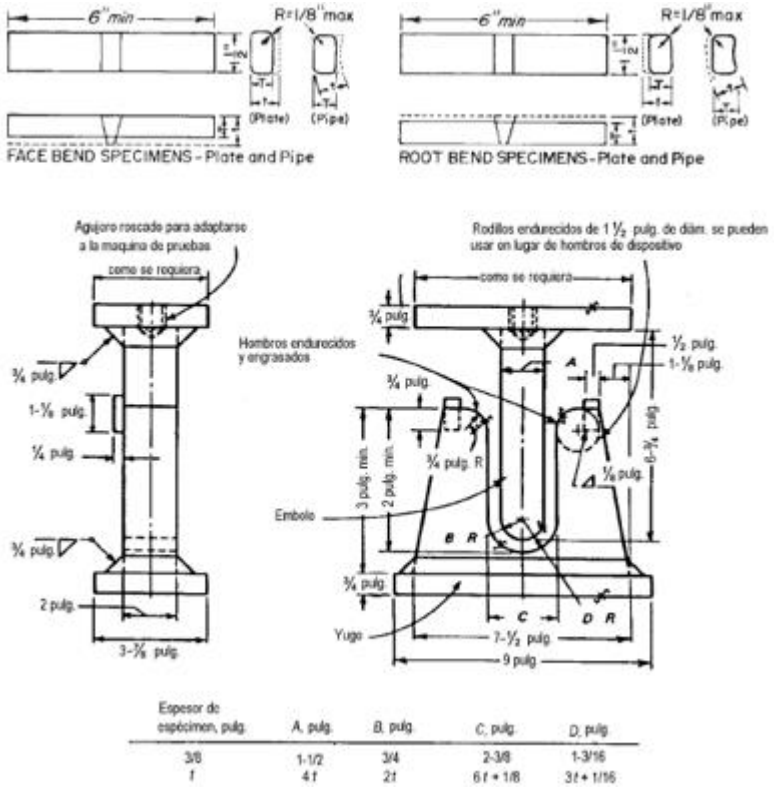
Figura. 30 Esquema de dimensiones para probetas de ensayos de tracción según Código ASME



x = espesor de muestras con inclusión de refuerzo
y = espesor de espécimen
T = espesor de muestra con exclusión de refuerzo
W = ancho de espécimen ¾ pulg.

Fuente: Figura presentada en Código ASME sección IX, apartado QW-150.

Figura. 31 Esquema de probeta ara ensayo de flexión o dobles guiado y máquina de ensayos.



Espesor de espécimen, pulg.	A, pulg.	B, pulg.	C, pulg.	D, pulg
3/8 *t*	1-1/2 4*t*	3/4 2*t*	2-3/8 6*t* + 1/8	1-3/16 3*t* + 1/16

Fuente: Norma ASTM, E 190 – 92 (Reapproved 2003)

Figura. 32 perfil 10x10 conformadora Icoperfiles S.A



Fuente: Autores, conformadora Icoperfiles S.A

7.2 Corte de probetas

Para el corte de las probetas se hizo uso de una segueta, ya que al intentar usar otras herramientas de corte como tronzadoras o pulidoras se podrían generar afectaciones por el calor generado durante el proceso de corte. Los cortes realizados fueron 2,4 cm de ancho, lo cual permitió trazar la geometría de las probetas requeridas.

Figura. 33 Corte perfil 10 x 10



Fuente: Autores, corte para fabricación de probeta

Figura. 34 corte de perfil 10x10 para fabricación de probeta



Fuente: Autores, corte para fabricación de probeta

7.2 Fabricación de probetas

Luego de llevar a cabo el corte de las probetas se realizó el desdobles del perfil haciendo uso de una prensa hidráulica de manera que obtuviéramos como resultado una tira de lámina de 2,4 cm de ancho, por cuarenta centímetros de largo y en el centro unida por un cordón de soldadura aplicado por medio del método GTWA sin aporte.

Figura. 35 Desdoble de probetas



Fuente: Autores, prensa hidráulica.

Continuando con el proceso, para poder llevar a cabo el mecanizado de las probetas primero se aplicó sobre las láminas soldadas una capa de vinilo blanco, el cual permitió que se trazara sobre las láminas el perfil de las probetas y de esa manera asegurar que se cumpliera con los requerimientos dimensionales solicitados por el código ASME.

Figura. 36 Aplicación de capa de vinilo blanco



Fuente: Autores, aplicación de capa de vinilo.

Después que se aplicó la capa de vinilo y se hubiera marcado el perfil de la probeta, se inició el macizado de cada una de las veinticuatro probetas haciendo uso de una fresadora y por último se ubicaron en una prensa de banco una a una, para poder retirar toda clase de rebaba existente luego del proceso de retiro de material que se realizó a cada probeta.

Figura. 37 Proceso de mecanizado probetas de estudio



Fuente: Autores, mecanizo en fresadora.

Por último, para terminar el proceso de fabricación, se retiró la capa de vinilo instalado con thinner y un trapo, para luego marcarlas y poderlas identificar durante los ensayos de tracción y flexión o doblez guiado que se realizaron a las probetas de estudio del caso.

Figura. 38 Pobretas para ensayos en 1.5 mm



Fuente: Autores, probetas de 1,5 mm

Figura. 39 probetas para ensayos en 2 mm



Fuente: Autores, probetas de 2 mm

Figura. 40 Probetas para ensayos en 3 mm



Fuente: Autores, probetas de 3 mm

7.4 Ensayos de flexión o doblez guiado

Con este ensayo se determinan las propiedades mecánicas del material implementado, el cual corresponde a lamina hot Rolled, avalada por la norma ASTM- A- 1011 y el cual es el estudio para el análisis de la junta soldada por el método GTWA sin aporte, usado para la fabricación de la perfilería metálica hecha por Icoperfiles S.A. Adicionalmente en este ensayo se evidencian y se comprenden los esfuerzos y deformaciones en los puntos máximo y de rotura, y módulo elástico de flexión teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculada a partir del espesor de las probetas de trabajo (1,5mm, 2mm, 3mm).

Figura. 41 probetas de flexión 1,5mm, 3mm



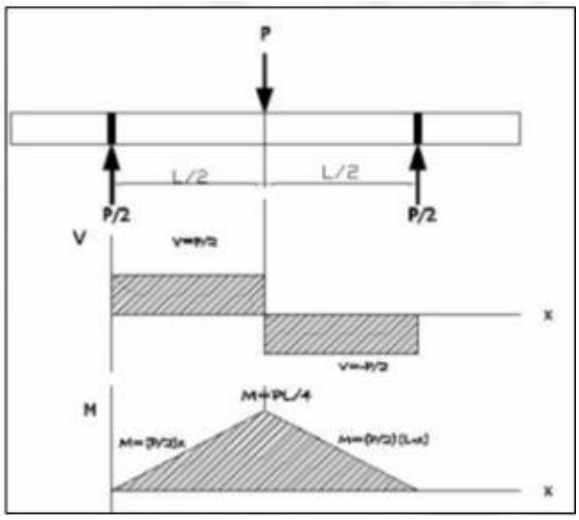
Fuente: Autores, desarrollo ensayo de flexión.

Para la prueba de flexión se trabajó con las probetas de estudio con respecto a sus dimensiones y composición, adicional se ubicaron las probetas apoyadas en sus extremos, sin tensión y cargadas en la mitad de su longitud, los parámetros definidos para el ensayo fueron los estipulados por el código ASME en la sección IX..

Durante el ensayo la probeta desarrolla una fuerza cortante V y un momento flector M. Se determinan la fuerza cortante máxima y el momento flector máximo expresando V y M como funciones de la posición L a lo largo del eje de la lámina. Esas funciones se trazan y representan por medio de diagramas y los valores máximos de V y M pueden obtenerse de los diagramas obtenidos.

