

EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DE SOLDEO CON EL PROCESO GMAW  
ROBOTIZADO EN UN ACERO ASTM A-36

RAMIRO DE LA CRUZ TORRES  
GERMÁN MUÑOZ VELASCO

UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ, COLOMBIA  
2019

EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DE SOLDEO CON EL PROCESO GMAW  
ROBOTIZADO EN UN ACERO ASTM A-36

RAMIRO DE LA CRUZ TORRES  
GERMÁN MUÑOZ VELASCO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR:  
ING. HÉCTOR FERNANDO ROJAS MOLANO

ASESORES:  
ING. FABIO ALIRIO CUECA MARTINEZ  
ING. JAIRO ORLANDO MONTOYA

UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ, COLOMBIA  
2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

JURADO

---

JURADO

## DEDICATORIA

Germán Muñoz Velasco

El presente trabajo de grado lo dedico a Dios, por permitirme cumplir con éxito este proceso educativo. A mi madre y hermanos(as) por todo el apoyo y compañía brindada durante el transcurso de la carrera.

Ramiro De La Cruz Torres

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la fuerza suficiente para culminar este proceso con éxito, a mis padres Ramiro De La Cruz de Oro y Sheila J. Torres Alemán por brindarme amor, paciencia, entendimiento y apoyo incondicional que a pesar de las dificultades presentadas fueron el motivo suficiente para salir adelante y cumplir el objetivo en este largo ciclo. A mis hermanos Jairo y Angélica De La Cruz Torres por su motivación y acompañamiento durante mi carrera profesional y a mi novia Laura Sánchez Coronado por darme una voz de aliento cuando estaba a punto de desfallecer. Sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Libre sede Bogotá, por su acompañamiento durante el proceso educativo para formarnos como profesionales.

A la Universidad De la Salle por abrirnos las puertas de sus instalaciones y permitirnos desarrollar el proyecto de grado, en especial al Ingeniero Jairo Orlando Montoya director del departamento de ingeniería en automatización por su confianza y apoyo durante la ejecución de las actividades realizadas, y a Luis Carlos Zambrano Riaño monitor de laboratorio de automatización, por su colaboración en el desarrollo del proyecto

Al Centro de Materiales y Ensayos del SENA, especialmente al Instructor Fabio Alirio Cueva Martínez, por brindarnos sus conocimientos y acompañamiento durante el desarrollo del proyecto.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivos.....	5
1 MARCO REFERENCIAL.....	6
1.1 Marco Conceptual y Teórico.....	6
1.1.1 Soldadura.....	6
1.1.2 Proceso GMAW .....	6
1.1.3 Proceso de Soldadura Robotizado .....	8
1.1.4 Parámetros de Soldadura.....	8
1.2 Estado del Arte.....	9
1.3 Marco Legal y Normativo .....	15
2 DISEÑO y desarrollo METODOLÓGICO .....	16
2.1 Metodología.....	16
2.2 Diseño Experimental .....	17
2.3 Materiales y Equipos .....	23
2.3.1 Material Base.....	23
2.3.2 Material de Aporte .....	23
2.3.3 Equipo de Soldadura .....	24
2.3.4 Brazo Robótico .....	25
2.4 Desarrollo Metodológico.....	26
2.4.1 Elaboración de Acople y Activación de gatillo.....	26
2.4.2 Elaboración del Procedimiento de Soldadura (WPS) .....	28
2.4.3 Registro de Calificación del Procedimiento (PQR) .....	28
2.4.4 Preparación de Material.....	28
2.5 Desarrollo Experimental .....	29
2.5.1 Pruebas Piloto Para Fijar Parámetros .....	29
2.5.2 Aplicación de las Soldaduras.....	29
2.5.3 Calificación del Procedimiento de Soldadura.....	31
3 análisis de RESULTADOS.....	34
3.1 Inspección Visual .....	34
3.2 Inspección con Líquidos Penetrantes.....	35
3.3 Inspección con Rayos x al cupón de calificación.....	36

3.4	Ensayos Mecánicos .....	37
3.4.1	Prueba de Tensión .....	37
3.4.2	Prueba de Dobleza .....	39
3.5	Caracterización Morfológica y Mecánica.....	41
3.5.1	Probeta 1 .....	41
3.5.2	Probeta 2.....	43
3.5.3	Probeta 3.....	44
3.5.4	Probeta 4.....	46
3.5.5	Probeta 5.....	48
3.5.6	Probeta 6.....	49
3.5.7	Probeta 7.....	50
3.5.8	Probeta 8.....	52
3.5.9	Probeta 9.....	54
3.5.10	ANÁLISIS DE MICRODUREZAS.....	56
3.5.11	Análisis y comparación morfológica.....	57
3.5.12	Efecto del stickout.....	58
3.5.13	Efectos de la velocidad de avance .....	59
3.5.14	Efectos del Ángulo de la antorcha.....	60
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
4.1	Conclusiones.....	61
4.2	Recomendaciones.....	62
5	REFERENCIAS.....	63
	ANEXOS .....	66

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matrices Ortogonales.....	18
Tabla 2. Niveles y factores experimentales.....	19
Tabla 3. Resumen de parámetros a analizar. ....	20
Tabla 4. Datos para calcular el número de repeticiones. ....	21
Tabla 5. Composición química del metal base.....	23
Tabla 6. Composición química del electrodo. ....	23
Tabla 7. Resistencia mecánica del electrodo. ....	24
Tabla 8. Especificaciones técnicas del equipo de soldadura. ....	25
Tabla 9. Ensayos no destructivos.....	31
Tabla 10. Ensayos mecánicos.....	32
Tabla 11. Pruebas de caracterización. ....	33
Tabla 12. Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36 ....	37
Tabla 13. Propiedades del ensayo de tensión. ....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso GMAW.....	7
Figura 2. diagrama de flujo del proyecto. ....	16
Figura 3. Curvas características de operación. ....	22
Figura 4. Equipo de soldadura (MIG/MAG). ....	24
Figura 5. Brazo robótico. ....	25
Figura 6. Diseño acople de fijación. A) Plano, B) Pieza.....	26
Figura 7. Activación del gatillo. A) Conexión de la señal eléctrica. B) Pulsador eléctrico. ....	27
Figura 8. A) Diseño de la junta, B) Juntas.....	28
Figura 9. Fijación de Parámetros. A) Pases de presentación, B) pases de raíz. ....	29
Figura 10. Aplicación de las soldaduras.....	30
Figura 11. Soldaduras obtenidas.....	30
Figura 12. Inspección Visual. Fuente. Autores del proyecto 2019.....	34
Figura 13. Inspección Mediante Líquidos Penetrantes ....	36
Figura 14. Radiografía cupón para calificar el procedimiento. ....	36

Figura 15. Diagrama resultados prueba de tensión. ....	38
Figura 16 . Fractura Ensayo Tensión, cupón de calificación .....	39
Figura 17. Prueba de Dobleza A) Dobleza de cara, B) Dobleza de raíz. ..	40
Figura 18. Microdurezas Probeta 1. ....	41
Figura 19. Metalografías probeta 1.A) Microestructura a 50x, B) Defectos encontrados a 100X. ....	42
Figura 20. microdurezas probeta 2.....	43
Figura 21. Metalografías probeta 2. A) centro de la soldadura a 50X, B) Zona afectada por el calor a 100X. ....	44
figura 22. microdurezas (Hv) probeta 3.....	45
Figura 23. metalografías probeta 3. A) Zonas en la soldadura tomadas a 10x, B) Defectos encontrados tomados a 20 x. ....	45
Figura 24. Microdurezas probeta 4.....	46
Figura 25. Metalografías probeta 4. A) Vista general tomada a 5x, B) Pase de raíz a 20 x. ....	47
Figura 26. Microdurezas de la probeta 5.....	48
Figura 27. Metalografías probeta 5. A) vista general tomada a 5x, B) detalle del pase de presentación tomado a 20 x.....	49
Figura 28. Microdurezas de la probeta 6.....	49
Figura 29. Metalografías probeta 6. A) vista general tomada a 5x, B) Pase de raíz tomado a 50x.....	50
Figura 30. Microdurezas (Hv) de la probeta 7.....	51
Figura 31. Metalografías de la probeta 7.A) Vista general de la soldadura tomada a 5x, B) Pase de presentación a 50x. ....	52
Figura 32. Microdurezas de la probeta 8.....	53
Figura 33. Metalografías de la probeta 8, A) vista general de la soldadura tomada a 5x, B) Raíz de la soldadura tomada a 50x. ....	53
Figura 34. Microdurezas (Hv) de la probeta 9. ....	54
Figura 35. Metalografías de la probeta 9. A) Vista general tomada a 5x, B) Centro de la soldadura tomada a 50x.....	55
Figura 36. Histograma micro durezas Hv. ....	56
Figura 37. Microscopia ópticas de las probetas. ....	57
Figura 38. Soldaduras con longitud de stickout variable.....	58
Figura 39. Soldadura con variación de velocidad de avance.....	59
Figura 40. Soldadura con variación de ángulo de antorcha.....	60

## RESUMEN

Se estudió la influencia de los parámetros de soldadura del proceso GMAW robotizado, utilizando un equipo de soldadura Elite 300® con un voltaje de 21V y un amperaje de 200A y un brazo robótico Yaskawa Motoman® de 6 grados de libertad. El material base empleado fue un acero ASTM A-36, de un espesor de ¼" (6mm), con un diseño de junta de 30° en cuchilla. Como material de aporte, se utilizó un electro de referencia ER70S-6 de 0,8mm de diámetro y contenido adicional al del ASTM A-36 de 0,15% Cr, 0,15% Ni, 0,15% Mo, 0,5% Cu según AWS A5.18/A5.18M:2015

Se realizó la adaptación de la pistola del equipo de soldadura al brazo robótico mediante un dispositivo de sujeción para validar los parámetros de soldeo con una prueba piloto y programación del robot. De acuerdo al diseño experimental bajo la metodología Taguchi, se hicieron 9 cupones en función de la Velocidad de avance longitudinal del robot, StickOut (distancia de la boquilla al material base) y ángulo de la antorcha.

Se determinó la defectología de las juntas soldadas mediante las técnicas no destructivas como: Inspección Visual, Tintas Penetrantes y Radiografía Industria, el comportamiento mecánico se estimó con las pruebas de tensión, doblez de cara, raiz y microdureza; adicionalmente se realizó la prueba metalografica para observar los cambios morfologicos en el material base, soldadura y zona afectada termicamente.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los procesos de fabricación más empleados en estructuras metálicas es la soldadura sin embargo existen antecedentes que demuestran que en el sector metalmecánico y afines existe un fuerte desconocimiento sobre distintos aspectos relacionados con la soldadura, así como poca evaluación e investigación de nuevas tecnologías y procedimientos usados actualmente[1].

La preparación de una tarea de soldadura de arco mediante robots en una planta industrial requiere por una parte la planeación del proceso de soldadura en sí mismo y la planificación de la programación de movimientos del robot. En la planeación del proceso de unión el usuario establece el tipo de junta a realizar (a traslape, a tope, etc.), el número de cordones a aplicar, seleccionar el material de aporte y definir los parámetros del arco de soldadura. En la planificación de los movimientos del robot se deberá especificar la posición y orientación relativa robot-tarea, el orden de los puntos a soldar, la geometría de la ruta de los cordones y la orientación adecuada de la antorcha, etc[2].