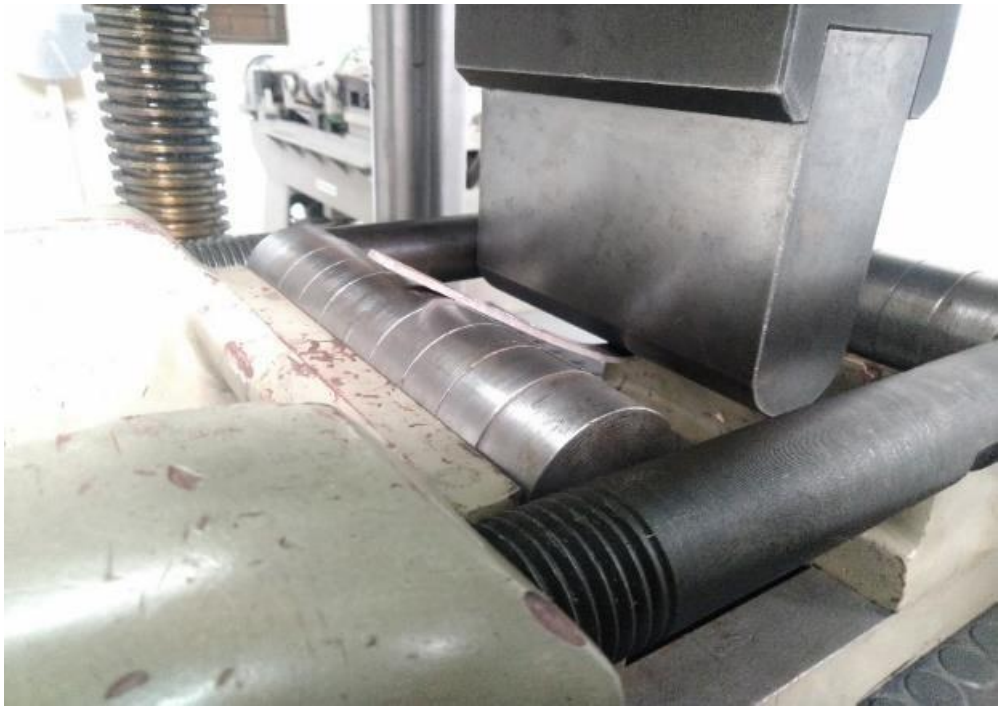
.

Figura. 42 diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: laboratorio de flexión universidad distrital

Figura. 43 prueba de flexión probeta de 2 mm



Fuente: Autores, ensayo de flexión

Figura. 44 probetas falladas 2 mm



Fuente: Autores, ensayo de flexión probeta 2 mm

Figura. 45 prueba de flexión probeta de 3 mm



Fuente: Autores, ensayo de flexión probeta 3 mm

Figura. 46 probetas falladas 3 mm



Fuente: Autores, ensayo de flexión probeta 3 mm

7.5 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción consiste en obtener la información sobre el comportamiento mecánico de los materiales cuando están sometidos a un esfuerzo de elongación, para el desarrollo de este ensayo se tuvieron como objeto de estudio doce probetas fabricadas en material de hot Rolled avalada por la norma ASTM- A- 1011, y unidas en el centro por un cordón de soldadura aplicado con el método GTWA sin aporte, en calibres 1,5mm, 2mm y 3mm

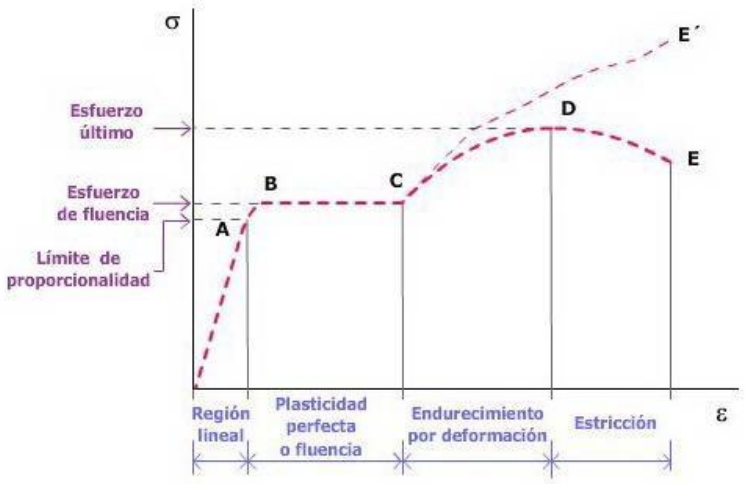
Figura. 47 probetas de tracción 1,5 mm, 2 mm, 3 mm



Fuente: Autores, desarrollo ensayo de tracción

Las probetas se sometieron a tensión progresiva. Esta carga provoco que las probetas se fueran alargando en longitud y adelgazando en sección (estricción) de un modo progresivo hasta alcanzar la fractura de las piezas de estudio.

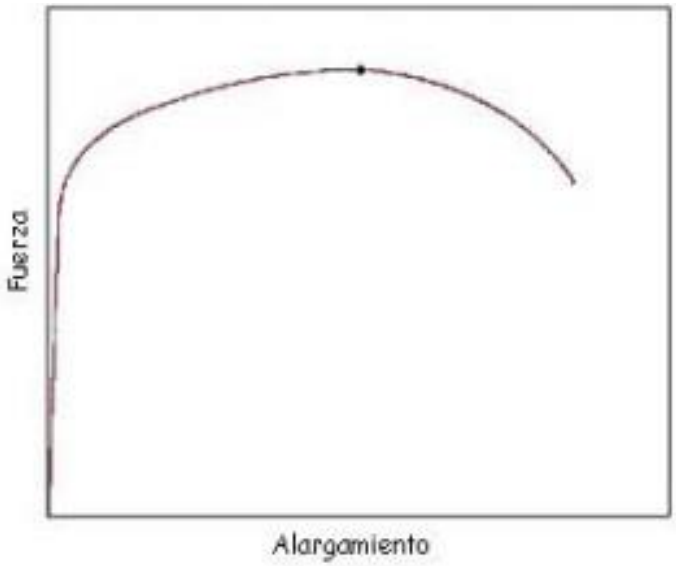
Figura. 48 diagrama de tracción



Fuente: laboratorio de tracción universidad distrital

En el proceso de ensayo por tracción se evidencio como la maquina en el momento de aplicar una determinada carga a la probeta, esta se encontraba sometida a una fuerza y un alargamiento en donde la tensión se concentraba en el centro de la probeta, contemplando la ruptura como óptima para el desarrollo de la práctica y los valores esperados.

Figura. 49 diagrama fuerza vs alargamiento



Fuente: ciencia y tecnología de materiales

De esta manera las probetas de estudio se sometieron a los ensayos destructivos propuestos por la sección IX del código ASME, referente a la calificación de los procedimientos de soldadura.

Figura. 50 prueba de tracción 1,5 mm



Fuente: Autores, ensayo de tracción

Figura. 51 prueba de tracción 2 mm



Fuente: Autores, ensayo de tracción

Figura. 52 ruptura de probeta 3 mm por tracción



Fuente: Autores, ensayo de tracción

Figura. 53 equipo de flexión y tracción Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu).



Fuente: Autores, laboratorio de resistencia de materiales Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Los pasos que se siguieron para el desarrollo de los ensayos fueron los estipulados en el código ASME sección IX, el cual indica la fabricación de las probetas para realizar todo tipo de análisis donde se especifica el material que se llevara a falla y los parámetros de las pruebas que son necesaria para la elaboración de especificación de procedimiento de soldadura (WPS) y la elaboración del registro de calificación de procedimiento (PQR).

8. VALIDACION Y RESULTADOS ESPERADOS

Para el desarrollo de la praxis se estipularon tres tipos de calibre de probetas, a su vez se implementó diversas medidas entre ellas, para poder evidenciar el comportamiento que estas presentaban en los ensayos de tracción y flexión. Estas prácticas tienen como finalidad analizar el método GTWA sin aporte en calibres de hot rolled, logrando identificar entre sus resultados las propiedades que experimenta el material cuando está sometido a dichas pruebas, como su fluencia, tenacidad y poder trazar conclusiones que permita comprender si la soldadura sin aporte es completamente óptima para una perfilería industrial y que esta se rija a la norma ASME para cumplir con requerimientos y especificaciones.

8.1 Resultados ensayo de tracción

En la práctica del ensayo de tracción se estipulan tres tipos de calibre de 1,5mm, 2mm, 3mm, con variación de muestras en proporción de 4 por calibre, partiendo de que todas se encuentran con su proceso de soldadura sin aporte y mecanizadas, se realiza la prueba y recolección de datos, en donde logramos identificar la siguiente información y comportamiento del material cuando es sometido a ensayo de tracción, analizando y comprando sus propiedades frente a las practicas implementadas.

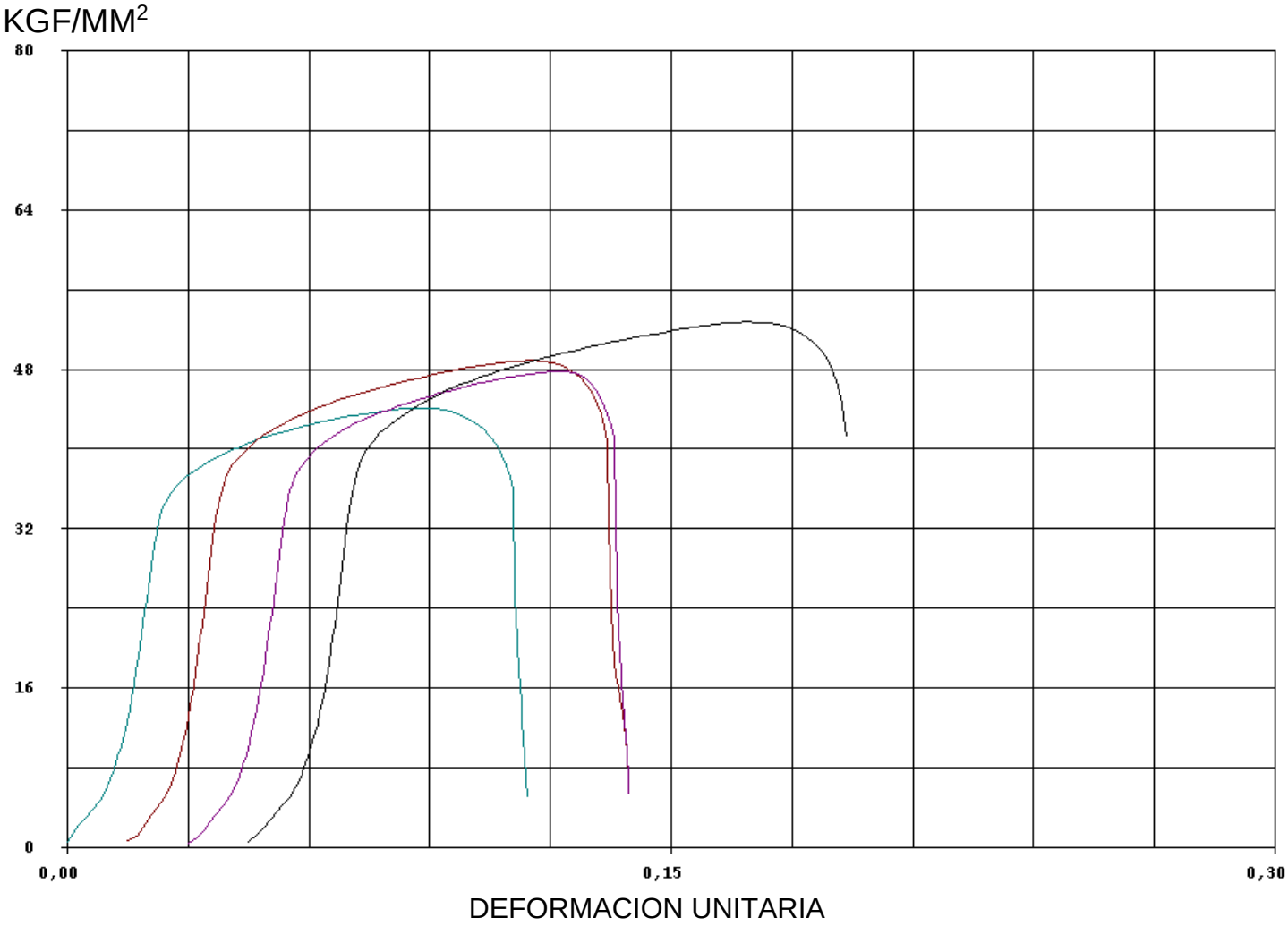
Figura. 54 propiedades químicas y mecánicas acero en caliente (HOT ROLLED)

Propiedades Químicas									Propiedades Mecánicas					Aplicaciones
Calidad	Norma	Designación	C	Mn	P	S	Si	Cu	Fluencia		Resistencia		Elongación % Min	
									(KSI)	(MPA)	(KSI) Min-Max	(MPA) Min-Max		
Comercial	SAE J403	1006	0.08	0.45	0.030	0.035	-	-	-	-	-	-	-	Ornamentación, tubería soldada, autopartes, usos generales
	SAE J403	1008	0.1	0.50	0.030	0.035	-	-	-	-	-	-	-	
Estructural	ASTM A36	A 36	0.29	1.20	0.040	0.050	0.40	0.20	36	250	58-80	400-550	20%	Perfiles soldados, tubería estructural, estructuras para puentes, fabricación de tanques para fluidos, estructuras en general
	ASTM A1011	SS GR 50	0.25	1.35	0.035	0.040	-	-		340		450	17%	
	ASTM A572	GR 50	0.23	1.35	0.040	0.050	0.40		50	345	65	450	20%	
	ASTM A588	GR A	0.19	0.80-1.25	0.040	0.05	0.30-0.65	0.25 - 0.4	50	345	70	485	21	
	ASTM A588	GR B	0.20	0.75-1.35	0.040	0.05	0.15-0.50	0.20-0.40	50	345	70	485	21	