El proyecto tuvo dos campos de acción; la primera fase se enfocó en la implementación del proceso de soldadura robotizado y la fabricación de las juntas. Y la segunda fase la caracterización de las soldaduras en los laboratorios de análisis de materiales de la Universidad Libre.

## **ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

Alvarez, A., 2012. En el trabajo "Diseño de un procedimiento de soldadura mediante el proceso GMAW utilizando un brazo robótico". Estudió un procedimiento para realizar soldaduras con un brazo robótico (Motoman EA1400) con seis grados de libertad. En él se pudo comprobar una mejora en la productividad, disminución de riesgos de tipo laboral y mejora en la calidad de la producción. Los resultados de los END y de los ensayos mecánicos que se realizaron según el código AWS D1.1:2010 fueron satisfactorias, por lo tanto el procedimiento de soldadura diseñado para la utilización del brazo robótico fue implementado, en la empresa Aceral S.A para la que se realizó el estudio, mejorando la eficiencia del proceso.[3]

Etapa, S.en el año 2012, estudió los sistemas de programación fuera de línea para robots de soldadura. El programa WEROP facilita al usuario el análisis tanto de la accesibilidad del robot a las rutas deseadas como del desempeño cinemático. Asimismo, cuenta con funciones que facilitan la ubicación de las placas a soldar, y base del robot en la estación de trabajo, además dispone de funciones que ayudan al usuario a: seleccionar el modelo de robot a utilizar, elegir el tipo de unión de placas, clase de cordones de soldadura, analizar el desempeño cinemático del robot y la accesibilidad a las tareas propuestas, así como modificar el emplazamiento relativo robot/tarea con el propósito de mejorar la accesibilidad a las tareas y el desempeño cinemático del manipulador[2].

Ortiz, M. en el 2016, en el artículo publicado "automatización de los procesos de soldadura final para vehiculos de pasajeros en GM colmotores", realizó una descripción de conceptos relacionados con automatización industrial; que permiten planear de manera exitosa proyectos de automatización basados en procesos robotizados. La aplicación de un proceso automatizado como proyecto de desarrollo tecnológico implementado a nivel industrial en GM Colmotores arrojó como resultados impactos positivos en los procesos de ergonomía, manufactura y calidad.

Se concluye que se hace necesario revisar, evaluar y mejorar otros procesos de fabricación que involucran soldadura para ser transformados en procesos automatizados. Los robots deben ser capaces de integrarse adecuadamente al ambiente de trabajo para producir resultados óptimos, como el mejoramiento de los tiempos de producción, reducción en costos de operación y la calidad de los productos[4].

## **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROBLEMA**

En los procesos de soldadura convencionales se requiere de gran habilidad y técnica del soldador, para realizar juntas de calidad aceptables según los estándares establecidos en las normas y códigos internacionales. Al depender de las habilidades, destrezas y competencias del personal que realiza las aplicaciones, se corre el riesgo de tener juntas defectuosas, causando pérdidas de material y tiempo a las empresas dedicadas a este segmento de la industria nacional. La soldadura GMAW es una técnica semiautomática de electrodo continuo, que brinda altas posibilidades de automatización completa, pero en Colombia los procesos automatizados están reservados para empresas que cuentan con altos volúmenes de producción, no siendo factibles para medianas y pequeñas empresas dedicadas a este sector industrial. Por lo descrito anteriormente se requiere de mas estudios que abarquen todas las variables y tecnicas que existan en el pais para realizar soldaduras.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En un trabajo automatizado o robotizado se requiere que los parámetros sean introducidos en un programa o código antes de realizar la tarea, con lo cual se pueden tener productos de óptima calidad, en menor tiempo y sin desperdicio de material[5]. El programa de ingeniería en Automatización de la Universidad de la Salle cuenta con un brazo robótico de seis (6) grados de libertad, el cual ha sido utilizado académicamente para prácticas de laboratorio en programación y procesos acoplándole una antorcha de corte con plasma, para materiales metálicos. En el último año adquirieron un equipo de soldadura GMAW con el fin de realizar soldaduras utilizando el brazo robótico, pero el intento fue fallido debido a que no cuentan con el conocimiento en el área y no se hicieron las adaptaciones necesarias del equipo de soldadura al brazo robótico.

## **JUSTIFICACIÓN**

La automatización y la robótica hacen parte de la cuarta revolución industrial en la que se encuentra el mundo moderno, se proyecta que para el año 2020 el grado de automatización en el sector empresarial colombiano será entre el 25% al 30%; lo que implica un enorme reto en materia de apropiación de la tecnología y mejoramiento de las competencias de los empleados. Un estudio del año 2017 puso en evidencia que el 45% de los trabajos que actualmente ejercen las personas podrían ser reemplazados por la tecnología actual, debido a esto surge la necesidad de desarrollar conocimientos y técnicas en el campo de la unión de materiales industriales con equipos existentes en el país que permitan el acercamiento de las nuevas tecnologías a los medianos y pequeños empresarios dedicados a los procesos de soldadura.[6] Con este proyecto se pretende realizar en primera instancia, la generación de un conocimiento profundo en el tema de procesos robotizados a través de los parámetros de soldeo y su influencia en la calidad de las soldaduras; en segundo lugar, un trabajo colaborativo en investigación a nivel interinstitucional entre la Universidad Libre y la Universidad de la Salle.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto de los parámetros de soldeo con el proceso GMAW robotizado, en un acero ASTM A-36.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Implementar un dispositivo de acoplamiento del equipo de soldadura GMAW al brazo robotico, para realizar soldaduras.
- Calificar el procedimiento de soldadura (WPS), mediante un PQR para el proceso robotizado.
- Evaluar el comportamiento microestructural y mecánico de las juntas soldadas por el proceso GMAW robotizado por medio de MOC y perfil de microdurezas.
- Analizar la influencia de las variables de soldadura (Velocidad de avance, Angulo, Stick Out) en la calidad final de la unión soldada.

# 1 MARCO REFERENCIAL

## 1.1 Marco Conceptual y Teórico

### 1.1.1 Soldadura.

Es la unión de dos o más materiales entre sí, de tal forma que queden como una sola pieza. Por lo general se puede decir que la soldadura es la coalescencia localizada de metal, donde ésta es producida por calentamiento a una temperatura adecuada. Se entiende por coalescencia, la acción en virtud de la cual se logra la unión de dos (2) o más materiales y se garantizan las propiedades del material base. La industria y la ciencia han tratado de usar todas las clases de energía conocidas para soldar los materiales, estas energías se pueden clasificar en tres grupos que son: Eléctrica, Química, y Mecánica dentro de estas se encuentran los principales procesos de soldeo por arco eléctrico que entre ellos se encuentran SMAW, GTAW, FCAW, SAW y GMAW.[7]

### 1.1.2 Proceso GMAW

La soldadura por arco de metal y gas (Gas Metal Arc Welding (GMAW o MIG) es un proceso de soldadura por arco, que emplea un electrodo continuo de metal de aporte y su respectivo gas de protección. El proceso se realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente sin aplicación de presión. El proceso GMAW se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que se protege mediante un gas de procedencia externa.

El proceso de soldadura GMAW puede ser metálica con gas activo (MAG) que utiliza gas de protección activos CO<sub>2</sub> o gases mezclados como CO<sub>2</sub> u O<sub>2</sub>. La soldadura metálica con gas inerte (MIG) se realiza con gas inerte argón, helio o sus mezclas. [22] La transferencia de metal se refiere al método por el cual el metal fundido a partir del electrodo continuo atraviesa el arco para formar el depósito de

soldadura. Los mecanismos básicos empleados para transferir metal del electrodo a la pieza de trabajo son: transferencia por cortocircuito, transferencia globular, transferencia por aspersión, transferencia pulsada.[23] Los electrodos son dispositivos que conducen electricidad y que también pueden actuar como metal de soporte[8], los alambres más utilizados para el proceso GMAW son ER70S-2, ER70S-3, ER70S-4, su escogencia va a depender de su aplicación.[7] La soldadura con gas de protección es un procedimiento de soldadura por arco que incluye entre otras la soldadura metálica con gas de protección mediante los procedimientos GMAW. Con este proceso se pueden soldar chapas finas a partir de 0,7 milímetros hasta materiales más gruesos de hasta 100 milímetros. Para la soldadura con gas de protección se necesita la formación del arco, alambre de acero y gas de protección. [24]

En la figura 1 se presenta un diagrama con los elementos del equipo GMAW, para el proceso de soldadura.

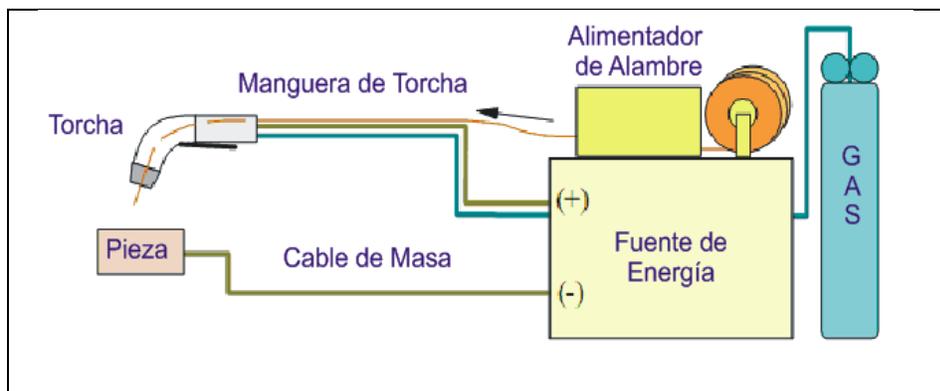


FIGURA 1. DIAGRAMA DEL PROCESO GMAW.  
FUENTE.[9]

### 1.1.3 Proceso de Soldadura Robotizado

Un proceso de soldadura robotizado es aquel en el cual el operario de soldadura no interviene directamente al momento de realizar la soldadura solamente interviene en la programación de la unidad de trabajo. Este proceso surge como consecuencia de la necesidad de obtener cordones de mejor calidad y excelentes acabados, de allí surgió la robotización de procesos industriales y con ello los robots, estos se diferencian de las máquinas automáticas en su versatilidad y capacidad para ser adaptados a diversas funciones a través de cambios simples en su programación. En soldadura se observan buenos ejemplos de robotización justificándose técnica y económicamente porque mejoran la calidad y productividad de las empresas así como también en la salubridad y limpieza del proceso. [10]

### 1.1.4 Parámetros de Soldadura

Las variables del proceso GMAW que afectan la penetración en la soldadura, la geometría del cordón y la calidad del depósito de soldadura son llamados parámetros de soldadura y son los siguientes:

- **Amperaje:** Es una medida de la cantidad de corriente que fluye entre el electrodo y la pieza de trabajo. Es la variable primaria que determina el calor de entrada. Generalmente un incremento en el amperaje deriva en incrementos de velocidad de depósito, penetración y dilución (metal de aporte-metal base). [10]
- **Voltaje de Arco:** Esta variable está directamente relacionada con la longitud del arco. El voltaje se incrementa cuando aumenta la longitud de arco, y por lo tanto la demanda o exigencia de mayor protección del arco. Para soldadura con Voltaje Constante (CV), como el GMAW el voltaje es determinado o establecido primeramente en la máquina. El voltaje de arco también controla o influye en el ancho del cordón.[10]

- **Velocidad de Avance:** Es la velocidad a la cual el electrodo es desplazado a través de la junta. En algunos casos una baja velocidad de avance puede resultar en una reducción de la penetración ya que el arco afecta en el espesor de la capa de metal fundido a depositar. [23]

## 1.2 Estado del Arte

En el año 2009 Sánchez, A., en el trabajo “optimización de los parámetros de soldadura por proceso de arco eléctrico con protección de gas GMAW para soldar un acero A-27”. Estableció la metodología para soldar acero ASTM A-27, con el fin analizar su soldabilidad en función de los elementos de aleación, así como la influencia de los parámetros de soldadura en la penetración. El valor máximo de penetración obtenido fue de 3.3 mm para una corriente de 260 Amperios, 30 Voltios, velocidad de avance de 70 cm/min y una extensión del electrodo de 12.7 mm. Con 252 amperios, 27.7 voltios, velocidad de avance 40 cm/min y extensión del electrodo 9.92 mm, se obtuvo una penetración de 3,5mm. La variable de mayor influencia en la penetración es el amperaje. [11]

Valencia, A., 2016, estudió la caracterización de las alteraciones micro estructurales del acero A-36 que se presentan en la ejecución de una aplicación de soldadura teniendo en cuenta las variables esenciales. Las probetas con el rango más alto de amperaje en todos los espesores sufrieron afectaciones térmicas producto del aporte adicional de material, pero a diferencia de la de 1/4” a 345 in/min, las de 3/8” a 385 in/min y 1/2” a 425 in/min, tuvieron mayor sección transversal y mayor peso volumétrico, lo que permitió una disipación y una distribución más uniforme del calor involucrado en toda su geometría, lo que condujo a fluctuaciones térmicas y formaciones micro estructurales más estables.[12]

Ghazvinloo, H., y Shadfar, N. 2010, en su estudio “efecto del voltage de arco, corriente de soldadura y velocidad de avance en la vida util y fatiga de las uniones

soldadas producidas con un robot de soldadura MIG”. Estudiaron las soldaduras con los siguientes parámetros: Voltaje (20v, 23v y 26v); Amperaje (110A,130A y 150<sup>a</sup>) y velocidad de avance de 50, 60 y 70 cm/min, evaluando las propiedades mecánicas mediante pruebas de fatiga e impacto a temperatura ambiente. Midieron las profundidades de penetración en las soldaduras obtenidas y como resultado se obtuvo que al aumentar la entrada de calor la resistencia a la fatiga en la soldadura disminuye. Mientras que la energía de impacto en la soldadura aumenta y luego disminuye significativamente. También se observaron un aumento lineal en la profundidad de penetración al aumentar la corriente y el voltaje de arco. La mayor penetración se obtuvo con una velocidad de avance de 60cm/min.[13]

Sathiya, S., y Aravindan, P., En su trabajo realizado en la india en el año 2010, llevaron a cabo soldaduras de reborde sobre placa en hojas de acero inoxidable súper austenítico AISI 904 L utilizando gas con el proceso de soldadura de arco de metal (GMAW). En esta investigación el cable sólido AISI 904 L con un diámetro de 1,2 mm se usó con un electrodo con polaridad positiva y corriente continua. Se caracterizó generalmente la zona de fusión por características geométricas, el ancho del cordón, la altura del cordón y la profundidad de penetración. La forma de la zona de fusión dependió de una serie de parámetros tales como velocidad de flujo de gas, voltaje, velocidad de desplazamiento y velocidad de alimentación del alambre. La técnica Taguchi fue aplicada para planificar los experimentos. Se observó que la superficie de la placa soldada es limpia, buena y la zona de soldadura quedo libre de grietas en todas las soldaduras[14].

Thiru, S., 2013, estudió los parámetros del proceso de soldadura directa con un robot para soldadura por arco con CO<sub>2</sub> en un acero al carbono estructural. El rendimiento del modelo se probó utilizando la técnica de análisis de varianza. En este estudio se observó que la corriente de soldadura fue el parámetro más significativo que afecta la penetración de la soldadura y también se encontró que el ángulo de soldadura influye en la penetración de la soldadura en una escala más

baja en comparación con la corriente. Se observó que el voltaje de circuito abierto tiene una relación inversa con la penetración cuando interactúa con la corriente de soldadura a bajo nivel y la tasa de desplazamiento del arco tiene una relación inversa en ambos niveles.[15]

Albuquerque, L. 1997, realizó un trabajo investigativo titulado “Influencia de los parámetros de oscilación en la formación de grietas en revestimientos automáticos” en donde exploró la optimización de los parámetros de soldadura de alambre con núcleo de flujo automático para el revestimiento duro sin grietas. Se llevaron a cabo una serie de pruebas para verificar la influencia de la corriente, la velocidad de desplazamiento, el ángulo de la antorcha, la amplitud de oscilación, el tiempo de permanencia, la frecuencia y la distancia de trabajo de la punta de contacto. Las estadísticas experimentales se utilizaron para planificar y analizar los experimentos. El resultado muestra que el precalentamiento y la amplitud de oscilación son los factores más importantes; cuanto mayor es la temperatura de precalentamiento y más estrecha es la amplitud de oscilación, menor es el agrietamiento. La relación entre la aparición de grietas y el aumento de la dureza también se exploró pero no se encontró asociación con la microestructura, a pesar de la influencia de algunos parámetros y la dilución en la microestructura. Lo cual se concluye que es posible eliminar el agrietamiento en el revestimiento duro sin disminución de la dureza. [16]

Sumesh, A., 2017, y colaboradores, en su estudio “Correlación entre corriente y Voltaje de arco y defectos en la soldadura en un proceso GMAW”, demostraron la importancia de la calidad de las soldaduras en industrias fabricantes de calderas y recipientes a presión que operan en condiciones severas. Por lo tanto ejecutaron la optimización de las soldaduras a través de un brazo robótico realizando experimentos con una fuente de alimentación GMAW, integrando sensores de voltaje y corriente, registradores de datos, software y hardware de procesamiento de señales, con el fin de garantizar la calidad de las soldaduras, evitando la aparición de defectos al monitorear y controlar los procesos en tiempo real.[17]

Mukherjee, M., y colaboradores, evaluaron el efecto de las variables de proceso de soldadura por arco de gas doble (DP-GMAW) sobre los componentes microestructurales y la dureza de los depósitos de soldadura de acero con bajo contenido de carbono. La formación de inclusiones y ferrita acicular durante la solidificación se calculó para observar el efecto de los parámetros del proceso en los componentes microestructurales. Además, el análisis de micro dureza de los metales de soldadura fue llevado a cabo para evaluar el efecto de las variaciones microestructurales sobre el material. Los resultados indicaron que la disminución de la entrada de calor, la frecuencia del pulso y la frecuencia del pulso térmico aumentan la fracción de volumen de inclusión y la ferrita acicular en los metales de soldadura. La fracción de mayor volumen de ferrita acicular resulta finalmente en una microestructura de grano fino con la mayor dureza de los metales de soldadura. El tamaño de grano de la zona afectada por el calor fue más fino, lo que finalmente aumentó la dureza en dicha zona.[18]

Y. Xu., G, Fang et al., En enero del año 2017, realizaron un estudio en conjunto entre universidades de China y Australia, haciéndole seguimiento a cordones de soldadura con el fin de mejorar la calidad del arco metálico con gas (GMAW), se desarrolló un sistema de soldadura para el seguimiento de la costura basado en un sensor de visión especialmente diseñado. Al analizar las características de GMAW robótico se desarrolló un nuevo programa de software para el seguimiento de costuras de soldadura. El programa incluyó módulos específicos, como el control de potencia de soldadura, la configuración inteligente de parámetros, la captura de imágenes y el procesamiento basados en algoritmos mejorados a base de datos de expertos en soldadura. Para evaluar la viabilidad del método desarrollado de seguimiento de costura, la precisión y la naturaleza en tiempo real se realizaron experimentos en diferentes tipos de soldaduras. Los resultados demostraron que el método de seguimiento de costura de soldadura propuesto es capaz de lograr

una buena precisión de seguimiento para la mayoría de las aplicaciones de soldadura.[19]

Kah, p., 2015 y colaboradores, realizaron un estudio acerca de los sensores de soldadura por arco robótico y programación en aplicaciones industriales, donde resaltaron el desempeño y la importancia de los sensores en los sistemas de soldadura por arco robótico. Con características de sistema de control adaptativo e inteligente que pudieran rastrear la unión, monitorear la calidad en proceso de la soldadura y tener en cuenta la variación en la ubicación y geometría de la junta. Este trabajo describió varios aspectos de la soldadura robótica, su programación y los problemas asociados con la técnica. Además, analizó los sensores disponibles para el seguimiento y el descubrimiento del cordón y presentó una aplicación práctica de sensores para la soldadura robótica semiautónoma. Este estudio aumentó la familiaridad con la soldadura robótica y el papel de los sensores en esta técnica. [20]

En el año 2015, Antonelli, D., y Astanin, S., realizaron un trabajo de investigación que se centra en la calificación de un sistema de soldadura en colaboración de un humano-robot el cual se basó en una cooperación interactiva entre un supervisor humano y un robot de soldadura. Este enfoque permitió organizar una estación de trabajo que incluyó robots para pequeñas producciones. El trabajo abordó un problema para las aplicaciones industriales en lo referente a la calificación de soldaduras, el rendimiento de los cupones en términos de precisión, repetitividad y fiabilidad. [21]

Kuss, A. 2017, y colaboradores presentaron un enfoque novedoso en la descripción de tareas para la fabricación de soldaduras robóticas y el reconocimiento de productos y función automática en los modelos CAD. Este método evaluó varios escenarios de prueba para ensamblajes de productos de soldadura que indican el

uso y eficacia para la planificación automática de programas en soldadura robótica.[22]

Farson, D. 2008, estudió una técnica de detección no intrusiva de bajo costo, conocida como detección de arco pasante, que consistió en recolectar y analizar señales de corriente y voltaje de soldadura. El Indicó que la detección a través del arco se puede usar para detectar varios indicadores de calidad GMAW., como estabilidad del arco y el modo de transferencia de metal. Además, la técnica es prometedora para detectar el inicio de las perturbaciones de los procesos GMAW, Esta tecnica incluye variaciones en el Stick out, cobertura insuficiente del gas protector, problemas de alimentación del electrodo, problemas de ajuste de la junta y desgaste de la punta de contacto. [23]

Alba, O., y colaboradores en el año 2012, publicaron un artículo acerca del sistema de programación fuera de línea para robots de soldadura y su etapa de planificación de movimientos, en este trabajo se presentaron las características básicas del programa Werop (Welding Robots Off-line Programming), para programación fuera de línea de robots de tipo industrial en tareas de soldadura. El programa facilitó al usuario el análisis de la accesibilidad al robot. Asi mismo, contó con funciones que facilitaban la ubicación de las placas a soldar, y la ubicación de la base del robot en la estación de trabajo. Se mostro una aplicación del programa en la planificación de procesos de soldadura en un robot industrial de 6 grados de libertad. [24]

En Brasil en el año 2017 Lima, E., realizó un trabajo con soldadura de arco de metal utilizando un robot antropomorfo. El objetivo de este trabajo era mostrar los resultados obtenidos con la soldadura de arco de metal utilizando un robot antropomórfico. El procedimiento alió los beneficios de la robotización tales como calidad, repetitividad, trazabilidad y flexibilidad inherentes al proceso SMAW. Se observó que controlando el voltaje, el robot puede mantenerlo constante y la longitud del arco aumenta significativamente al final del cordón de soldadura

### 1.3 Marco Legal y Normativo

- AWS D.1.1/D1.1M:2010 Structural Welding Code- Steel.
- D17.4, Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel.
- ANSI/AWS B1.11-2000. American Welding Society. Guide for the Visual Inspection of Welds (2000).
- ASTM E 94 – 04 Standard Guide for Radiographic Examination.
- ASTM E 1032 (Standard Test Method For Radiographic of Weldments).
- ASME SECC IX 2015 QW-152.