Fuente: Metaza aceros en evolución

8.1.1 Resultados ensayo de tracción probeta 1,5 mm

Figura. 55 grafica esfuerzo deformación probeta 1,5 mm

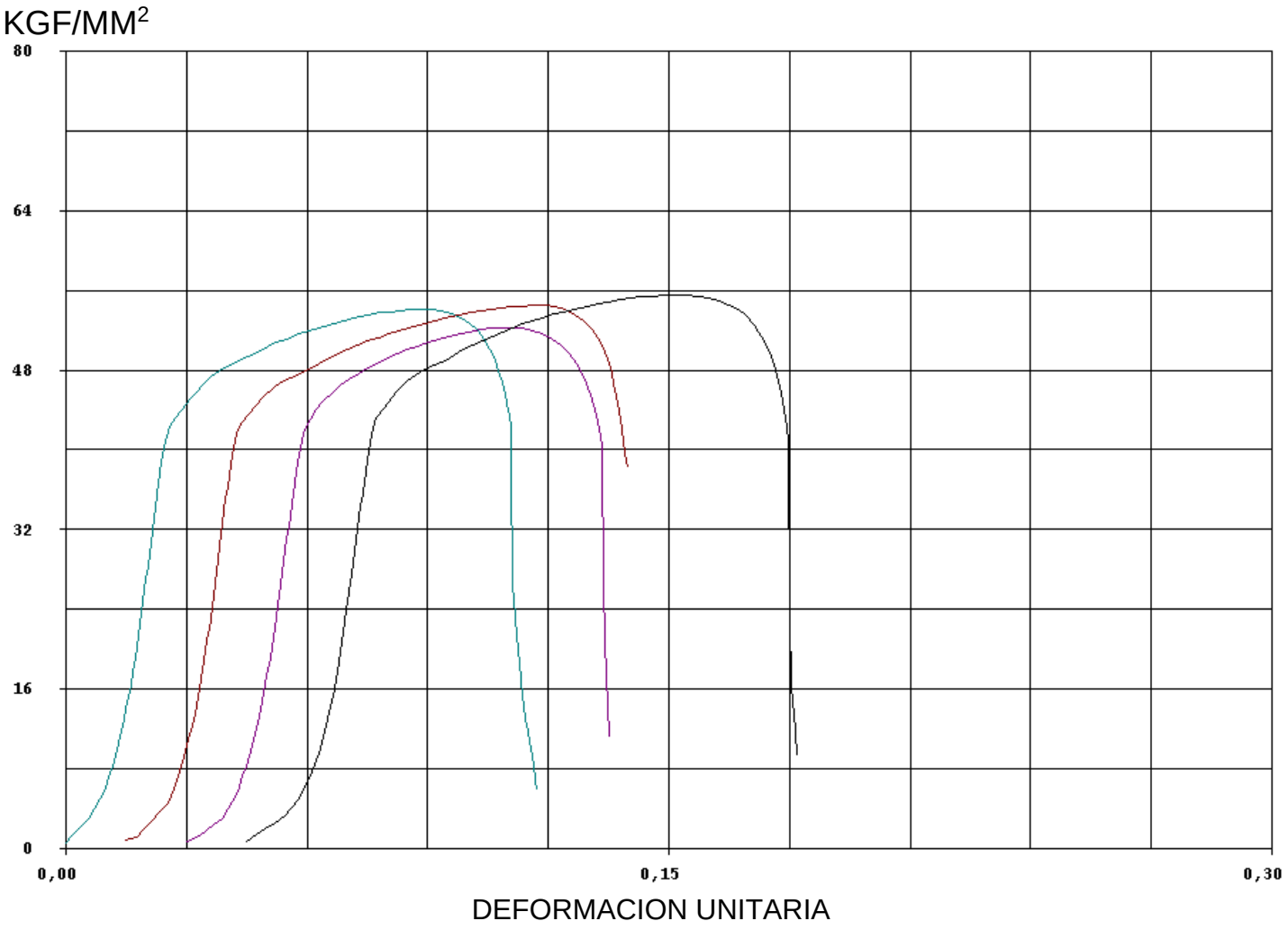


Fuente: Autores, laboratorio de resistencia de materiales

En esta primera trayectoria se puede evidenciar que la probeta experimenta un esfuerzo y deformación en progreso, donde falla por el material y no por el proceso de soldadura, presentando ruptura con un esfuerzo de 56,53 kgf/mm2 y una deformación unitaria de 0,20, observando que el material posee una tolerancia de 58-80 kgf/mm2, fallando por el material y no por la soldadura, garantizando que la probeta con un calibre de 1,5mm es óptima para ser implementada con el método de soldadura sin aporte, ya que no tiene elongación, ancho ni golpe en el proceso de ensayo, dejando la deformación y esfuerzos verdaderos en las muestras de trabajo.

8.1.2 Resultados ensayo de tracción probeta 2 mm

Figura. 56 grafica esfuerzo deformación probeta 2 mm

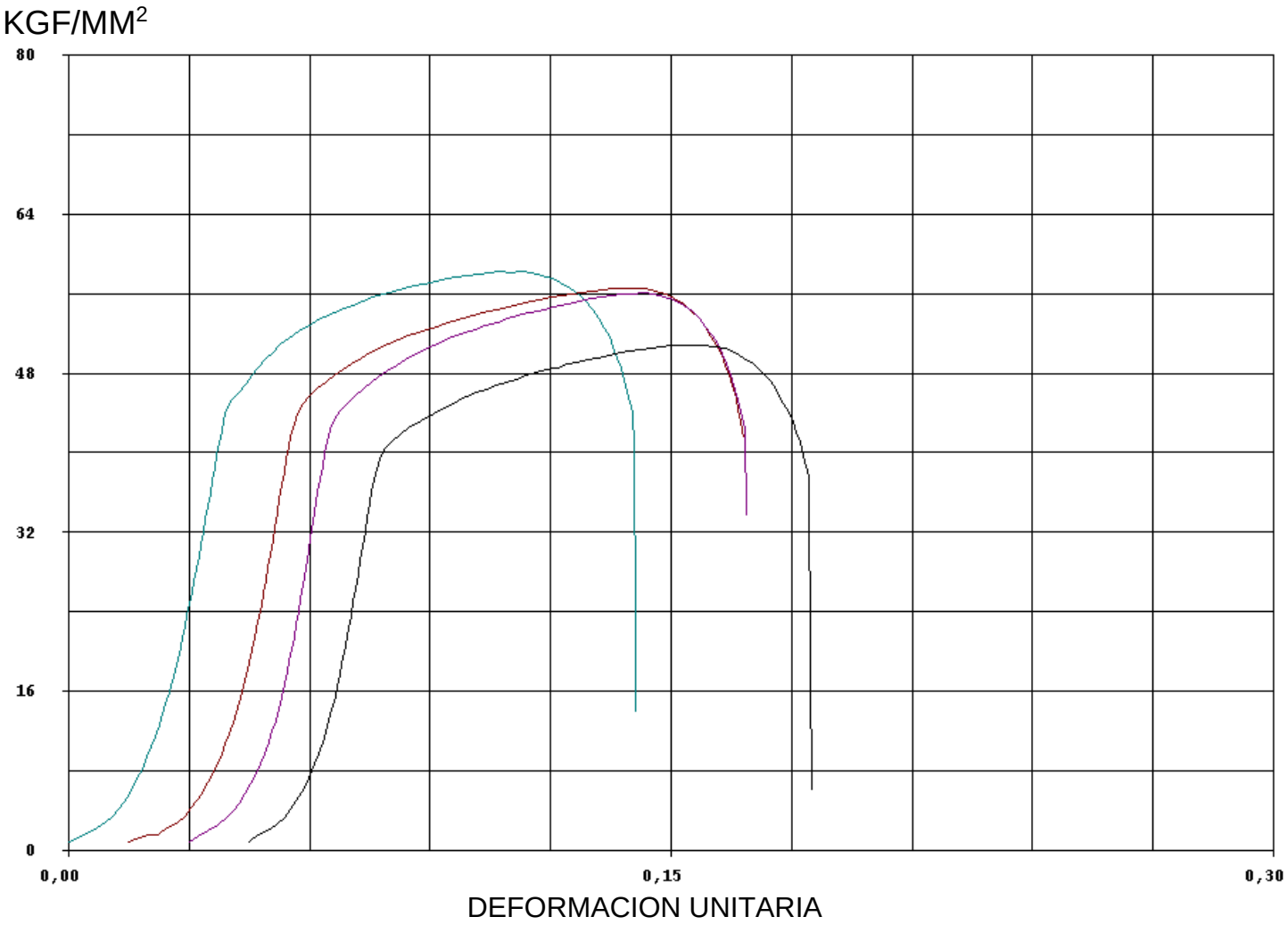


Fuente: Autores, laboratorio de resistencia de materiales

En esta segunda trayectoria se puede evidenciar que la probeta experimenta un esfuerzo y deformación en progreso más alta , donde falla por el material y no por el proceso de soldadura, presentando ruptura con un esfuerzo de 78,14 kgf/mm2 y una deformación unitaria de 0,30, observando que el material posee una tolerancia de 58-80 kgf/mm2, fallando por el material y no por la soldadura garantizando que la probeta con un calibre de 2 mm es acorde para ser implementada con el método de soldadura sin aporte, ya que no tiene elongación, ancho ni golpe en el proceso de ensayo, dejando la deformación y esfuerzos verdaderos en las muestras de trabajo.