## 2 DISEÑO Y DESARROLLO METODOLÓGICO

### 2.1 Metodología

Para la realización del proyecto se trabajó con una investigación cualitativa correlacional, donde se buscó como objetivo principal determinar el efecto de los parámetros de soldadura en el proceso GMAW ROBOTIZADO, en un acero ASTM A-36. En la figura 2 describe el proceso de las actividades a realizar durante el proyecto efecto de los parámetros de soldeo de un proceso GMAW robotizado en un acero ASTM A-36.

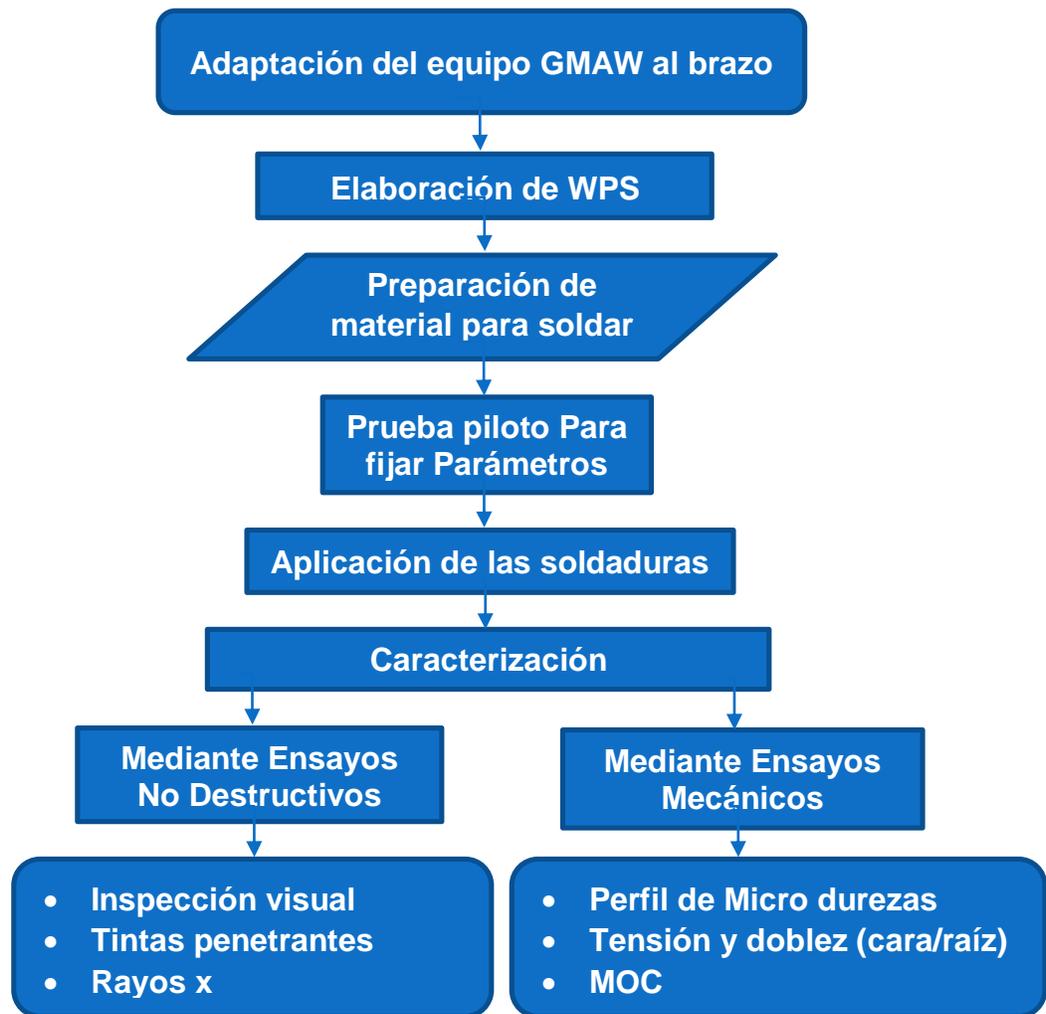


FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO.  
Fuente. Autores del proyecto 2019.

## 2.2 Diseño Experimental

Desde el punto de vista experimental los parámetros son las variables de entrada y sus niveles quedan definidos por los rangos de operación establecidos en las fichas técnicas del fabricante. La combinación de factores y niveles determinan el número de corridas o pruebas, en las que se pueden hacer cambios al mismo tiempo y observar las respuestas sistemáticamente durante su proceso. Los diseños de bloques, factoriales, fraccionales, aleatorios, robustos, superficie de respuesta y de regresión entre otros, son métodos tradicionales de diseño de experimentos cuyo problema es el elevado número de pruebas que se tienen que hacer y el costo asociado que representa.

Los métodos tradicionales pueden combinarse en arreglos ortogonales para planear experimentos particulares, el Dr. Genichi Taguchi en 1962 introdujo el concepto de ortogonalidad en los diseños experimentales estadísticos como una herramienta ingenieril que examinara simultáneamente muchos factores, permitiendo estimar el efecto principal e interacción de formas independientes de cada uno de ellos y simplificando significativamente el número de pruebas o corridas de un experimento. El método Taguchi está definido como un sistema eficiente de combinaciones óptimas en el diseño de experimentos para que un producto sea funcional con un alto nivel de desempeño en función de los factores de ruido asociados al experimento. Sus arreglos tienen la forma  $L_a(b^c)$  donde “a” es el número de pruebas, “b” los niveles y “c” los factores. [24]

Un diseño de experimentos factorial convencional  $n^K$ , donde n representa los niveles y K los factores, podría dar un número alto de pruebas; atendiendo al caso presente de este estudio con una selección de 3 niveles y tres factores ( $3^3$ ) daría un total de 27 experimentos, sin tener en cuenta las réplicas o repeticiones, mientras que con el método Taguchi se estaría procesando solamente 9 experimentos, gracias a

plantillas ya preestablecidas y disponibles para su uso una reducción de experimentos. Un ejemplo de este arreglo ortogonal Taguchi, se muestra en las tablas 1, con la designación  $L_9(3^3)$ , donde los factores están designados con las letras A, B, y C los niveles con los números 1 para el nivel mínimo, 2 para el medio y 3 para el máximo.[25]

A continuación se muestran las tablas de las matrices con el arreglo ortogonal  $L_9(3^3)$ .

**TABLA 1. MATRICES ORTOGONALES**

$L_9$	MATRIZ ORTOGONAL		
No. EXPERIMENTO	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

$L_9$	MATRIZ ORTOGONAL		
No. EXPERIMENTO	A	B	C
1	20	6	80
2	20	9	90
3	20	12	100
4	25	6	90
5	25	9	100
6	25	12	80
7	30	6	100
8	30	9	80
9	30	12	90

Fuente. Autores del proyecto 2018.

Las variables que se consideraron para el diseño de experimentos fueron:

Material de prueba acero ASTM A-36 de  $\frac{1}{4}$ " y material experimental alambre ER70S-6.

- Factores Controlables: velocidad de avance del brazo robótico, Ángulo de la antorcha, la altura de la punta de contacto con respecto al cordón de soldadura (Stick out).
- Factores de ruido (no controlables): condiciones ambientales (% de humedad relativa y temperatura ambiente del sitio de aplicación).

Factores:

- Velocidad de avance del brazo robótico.
- Angulo de la antorcha: Según el posicionamiento y el sentido en que se avanza (empuje, arrastre) [26].
- Altura de la boquilla de contacto a la pieza (stick out).para transferencia por corto circuito están entre 6 mm y 12 mm.

Niveles: Bajo, medio, alto

Atendiendo a los rangos de operación del equipo y los parámetros de soldeo, según recomendaciones de las fichas técnicas de los fabricantes, en la tabla número 2 se configura y resume los niveles de operación de acuerdo a los factores establecidos:

**TABLA 2. NIVELES Y FACTORES EXPERIMENTALES.**

Nivel / Factor	Velocidad de avance (A) (mm/seg)	Altura stickout (B) (mm)	Ángulo de antorcha (C)
1 (Mínimo)	20	6	80
2 (Medio)	25	9	90
3 (Máximo)	30	12	100

Fuente. Autores del proyecto 2018.

Utilizando el programa “Desing-Expert 6.0.8”, se realizó un análisis de varianza previo para estimar el comportamiento de las variables de salida o respuestas

basadas en los datos de las fichas técnicas suministrados por los fabricantes de los alambres; en este caso se seleccionaron la fluencia y la resistencia.

- Tipo de estudio: Factorial
- Método: Taguchi OA
- Arreglo:  $L_9(3^3)$
- Numero de experimentos: 9
- Factores y niveles: Los enunciados en la tabla número 2.
- Número de respuestas a analizar: 2

Un resumen del ANOVA arrojado por el programa Desing-Expert 6.0.8, se muestra en la tabla 3, en ella se tienen en cuenta los siguientes aspectos escogidos para el respectivo análisis:

- Modelo del diseño: Efectos principales
- Tipo de transformación: Raíces cuadradas
- Parámetro característico de probabilidad: Media

A continuación se presentan los parámetros arrojados por el programa a tener en cuenta en el análisis.

**TABLA 3. RESUMEN DE PARÁMETROS A ANALIZAR.**

RESPUESTA	NOMBRE	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIACION ESTANDAR	CUADRADO DE LA MEDIA	ERROR ESTANDAR DE PREDICCIÓN
Y1	FLUENCIA	Mpa	250	300	6,83	46,66	7,2
Y2	RESISTENCIA	Mpa	400	550	5,33	28,42	5,62

Fuente. Autores del proyecto 2018.

De acuerdo con los valores de los errores estándar tanto para la fluencia como para la resistencia a la tracción, se establece entonces que el factor de confiabilidad de

los ensayos puede estar entre el 92.8 y 94.38% con un  $\alpha=0.05$  de probabilidad para rechazar la hipótesis nula; con ello el número de repeticiones necesarias para satisfacer estas condiciones se calculan según la ecuación 1 que está relacionada con el parámetro de no centralidad de las curvas características de operación para el análisis de varianza en modelos de efectos fijos (figura 3).

$$\Phi^2 = \frac{n \cdot a \cdot D^2}{2 \cdot b \cdot \sigma^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

- $\Phi^2$ : Relación del parámetro de no centralidad.
- n: Numero de repeticiones.
- a: Grados de libertad del factor uno.
- b: Grados de libertad del factor dos.
- $D^2$ : Diferencia entre el cuadrado de las medias.
- $\sigma^2$ : Cuadrado de la diferencia de las desviaciones estándar.

Los grados de libertad  $V_1$  y  $V_2$  de las curvas características de operación para el análisis de varianza que son equivalentes a los grados de libertad a y b de la ecuación 2, quedan determinados en función de los niveles experimentales para los factores definidos por medio de las ecuaciones 2 y 3 respectivamente:

$$V_1 = (a - 1) = (b - 1) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$V_2 = a * b(n - 1) \quad \text{Ecuación 3}$$

Por tanto (n-1) es igual a 2 grados de libertad y reemplazando en la ecuación 3 se obtienen los valores para la tabla a continuación.

**TABLA 4. DATOS PARA CALCULAR EL NÚMERO DE REPETICIONES.**

n	$\Phi^2$	$\Phi$	$V_1$	$V_2$	$\beta$	$1 - \beta$
1	4.05	2.01	2	4	---	---
2	8.1	2.84	2	8	0.05	0.95
3	12.15	3.53	2	12	---	---

Fuente. Autores del proyecto 2018.

Atendiendo al valor de  $\beta$  como la probabilidad del error tipo 2 y a  $(1-\beta)$  como la potencia o nivel de significancia de la prueba, se estableció utilizar 2 repeticiones para integrar al diseño factorial fraccional ortogonal; de esta manera el número de experimentos a realizar es 9.

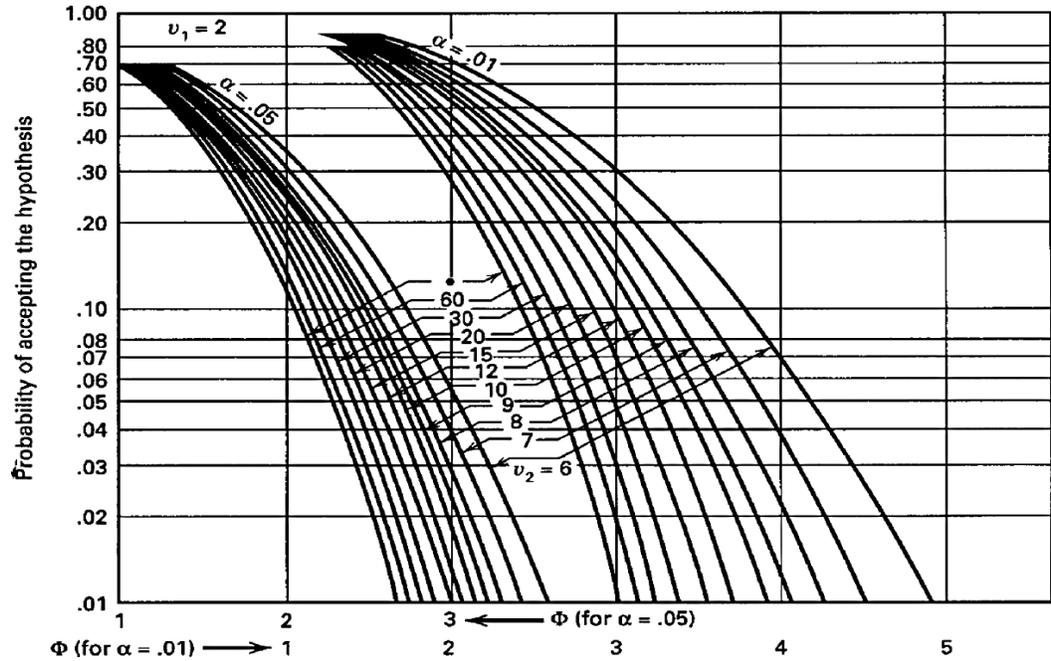


FIGURA 3. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN.  
Fuente. Montgomery, D., 2001.

## 2.3 Materiales y Equipos

### 2.3.1 Material Base

Acero ASTM A-36, acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

La tabla 5 muestra la composición química del metal base:

**TABLA 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL BASE.**

Carbono (C)	0.26% Max
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fosforo (P)	0.04% Max
Azufre	0.05% Max
Silicio (Si)	0.40% Max
Cobre (Cu)	0.20% mínimo

Fuente. [8]

### 2.3.2 Material de Aporte

Alambre ER70S-6 de 0.8mm de diámetro.

En las tablas 6 y 7 se muestra la composición química y las propiedades mecánicas del metal de aporte.

**TABLA 6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO.**

	%C	%Mn	%Si	%S	%P
Requisitos AWS ER70S-6	0,06-0,15	1,40-1,85	0,80-1,15	0,035 Máx.	0.025 Máx.
Resultados Típicos	0,08	1,45	0,84	0.011	0.008
	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu (Total)
Requisitos AWS ER70S-6	0,15 Máx	0,15 Máx	0,15 Máx	0,03 Máx	0,50 Máx
Resultados Típicos	0,025	0,013	0,002	0,002	0,12

Fuente. [27]

**TABLA 7. RESISTENCIA MECÁNICA DEL ELECTRODO.**

	Resistencia a la Cedencia	Resistencia a la Tensión Mpa (Ksi)	Elongación %	Charpy V-Notch j(ft*lb) a-30°C (-22°F)
Requisitos-AWS ER70S-6 (como se soldó con 100% CO2)	400 (58)min	480 (70)min	22min	27 (20)min
Resultados Típicos (como se soldó con 100% CO2)	470 (68)	573 (83)	28	104(72)

Fuente [27]

### 2.3.3 Equipo de Soldadura

La figura 4 muestra el equipo de soldadura MIG MAG tipo Inversor con 300 Amperios, para alambres sólidos hasta 1/16" (1,6mm). Y recomendado para 1.2 mm (0.045"). Ofrece un Ahorro del 30% en consumo eléctrico y permite utilizar generadores.



**FIGURA 4. EQUIPO DE SOLDADURA (MIG/MAG).**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO CON AUTORIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE 2019.**

La tabla 8 muestra las características y especificaciones técnicas del equipo de soldadura Elite Mig 300:

**TABLA 8.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE SOLDADURA.**

Voltaje Entrada	220V	Rango de Corriente	30- 300 Amp
Frecuencia	50-60 Hz	Ciclo de Trabajo	60%
Voltaje en Vacío	55V	Fusible Mínimo recomendado	32Amp

Fuente.[28]

### 2.3.4 Brazo Robótico

YASCAWA Motoman de seis (6) grados de libertad, esta marca incluye robots específicos para aplicaciones de manipulación, corte, sellado, peletizado, plegado, carga-descarga de máquinas herramienta, montaje, ensamblaje, pulido, desbarbado, mecanizado, manipulación, pintura, y soldadura, con capacidad de carga útil hasta los 800 kg. En la figura 5, se observa el brazo robótico de seis (6) grados de libertad. con la antorcha utilizada para el corte con plasma.



**FIGURA 5. BRAZO ROBÓTICO.**

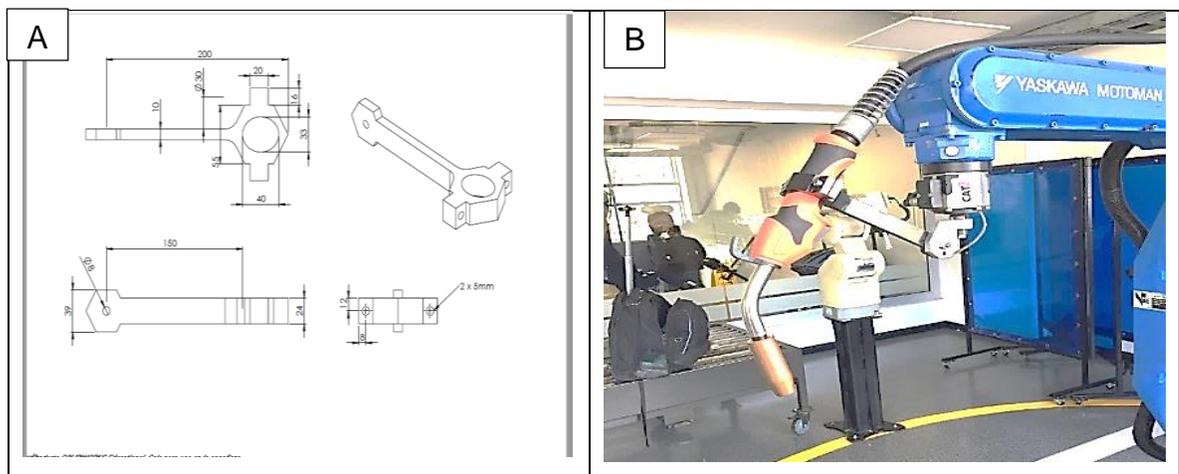
**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO CON AUTORIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**2019**

## 2.4 Desarrollo Metodológico.

### 2.4.1 Elaboración de Acople y Activación de gatillo.

La primera tarea que se realizó en el proyecto fue diseñar y fabricar el acople para que el robot tuviera la capacidad de manipular la antorcha. Se necesitó que este elemento fuera rígido, exacto y que no interviniera ni deteriorara la precisión y estabilidad del robot, y tampoco comprometiera los componentes mecánicos y eléctricos del robot. Lo primero que se realizó fue consultar el manual de operación del brazo robótico y el manual del equipo de soldadura, con el fin de conocer las especificaciones de cada uno para proceder a diseñar una pieza funcional de acuerdo a las especificaciones de diseño del robot y la antorcha del equipo de soldadura. El diseño del acople se realizó en Solid Works y se fabricó en acero A36. En la Figura 6A se observa el plano para la fabricación del acople. la Figura 6B muestra la Pieza fabricada y montado sobre él brazo.