8.1.3 Resultados ensayo de tracción probeta 3 mm

Figura. 57 grafica esfuerzo deformación probeta 3 mm



Fuente: Autores, laboratorio de resistencia de materiales

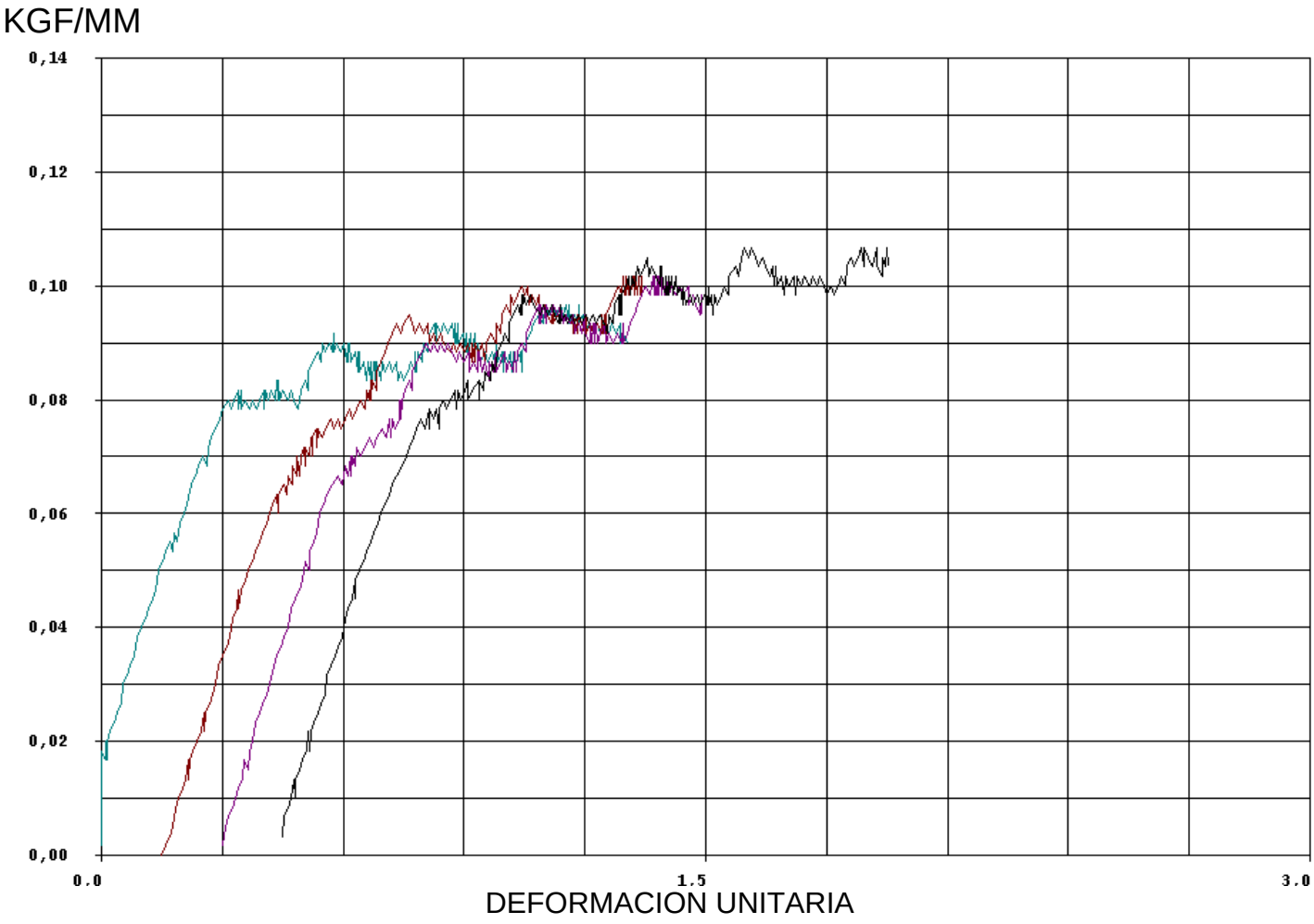
En esta tercera trayectoria se puede evidenciar que la probeta experimenta un esfuerzo y deformación en progreso que permite analizar que aunque el calibre sea más grueso y la soldadura con mayor proporción, esto no garantiza que soporte mayor esfuerzo y deformación, identificando esto se observa que también falla por el material y no por el proceso de soldadura, presentando ruptura con un esfuerzo de 65.40 kgf/mm2 observando que el material posee una tolerancia de 58-80 kgf/mm2, fallando por el material y no por la soldadura y una deformación unitaria de 0,17, garantizando que la probeta con un calibre de 3 mm es acorde para ser implementada con el método de soldadura sin aporte, ya que no tiene elongación, ancho ni golpe en el proceso de ensayo, dejando la deformación y esfuerzos verdaderos en las muestras de trabajo.

8.2 RESULTADOS ENSAYO DE FLEXIÓN O DOBLEZ GUIADO

En la práctica del ensayo de flexión se estipulan tres tipos de calibre de 1,5mm, 2mm, 3mm, con variación de muestras en proporción de 4 por calibre, partiendo de que todas se encuentran con su proceso de soldadura sin aporte y mecanizadas, se realiza la prueba y recolección de datos, en donde logramos identificar la siguiente información y comportamiento del material cuando es sometido a ensayo de flexión.

8.2.1. Resultados ensayo de flexión o doblez guiado probeta 1,5 mm

Figura.58 grafica esfuerzo deformación probeta 1.5 mm



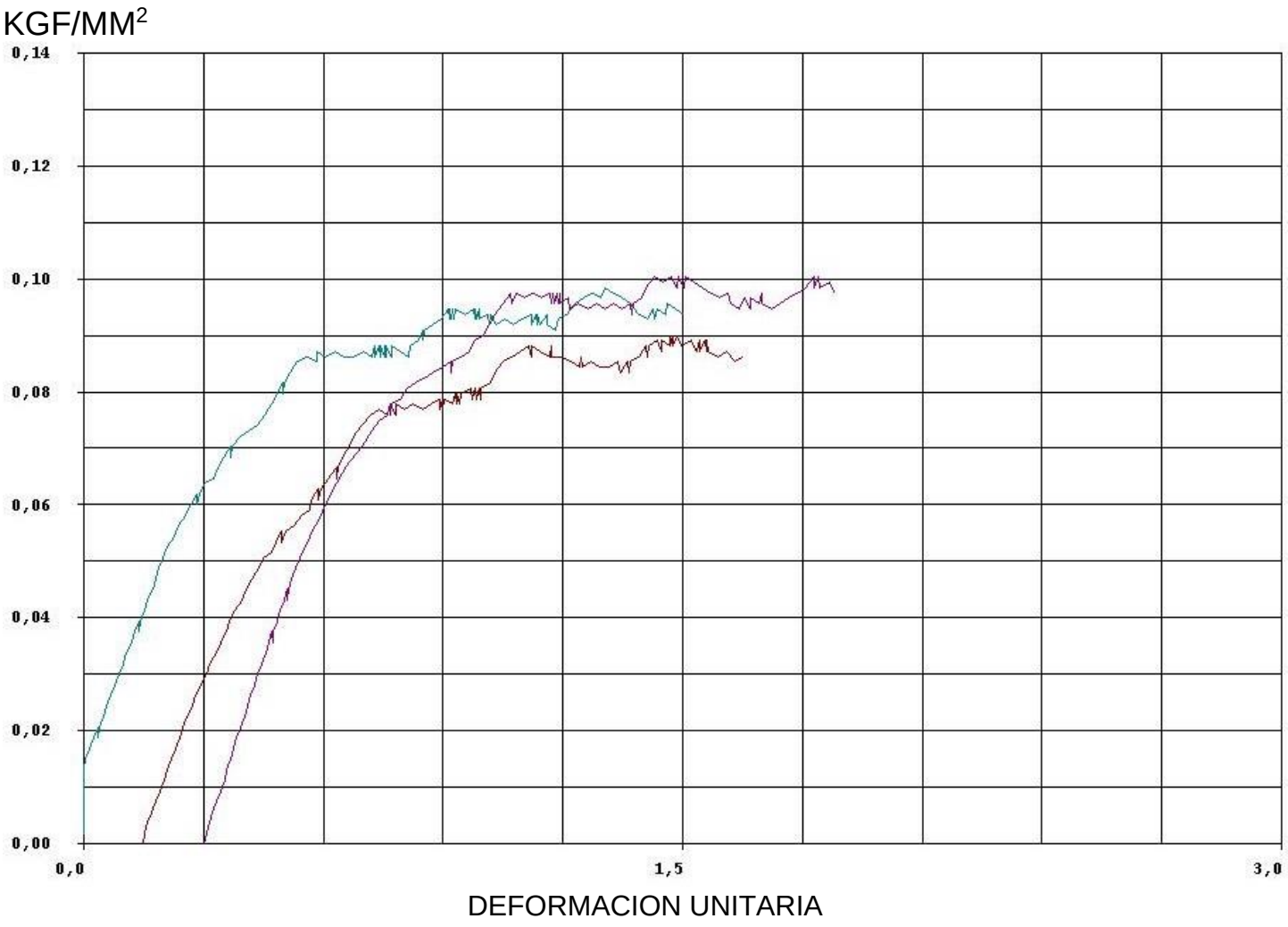
Fuente: Autores, laboratorio de resistencia de materiales