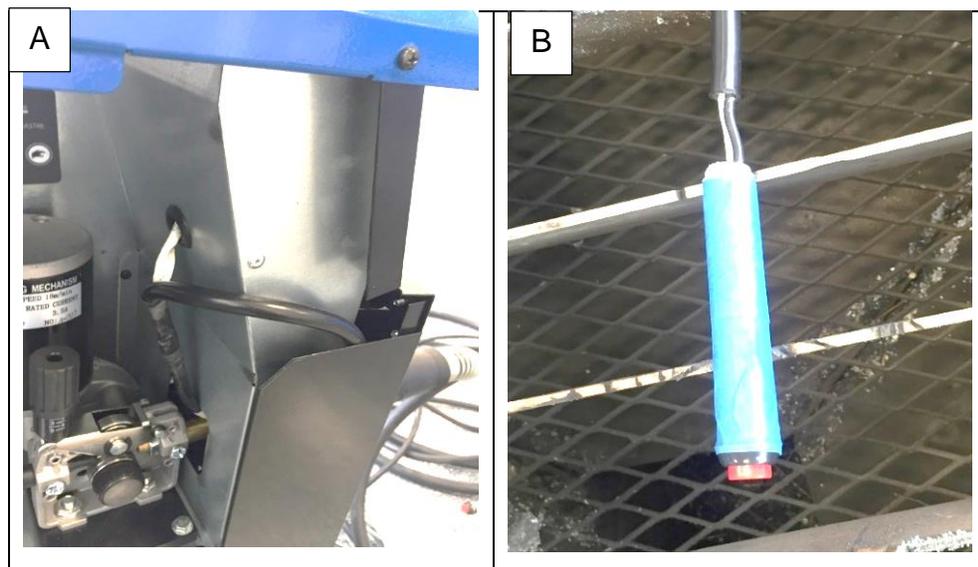


**FIGURA 6. DISEÑO ACOPLE DE FIJACIÓN. A) PLANO, B) PIEZA.  
FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

Una vez fabricado él acople se instaló en el brazo robótico y se realizaron pruebas de movimiento del robot con la antorcha del equipo de soldadura acoplada.

El encendido del arco eléctrico se activa mediante un switch (gatillo) que se encuentra en la pistola del equipo, al accionarlo el activa todos los componentes para crear el arco (energiza el electrodo, enciende el motor para la salida del alambre y abre la válvula de salida del gas protector).

Como este sistema de soldadura robotizada no fue automatizado en su totalidad ya que el brazo robótico no contaba con una tarjeta electrónica necesaria para interactuar con el equipo de soldadura GMAW fue necesario realizar el control de encendido y apagado del arco eléctrico mediante una conexión derivada del cable proveniente de la pistola y conectado a un contactil eléctrico una distancia de tres (3) metros para activar el gatillo desde fuera de la zona de acción del brazo robótico. En la figura 7 se observa la conexión realizada desde el interior del equipo de soldadura y el contactil encargado de cumplir las funciones del gatillo en la pistola del equipo.



**FIGURA 7. ACTIVACIÓN DEL GATILLO. A) CONEXIÓN DE LA SEÑAL ELÉCTRICA. B) PULSADOR ELÉCTRICO.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

## 2.4.2 Elaboración del Procedimiento de Soldadura (WPS)

Se realizó un procedimiento de soldadura para el proceso robotizado con las siguientes variables: acero ASTM A-36 1/4" (6mm) de espesor grado 1, velocidad de avance con el robot de 25mm/s en posición plana, gas de protección Co2 flujo de 25 CFH, material de aporte: clase ER 70s-6, calibre 0.8mm. No aplica precalentamiento por espesor establecido, corriente directa DC, amperaje de 200 Amp, voltaje de 20 Voltios y modo de transferencia en corto circuito. para conocer todas las variables esenciales y no esenciales ver anexo 4.

## 2.4.3 Registro de Calificación del Procedimiento (PQR)

Se elaboró el procedimiento con el objetivo de calificar las juntas soldadas obtenidas según el código AWS D1.1 2015, en donde se especifica realizar ensayos no destructivos (Vt, PT y RX) y mecánicos de Tensión y Doblez. Ver anexo 5.

## 2.4.4 Preparación de Material

La junta se diseñó con un arreglo en (V) y ángulo de 30° y terminación en cuchilla, separación de raíz de 1.5 mm como se muestra en la figura 8.

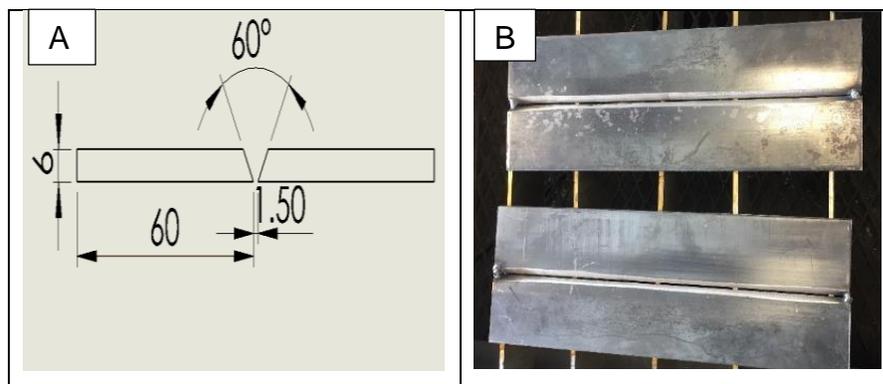


FIGURA 8. A) DISEÑO DE LA JUNTA, B) JUNTAS.  
FUENTE AUTORES DEL PROYECTO 2019.

## 2.5 Desarrollo Experimental

### 2.5.1 Pruebas Piloto Para Fijar Parámetros

Para obtener cupones con una presentación aceptable lo primero que se realizó fue parametrizar el equipo de soldadura GMAW, se realizaron tres (3) aplicaciones para fijar parámetros adecuados. Las variables que mejor resultado arrojaron fueron: 200 amperios, 21 voltios y un flujo de gas de protección de 25 CFH.

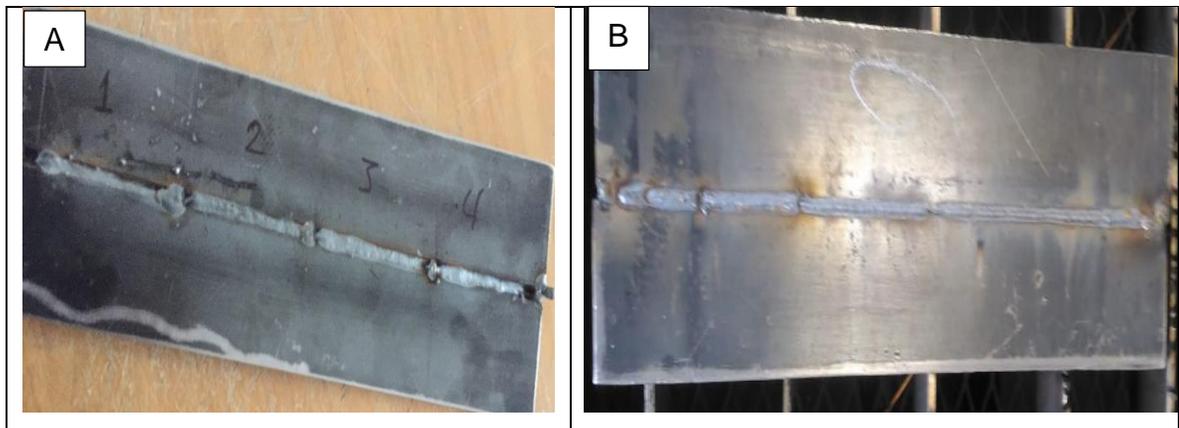
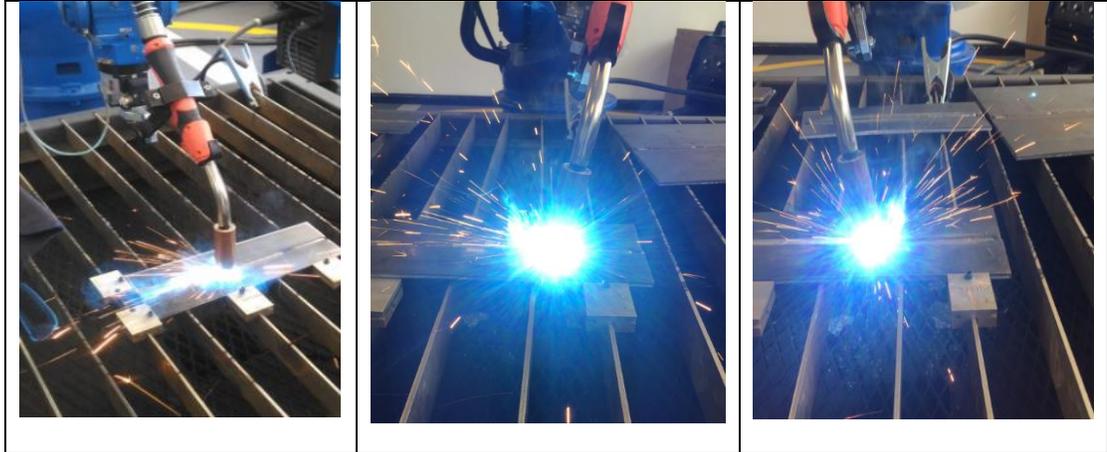


FIGURA 9. FIJACIÓN DE PARÁMETROS. A) PASES DE PRESENTACIÓN, B) PASES DE RAÍZ. FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

### 2.5.2 Aplicación de las Soldaduras

Para la aplicación de las soldaduras la forma de transferencia de metal fue por cortocircuito, se hicieron nueve (9) soldaduras de acuerdo al diseño experimental Taguchi (Tabla 1), Estas soldaduras se realizaron con un pase de raíz, un pase intermedio y un pase de presentación, para cada uno de las juntas soldadas variando la velocidad de avance del robot, la distancia del contactil al material base (stickout), y el ángulo con el que se posiciona la antorcha al soldar.

En la figura 10 se observa la forma como fueron realizadas las soldaduras según el Angulo, y la figura 11 muestra las soldaduras obtenidas con el proceso robotizado.



**FIGURA 10. APLICACIÓN DE LAS SOLDADURAS.  
FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

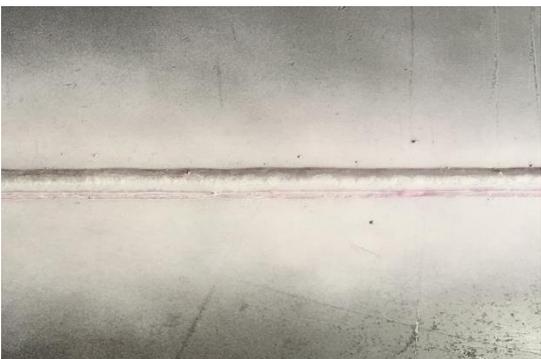


**FIGURA 11. SOLDADURAS OBTENIDAS.  
FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### 2.5.3 Calificación del Procedimiento de Soldadura.

Se calificó el WPS para los siguientes parámetros: Velocidad de avance del brazo robótico 25mm/s, altura de la boquilla al metal base 6mm y ángulo de la antorcha 90°, mediante un PQR de acuerdo al código AWS D1.1:2015. Las tablas 9 y 10 respectivamente, muestran las pruebas realizadas para calificar el procedimiento (WPS).

**TABLA 9. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.**

Ensayo	Imagen	Observaciones
Inspección visual (vt)		Se realizó inspección visual de acuerdo a código AWS D1.1, 2015. (ver anexo 1)
Tintas penetrantes (pt)		La aplicación de Líquidos Penetrantes se realizó de acuerdo a código AWS D1.1 y la norma recomendada ASTM E 165-09. Se utilizó líquidos penetrantes Tipo II, Método C, Removible con Solvente. (ver anexo 2).

Radiografía industrial (rx)		La preparación de las imágenes radiográficas se realizó de acuerdo a los procedimientos descritos según ASTM E 1032. (ver anexo 3).
-----------------------------	--	---

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

TABLA 10.ENSAYOS MECÁNICOS.

Ensayos Mecánicos		
Ensayo	Imagen	Observaciones
Tensión		Probetas diseñadas según código AWSD1:1 2015, ensayos realizados en máquina universal Ref. UH50A marca Shimadzu.
Doblez		Probetas de acuerdo al código AWSD1:1 2015. Se realizaron pruebas de cara y de raíz. (ver anexo 6).

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

En la tabla 11 se describen las pruebas realizadas para la caracterización de las soldaduras.

**TABLA 11. PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN.**

Caracterización de Soldaduras		
Prueba	Imagen	Observaciones
Microscopía Óptica Convencional (MOC)		Se pulieron las probetas a brillo espejo con papel abrasivo de 80 hasta 1500, alúmina de 0,03 micras a 350rpm. Se atacó con Nital al 5% durante 10 segundos y por último se observaron en el microscopio Olympus PME3.
Microdurezas		Se realizaron 10 indentaciones por cada pase de soldadura (raíz, intermedio y presentación), con una carga de 300gf durante 30 segundos a una distancia de 2mm por cada punto.

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizaron 9 cupones con diferentes parámetros de acuerdo al diseño experimental establecido, de los cuales el que mejor resultado presentó durante la inspección visual fue el cupón número cuatro (4), soldado con los siguientes parámetros: Velocidad de Avance 25mm/s, StickOut 6 mm y Ángulo de la antorcha de 90°. A este cupón se le realizó la calificación del procedimiento de soldadura mediante un PQR.

#### 3.1 Inspección Visual

Una vez realizado el cupón, se elaboró un procedimiento para realizar la inspección visual correspondiente, con base en el código mandatorio AWS D1.1 2015, con el fin de detectar indicaciones y/o discontinuidades superficiales a lo largo del cordón de soldadura. Se utilizó el kit de inspección visual para medir las discontinuidades encontradas tales como: calibrador, galgas (pico de loro, hi-lo), regla y lupa de inspección.

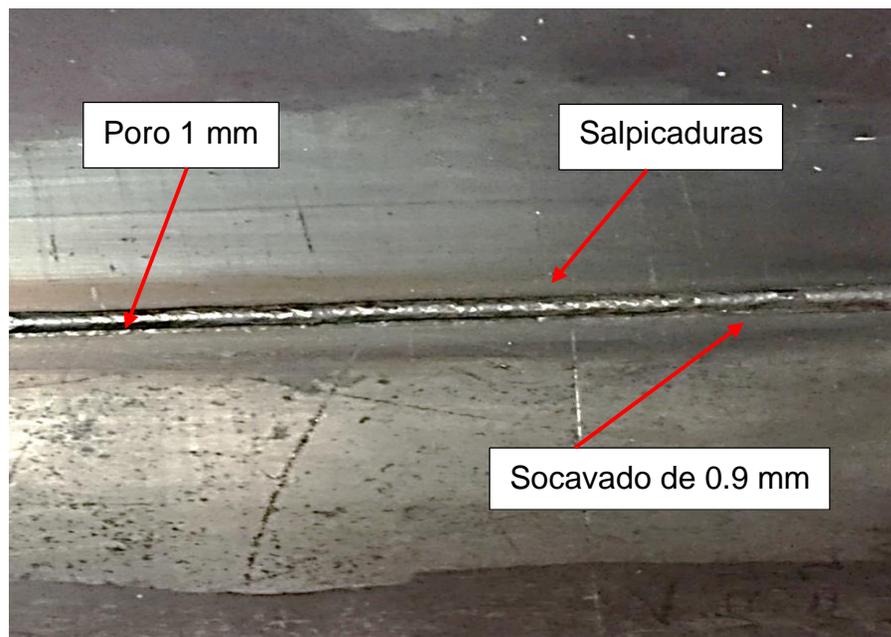
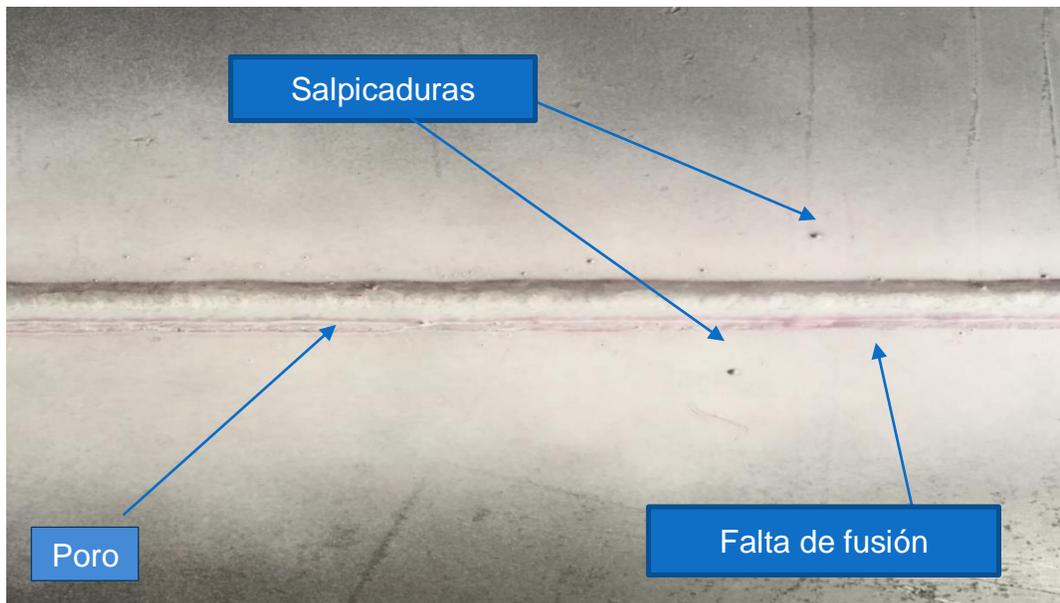


FIGURA 12. INSPECCIÓN VISUAL. FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

Los resultados de la inspección visual fueron: presentación del cordón aceptable (altura de 2,4mm), sin grietas, poro de 1mm, socavado de 0.9mm, salpicaduras no relevantes. El pase de presentación tiene una altura del cordón de 2,4mm esto depende de la velocidad de avance del brazo robótico, las salpicaduras y los poros presentados en el cupón se deben al flujo de gas utilizado en la aplicación de la soldadura que fue de 25CFH o 12lts/seg. El socavado se debe a los parámetros del proceso de soldadura (Voltaje, Amperaje, Ángulo y Velocidad de Avance). Sánchez A, en el 2009 concluyó que la variable que tuvo mayor influencia en el cordón de soldadura fue el amperaje, en este estudio la variable más influyente fue la velocidad de avance. De esta manera se determina que la unión soldada cumple con los criterios de aceptación del código mandatorio en mención y se sigue con una inspección de tintas penetrantes para verificar si se presentan otras discontinuidades no detectadas en la inspección visual.

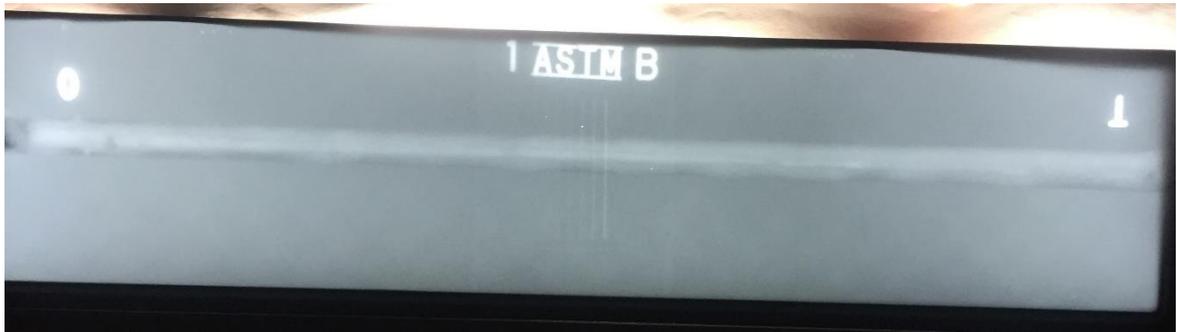
### **3.2 Inspección con Líquidos Penetrantes**

Presenta un buen aspecto visual, no se evidencian poros, salpicaduras ni grietas que pongan en peligro la integridad de la soldadura. Las salpicaduras pueden darse por falta o exceso de gas de protección, una velocidad de salida del alambre que no está en concordancia con la velocidad de avance del brazo robótico. Se presenta una falta de fusión en un lado del cordón debido a una aplicación en forma lineal. Estas discontinuidades fueron medidas y comparadas con los estándares establecidos en el código AWS D1.1/D1.1M: 2015 y estuvieron dentro de los rangos permitidos, por lo tanto, la soldadura es aceptada sin ninguna restricción.



**FIGURA 13. INSPECCIÓN MEDIANTE LÍQUIDOS PENETRANTES  
FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019**

### **3.3 Inspección con Rayos x al cupón de calificación**



**FIGURA 14. RADIOGRAFÍA CUPÓN PARA CALIFICAR EL PROCEDIMIENTO.  
FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

No se evidenciaron grietas internas, se ve en la parte inferior del cordón faltas de fusión que ya habían sido detectadas con la inspección con líquidos penetrantes, estas se encuentran dentro de los límites aceptados por el código mandatorio AWS D 1.1, 2015. Con estos resultados obtenidos el cupón es aceptado y se procede a realizarle los ensayos mecánicos pertinentes para calificar el proceso. (ver anexo 3).

### 3.4 Ensayos Mecánicos

#### 3.4.1 Prueba de Tensión

Los ensayos para la prueba de Tensión, se llevaron a cabo en el laboratorio de ensayos mecánicos de la Universidad Libre, en la máquina universal de Ensayos de Ref. UH50A marca SHIMADZU, analizando el comportamiento del cupón de calificación realizado por el robot, cuando está sometido a un esfuerzo de tensión Uniaxial. El procedimiento y los criterios de aceptación llevados a cabo para dicha prueba, se obtuvieron según las especificaciones de la norma ASME SECC IX 2015 QW-152. Se debe tener en cuenta las propiedades mecánicas del material base y los valores mínimos establecidos por la tabla mostrada a continuación.