En esta primera trayectoria se puede evidenciar que la probeta experimenta un esfuerzo y deformación en progreso, por medio de la flexión subministrada por la máquina se observa que el área se proyecta a través de la flexión del rodillo, con sus promedios y últimos variable en proporción a la deformación y esfuerzo , se observa que falla por el material y no por el proceso de soldadura, presentando

ruptura con un esfuerzo de 0.13 kgf/mm2 y una deformación unitaria 2,05, se observa que en este ensayo a diferencia del de tracción la deformación es de mayor variabilidad y el esfuerzo se evidencia con mayor rapidez en la probeta con un calibre de 1,5mm es correcta para ser implementada con el método de soldadura sin aporte, ya que no tiene elongación, ancho ni golpe en el proceso de ensayo, dejando la deformación y esfuerzos verdaderos en las muestras de trabajo.

8.2.2. Resultados ensayo de flexión o doblez guiado probeta 2 mm

Figura. 59 grafica esfuerzo deformación probeta 2 mm



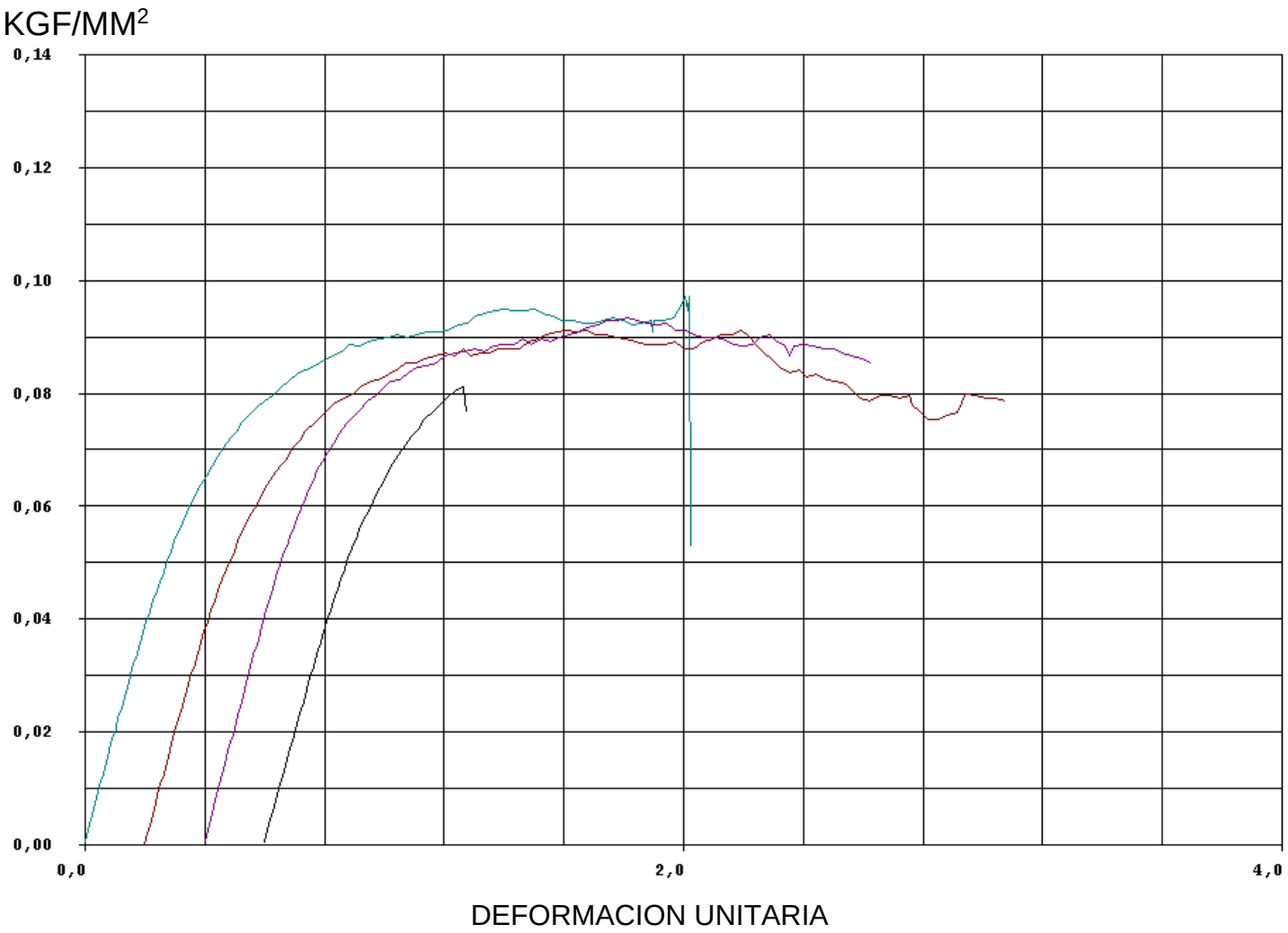
Fuente: Autores, laboratorio de resistencia de materiales

En esta segunda trayectoria se puede evidenciar que la probeta experimenta un esfuerzo y deformación en progreso, por medio de la flexión subministrada por la máquina, se observa que el área se proyecta a través de la flexión del rodillo, con sus promedios y últimos variable en proporción a la deformación y esfuerzo, se observa que falla por el material y no por el proceso de soldadura, presentando

ruptura con un esfuerzo de 0.07 kgf/mm2 y una deformación de 2,29, se observa que en este ensayo a diferencia del de tracción la deformación es de mayor variabilidad y el esfuerzo se evidencia con mayor rapidez en la probeta con un calibre de 2 mm es correcta para ser implementada con el método de soldadura sin aporte, ya que no tiene elongación, ancho ni golpe en el proceso de ensayo, dejando la deformación y esfuerzos verdaderos en las muestras de trabajo.

8.2.2. Resultados ensayo de flexión o doblez guiado probeta 3 mm

Figura. 60 grafica esfuerzo deformación probeta 3 mm



Fuente: Autores, laboratorio de resistencia de materiales

En esta tercera trayectoria se puede evidenciar que la probeta experimenta un esfuerzo y deformación en progreso, por medio de la flexión subministrada por la

máquina, se observa que el área se proyecta a través de la flexión del rodillo, con sus promedios y últimos variable en proporción a la deformación y esfuerzo, se observa que falla por el material y no por el proceso de soldadura, presentando ruptura con un esfuerzo de 0.10 kgf/mm2 y una deformación unitaria de 4,00, se observa que la deformación es mayor con un calibre de mayor grosor, se evidencia que en este ensayo a diferencia del de tracción la deformación es de mayor variabilidad y el esfuerzo se evidencia con mayor rapidez en la probeta con un calibre de 3 mm es correcta para ser implementada con el método de soldadura sin aporte, ya que no tiene elongación, ancho ni golpe en el proceso de ensayo, dejando la deformación y esfuerzos verdaderos en las muestras de trabajo.

9. ELABORACIÓN DE ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) SEGÚN EL CÓDIGO ASME SECCIÓN IX

La especificación del procedimiento de soldadura se realizó teniendo en cuenta los requerimientos del código ASME con finalidad de que sea una guía para el personal a cargo del proceso de fabricación de la perfilería metálica hecha por la empresa ICOPERFILES S.A , y adicionalmente como un procedimiento que garantizara la confiabilidad de los resultados obtenidos de la unión soldada para conformar dicha perfilería, la cual posteriormente se corroboro con ayuda de las pruebas mecánicas realizadas en el laboratorio de resistencia de materiales de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – FACULTAD TECNOLÓGICA, a las uniones soldadas con el procedimiento descrito.

Como el procedimiento de soldadura fue calificado, el WPS que se presenta fue aprobado para ser usado en la fabricación de tubería y perfilería metálica estructural por la empresa ICOPERFILES S.A. De igual manera se consideraron las variables esenciales del proceso requeridas por la sección IX del código ASME, y se presenta el WPS como un procedimiento que permite elaborar dicha perfilería estructural con el cambio de parámetro correspondiente al calibre o espesor de la lámina que se utiliza por parte de la empresa para fabricar sus diferentes productos.

9.1 Especificaciones Del Procedimiento De Soldadura (WPS) Lamina 1.5 Mm

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) LAMINA 1.5 mm				
PRECALIFICADO			**CALIFICADO POR ENSAYOS**	X
WPS N° :	ICOP-PER-1.5-01		**POSICION**	
Compañía:	Icoperfiles S.A		**Posición de ranura:**	1G
Proceso de Soldadura:		GTWA		
Tipo:		Semi-Automático	**CARACTERIZTICAS ELECTRICAS**	
			Modo de transferencia:	GTWA
DISEÑO DE JUNTA			**CORRIENTE:**	DCEP
Tipo:		simple		
Unión de lámina a tope			**ELECTRODO DE TUGSTENO (GTWA)**	
			Tamaño:	1/8" x 7 "
METALES BASE			**Tipo:**	WS 2
Lamina Hot Rolled ASTM- A- 1011				
			TECNICA	
			Cordón recto u oscilado:	Recto
			Multipase o pase simple:	Pase simple
			Numero de electrodos:	N/A
METAL DE APORTE		N/A	**Distancia de trabajo área de contacto:**	3-5 mm
			Limpieza entre pases:	N/A
PRECALENTAMIENTO		N/A	**Amperaje:**	200-245
			Voltaje:	13-18
PROTECCION			**Velocidad de avance:**	70-90 cm/min
Flux:	**Gas:**	X		
Gas de protección:		Argón	**TRATAMIENTO TERMINCO POS SOLDADURA**	
composición de la mezcla (%):		99,9% Argón	**Temperatura:**	N/A
Flujo:		15-20 litros/min	**Tiempo:**	N/A
Observaciones:				

9.2 Especificaciones Del Procedimiento De Soldadura (WPS) Lamina 2mm

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) LAMINA 2mm				
PRECALIFICADO			**CALIFICADO POR ENSAYOS**	X
WPS N° :	ICOP-PER-2-01		**POSICION**	
Compañía:	Icoperfiles S.A		**Posición de ranura:**	1G
Proceso de Soldadura:	GTWA			
Tipo:	Semi-Automático		**CARACTERIZTICAS ELECTRICAS**	
			Modo de transferencia:	GTWA
DISEÑO DE JUNTA			**CORRIENTE:**	DCEP
Tipo:	simple			
Unión de lámina a tope			**ELECTRODO DE TUGSTENO (GTWA)**	
			Tamaño:	1/8" x 7 "
METALES BASE			**Tipo:**	WS 2
Lamina Hot Rolled ASTM- A- 1011				
			TECNICA	
			Cordón recto u oscilado:	Recto
			Multipase o pase simple:	Pase simple
			Numero de electrodos:	N/A
METAL DE APORTE	N/A		**Distancia de trabajo área de contacto:**	3-5 mm
			Limpieza entre pases:	N/A
PRECALENTAMIENTO	N/A		**Amperaje:**	210-254
			Voltaje:	14-19
PROTECCION			**Velocidad de avance:**	70-90 cm/min
Flux:	**Gas:**	X		
Gas de protección:	Argón		**TRATAMIENTO TERMINCO POS SOLDADURA**	
composición de la mezcla (%):	99,9% Argón		**Temperatura:**	N/A
Flujo:	15-20 litros/min		**Tiempo:**	N/A
Observaciones:				

9.3 Especificaciones Del Procedimiento De Soldadura (WPS) Lamina 3mm

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) LAMINA 3mm				
PRECALIFICADO			**CALIFICADO POR ENSAYOS**	X
WPS N° :	ICOP-PER-3-01		**POSICION**	
Compañía:	Icoperfiles S.A		**Posición de ranura:**	1G
Proceso de Soldadura:	GTWA			
Tipo:	Semi-Automático		**CARACTERIZTICAS ELECTRICAS**	
			Modo de transferencia:	GTWA
DISEÑO DE JUNTA			**CORRIENTE:**	DCEP
Tipo:	simple			
Unión de lámina a tope			**ELECTRODO DE TUGSTENO (GTWA)**	
			Tamaño:	1/8" x 7 "
METALES BASE			**Tipo:**	WS 2
Lamina Hot Rolled ASTM- A- 1011				
			TECNICA	
			cordón recto u oscilado:	Recto
			Multipase o pase simple:	Pase simple
			Numero de electrodos:	N/A
METAL DE APORTE	N/A		**Distancia de trabajo área de contacto:**	3-5 mm
			Limpieza entre pases:	N/A
PRECALENTAMIENTO	N/A		**Amperaje:**	340-350
			Voltaje:	15-21
PROTECCION			**Velocidad de avance:**	50 cm/min
Flux:	**Gas:**	X		
Gas de protección:		argón	**TRATAMIENTO TERMINCO POS SOLDADURA**	
composición de la mezcla (%):		99,9% argón	**Temperatura:**	N/A
Flujo:		15-20 litros/min	**Tiempo:**	N/A
Observaciones:				

10. ELABORACIÓN DEL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) SEGÚN LA SECCIÓN IX DEL CÓDIGO ASME

Los resultados obtenidos para las probetas de fabricadas con Lamina Hot Rolled ASTM- A- 1011 grado 36 y grado 50, soldadas según las recomendaciones de los WPS ICOP- PER-1.5-01, ICOP-PER-2-01, ICOP-PER-3-01, los cuales se muestran respectivamente en las tablas 1,2,3 haciendo uso del formato utilizado para el PQR según las especificaciones del código ASME sección IX.

Se demostró una buena compatibilidad entre el metal base, el proceso de soldadura y la técnica aplicada a través de los resultados de los ensayos mecánicos realizados a las probetas, los cuales cumplieron con los requerimientos del código ASME. Debido a que los requerimientos de servicio para la perfilería fabricada por ICOPERFILES S.A no son a bajas temperaturas, no se realizó ensayo de impacto para la calificación de procedimiento.

Se destaca que el ensayo no destructivo referido a la inspección visual a la junta soldada a pesar de no aparecer explícitamente en el PQR, fueron requisitos para el análisis de calidad de la junta fabricada y se convierte en un aspecto relevante que contribuye a la caracterización de la soldadura. De igual manera no se aplicaron los ensayos de metalografía y los ensayos de micro dureza, debido a que estos no son requeridos de forma obligatoria para la calificación del procedimiento por la sección IX del Código ASME.

10.1 Registro De Calificación De Procedimiento (PQR) Lamina 1.5 Mm

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) LAMINA 1.5 mm			
Nombre de la compañía:	ICOPERFILES S.A	**WPS No.**	ICOP-PER-1.5-01
Registro de Calificación de Procedimiento No.	PQR-ICOP-PER-1.5-01	**Tipos (Manual, Automática, Semi-Automática)**	SEMI-AUTOMATICA
Proceso(s) de Soldadura:	GTAW		

METAL BASE		**TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA**	
Especificación del material	Lamina hot rolled ASTM- A- 1011.	Temperatura	N/A
Grado	36 Ksi	Tiempo	N/A
Espesor de la probeta	1.5mm	otro	N/A
GAS		**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**	
Composición en porcentaje	99,9% Argón	Corriente	DCEP
Gas(es) (Mezcla) Velocidad de flujo	15-20 litros/min	Amperaje	200-245
Protección Arrastre Respaldo	No aplica	Voltaje	13-18
		Tamaño del electrodo de tungsteno	1/8" x 7 "
TÉCNICA			
Velocidad de avance	70-90 cm/min	**POSICIÓN**	
Cordón recto u oscilante	Recto	Posición de la junta	1G
Pase único o múltiple	Único		
Electrodo único o múltiples	Único	**PRECALENTAMIENTO**	N/A

INSPECCION VISUAL		**ENSAYOS REALIZADOS POR**
APARIENCIA	**ACEPTABE**	LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS - FACULTAD TECNOLOGICA
SOCAVADOS	----------	
POROSIDAD	----------	
CONVEXIDAD	----------	
		FECHA 12-nov-20

Muestra No.	Ancho (pulg.)	Espesor (pulg)	Carga última total (MPa)	Tipo de fractura y localización
1	0,75	0,0591	**240**	Dúctil-metal base
2	0,75	0,0591	**265**	Dúctil-metal base
3	0,75	0,0591	**243**	Dúctil-metal base
4	0,75	0,0591	**236**	Dúctil-metal base

Muestra No.	Tipo de doblez	Resultados
1	Cara	Aceptable
2	Cara	Aceptable
3	Cara	Aceptable
4	Cara	Aceptable

Certificamos que los resultados de este registro son correctos y que los ensayos de soldadura fueron preparados, soldados y probados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME

10.2 Registro De Calificación De Procedimiento (PQR) Lamina 2mm

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) LAMINA 2mm			
Nombre de la compañía:	ICOPERFILES S.A	**WPS No.**	ICOP-PER-2-01
Registro de Calificación de Procedimiento No.	PQR-ICOP-PER-2-01	**Tipos (Manual, Automática, Semi-Automática)**	SEMI-AUTOMATICA
Proceso(s) de Soldadura:	GTAW		

METAL BASE		**TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA**	
Especificación del material	Lamina hot rolled ASTM- A- 1011.	Temperatura	N/A
Grado	50 Ksi	Tiempo	N/A
Espesor de la probeta	2 mm	otro	N/A

GAS		**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**	
Composición en porcentaje	99,9% Argón	Corriente	DCEP
Gas(es) (Mezcla) Velocidad de flujo	15-20 litros/min	Amperaje	210-254
Protección Arrastre Respaldo	No aplica	Voltaje	14-19
		Tamaño del electrodo de tungsteno	1/8" x 7 "

TÉCNICA			
Velocidad de avance	70-90 cm/min	**POSICIÓN**	
Cordón recto u oscilante	Recto	Posición de la junta	1G
Pase único o múltiple	Único		
Electrodo único o múltiples	Único	**PRECALENTAMIENTO**	N/A

INSPECCION VISUAL		**ENSAYOS REALIZADOS POR**
APARIENCIA	ACEPTABE	LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS - FACULTAD TECNOLOGICA
SOCAVADOS	----------	
POROSIDAD	----------	
CONVEXIDAD	----------	
		FECHA 12-nov-20

ENSAYO DE TRACCION					
Muestra No.	Ancho (pulg.)	Espesor (pulg)	Carga última total (MPa)	Esfuerzo último Unitario (psi)	Tipo de fractura y localización
1	0,75	0,0787	259		Dúctil-metal base
2	0,75	0,0787	262		Dúctil-metal base
3	0,75	0,0787	249		Dúctil-metal base
4	0,75	0,0787	243		Dúctil-metal base

ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
Muestra No.	Tipo de doblez	Resultados	Observaciones
1	Cara	Aceptable	
2	Cara	Aceptable	
3	Cara	Aceptable	
4	Cara	Aceptable	

Certificamos que los resultados de este registro son correctos y que los ensayos de soldadura fueron preparados, soldados y probados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME

10.3 Registro De Calificación De Procedimiento (PQR) Lamina 3mm

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) LAMINA 3mm			
Nombre de la compañía:	ICOPERFILES S.A	**WPS No.**	ICOP-PER-3-01
Registro de Calificación de Procedimiento No.	PQR-ICOP-PER-3-01	**Tipos (Manual, Automática, Semi-Automática)**	SEMI-AUTOMATICA
Proceso(s) de Soldadura:	GTAW		

METAL BASE		**TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA**	
Especificación del material	Lamina hot rolled ASTM- A- 1011.	Temperatura	N/A
Grado	50 Ksi	Tiempo	N/A
Espesor de la probeta	3 mm	otro	N/A
GAS		**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**	
Composición en porcentaje	99,9% Argón	Corriente	DCEP
Gas(es) (Mezcla) Velocidad de flujo	15-20 litros/min	Amperaje	340-350
Protección Arrastre Respaldo	No aplica	Voltaje	14-19
		Tamaño del electrodo de tungsteno	1/8" x 7 "
TÉCNICA			
Velocidad de avance	50 cm/min	**POSICIÓN**	
Cordón recto u oscilante	Recto	Posición de la junta	1G
Pase único o múltiple	Único		
Electrodo único o múltiples	Único	**PRECALENTAMIENTO**	N/A

INSPECCION VISUAL		**ENSAYOS REALIZADOS POR**	
APARIENCIA	ACEPTABE	LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS - FACULTAD TECNOLOGICA	
SOCAVADOS	----------		
POROSIDAD	----------		
CONVEXIDAD	----------		
		FECHA	12-nov-20

ENSAYO DE TRACCION					
Muestra No.	Ancho (pulg.)	Espesor (pulg)	Carga última total (MPa)	Esfuerzo último Unitario (psi)	Tipo de fractura y localización
1	0,75	0,1181	152		Dúctil-metal base
2	0,75	0,1181	158		Dúctil-metal base
3	0,75	0,1181	173		Dúctil-metal base
4	0,75	0,1181	184		Dúctil-metal base

ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
Muestra No.	Tipo de doblez	Resultados	Observaciones
1	Cara	Aceptable	
2	Cara	Aceptable	
3	Cara	Aceptable	
4	Cara	Aceptable	

Certificamos que los resultados de este registro son correctos y que los ensayos de soldadura fueron preparados, soldados y probados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME

11. CONCLUSIONES

- Gracias a la recolección de datos obtenidos durante el estudio del caso, se pudo llevar a cabo la especificación de procedimiento de soldadura (WPS) y su respetiva calificación de procedimiento (PQR), bajo los requerimientos de la sección IX del código ASME, al método GTWA sin aporte, presente en la fabricación de perfilería estructural en la empresa ICOPERFILES S.A.

- Se fabricaron las probetas requeridas para los diferentes ensayos, teniendo en cuenta las especificaciones de las normas ASTM y ASME, y se llevaron a cabo los análisis de los resultados obtenidos, lo que permitió generar el WPS y el PQR para calificar el procedimiento de soldadura GTWA sin aporte, para espesores de metal base de 0,0591 pulg. (1,5mm), 0,0787 pulg, (2 mm) y 0,1181 pulg, (3 mm), los cuales son usados en la fabricación de perfiles metálicos estructurales en la empresa Icoperfiles S.A.

- Los ensayos mecánicos efectuados en las probetas cumplieron con los requerimientos de la sección IX del código ASME, garantizando la resistencia de la junta soldada para el desarrollo de la perfilería metálica estructural fabricada por ICOPERFILES S.A., lo que respalda la calidad del proceso de soldadura y por ende la del producto.

12. BIBLIOGRAFIA

1) Illeras, A. L. (2016). *Diseño, especificación y clasificación de un procedimiento de soldadura (WPS)con proceso GMAW.* Bogotá: P.Investigacion.

2) *soldaduras de perfil estructural.* Ecuador: r&s. edición. Ruiz, W. G. (2008). *Uso de las normas ASTM en corporación de aceros .* Arequipa: global docs.

3) Henao, l. C. (2016). *Procedimiento de análisis de soldadura.* Bogotá: Informe.info soldadura.

4) J.j, L. (2001). *Diseño de recipientes a presion y calderas.* Mexico: blogpot.

5) GTAW, p. d. (26 de febrero de 2001). *WESTARCO*. Obtenido de http://westarco.com/education/blog/tig-gtaw.

6) E, Z. (2009). *Aplicación de ensayo de fisuración en frio para determinar la temperatura de precalentamiento en aceros de alta resistencia.* Buenos Aires : iberonet.

7) ASMEIX. (2013). *Welding, brazing and fusing qualifications .* New York USA : ASME-ORG.

8) ASMEII. (2013). *ferrous material specification .* New York USA: ASME-ORG.