**TABLA 12. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO ASTM A-36**

Propiedades Mecánicas Acero ASTM A-36			
Límite de Fluencia Mpa/Ksi	Esfuerzo Máximo de Tensión. Mpa / Ksi	Elongación % Mín.	Densidad Kgm/m <sup>3</sup> -Lb/in <sup>3</sup>
250 / 36	400-550 / 58-80	20%	7850 – 28

Fuente. ASTM A.36 Standard Specification for Structural Steel for Ships/Designation: A36/A36M-14

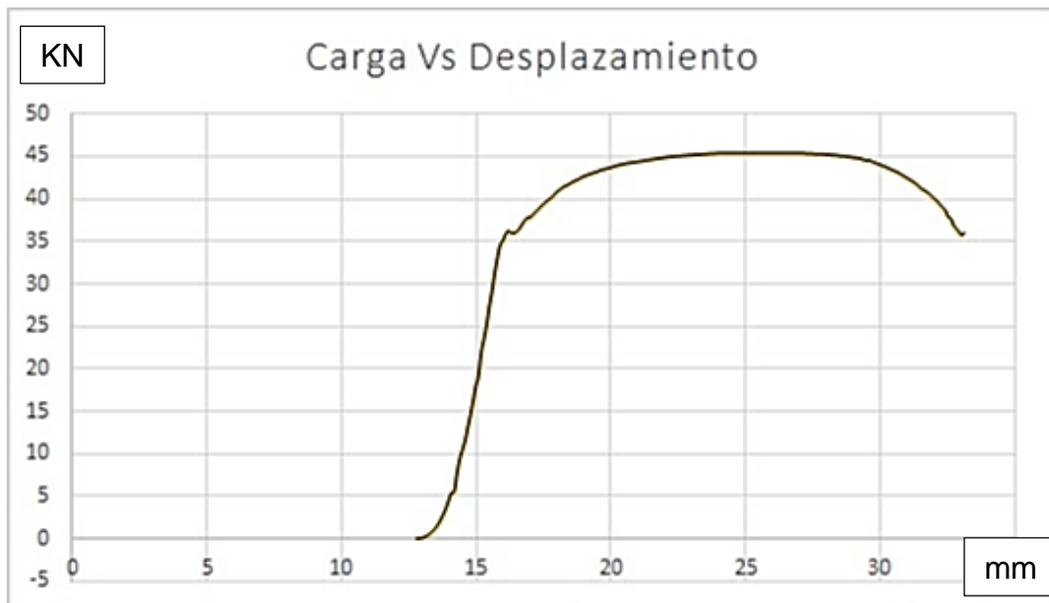
Durante el ensayo se recopiló una serie de datos que ayudaron al análisis del comportamiento del material en la junta soldada, se determinó, que cumple con los requerimientos de la norma AWS D1.1 2015, ya que dichas muestras rompieron por fuera de la soldadura, en el metal base, arrojando la siguiente información:

**TABLA 13. PROPIEDADES DEL ENSAYO DE TENSIÓN.**

Material ASTM A-36	Esfuerzo Último (MPa)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	% de Elongación
Muestra 1	467,5	269	21,27
Muestra 2	454,1	284	23,28

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

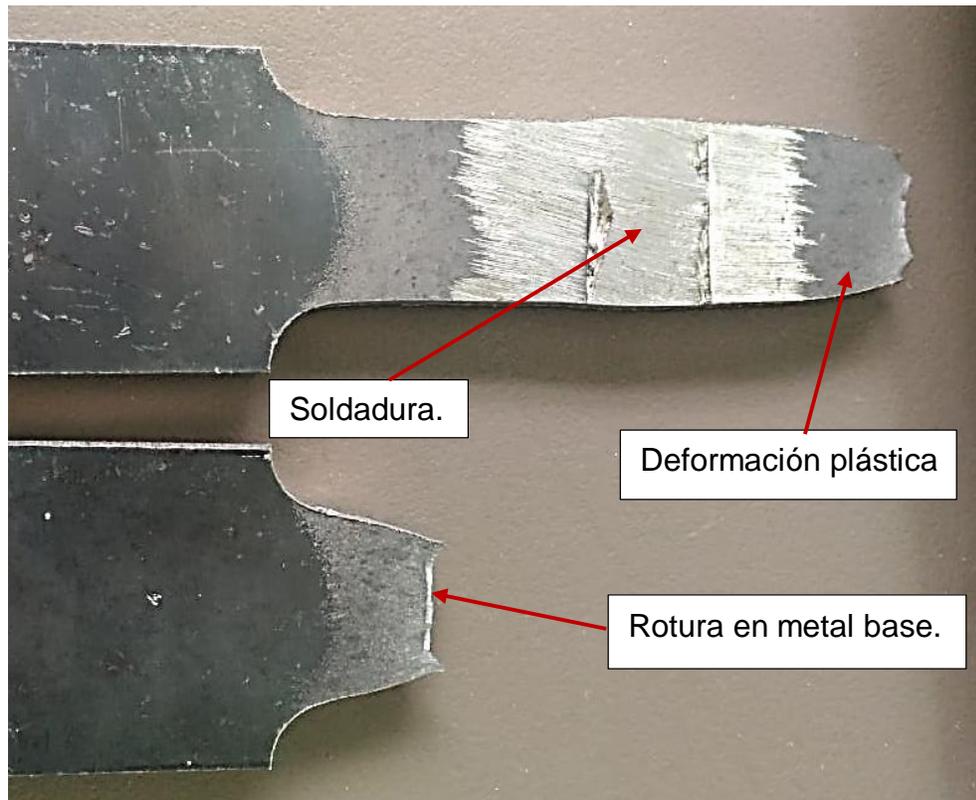
De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que las muestras analizadas presentan resultados similares a las especificaciones del material base, por lo tanto, el cordón de soldadura cumple con los criterios de aceptación del código AWS D1.1[29]



**FIGURA 15. DIAGRAMA RESULTADOS PRUEBA DE TENSIÓN.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

En cuanto a la fractura presentada en el metal base durante el ensayo de tensión, muestra una superficie fibrosa Figura 16, la cual es de tipo Dúctil, manifestando que el material tiene una zona de deformación plástica considerable.



**FIGURA 16 . FRACTURA ENSAYO TENSIÓN, CUPÓN DE CALIFICACIÓN**  
**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### **3.4.2 Prueba de DobleZ**

Se hicieron 4 probetas, de las cuales dos (2) se utilizaron para doblez de cara y dos (2) para doblez de raíz. Se probaron en la Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu) de los laboratorios de la universidad Libre. Luego se evaluó la integridad del cordón de soldadura en busca de fisuras o defectos causados por el doblamiento de estas con el objetivo de comprobar la capacidad que presenta la junta soldada al ser sometida a una fuerza constante, determinando la sanidad de la soldadura.

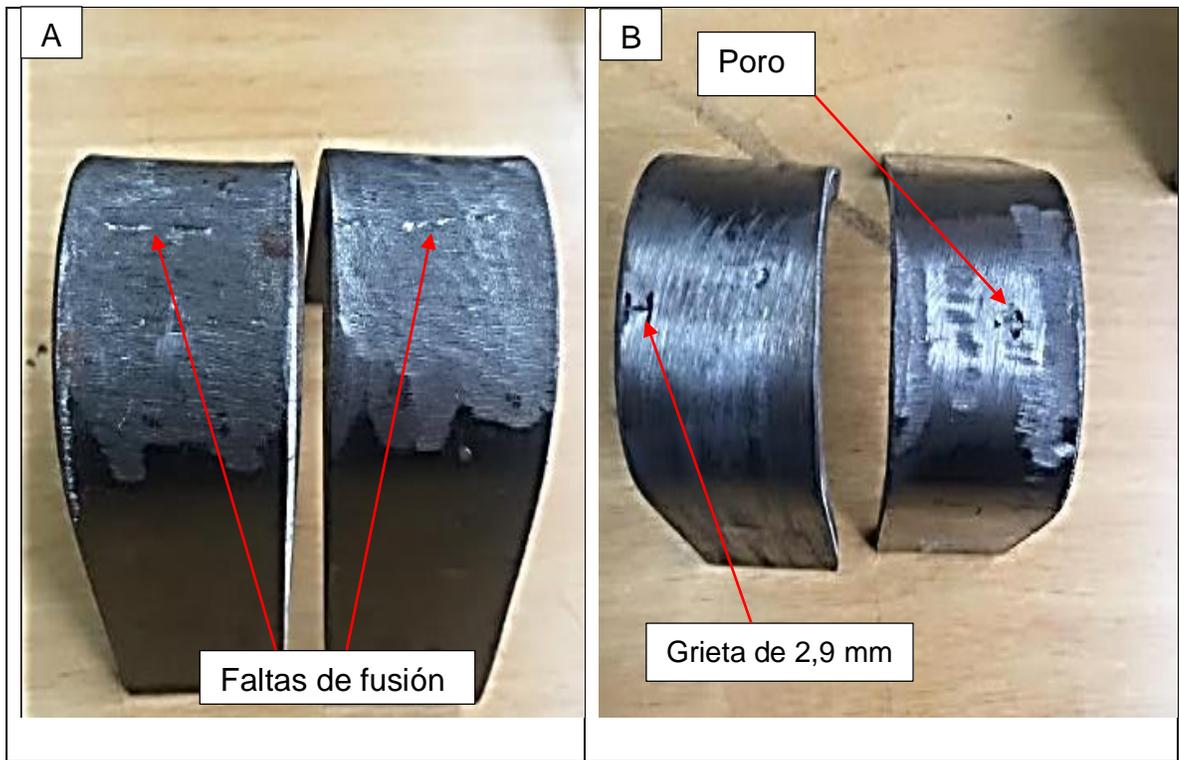


FIGURA 17. PRUEBA DE DOBLEZ A) DOBLEZ DE CARA, B) DOBLEZ DE RAÍZ.

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

En la figura 17 se observa discontinuidades en las probetas de doblez de cara pertenecientes a faltas de fusión que no se quitaron al momento de pulir la superficie. En la prueba de doblez de raíz (Fig. 17B), se observa una grieta que tiene una longitud de 2,9 mm la cual está dentro del rango aceptado por el código AWS D1.1/1.1 M, 2015. La otra no posee grietas sino un poro que se hace más grande por la acción de la prueba practicada.

Con estos resultados obtenidos en la prueba de doblez se confirma que la soldadura realizada con el proceso GMAW robotizado es de buena calidad y que cumple con los estándares de aceptación el código en mención.

### 3.5 Caracterización Morfológica y Mecánica

La caracterización de las soldaduras se realizó por medio de microscopía óptica convencional (MOC) y la mecánica mediante ensayo de microdureza (Hv).

#### 3.5.1 Probeta 1

La figura 18 muestra las curvas que se obtuvieron en los perfiles de microdurezas de la probeta número uno (1), se soldó con los siguientes parámetros: velocidad 20 mm/s, stickout de 6 mm, y Angulo de la antorcha de 80°. Se hicieron identaciones en el pase de raíz, pase intermedio y pase de presentación, se empezó en el metal base (MB) con el fin de estudiar el comportamiento de la dureza en las zonas afectadas por el calor y la zona de fusión. En el pase de raíz se observa una variación de la dureza entre 70Hv y 100Hv, en el pase intermedio hay una dureza mayor que en el pase de raíz que varía entre 100 y 300Hv, la mayor dureza se presentó en el pase de presentación en la zona de fusión con un valor de 475Hv, la dureza más alta se presenta porque en el pase de presentación hay un calor acumulado de los pases de raíz e intermedio esto causa que se presente un refinamiento de grano que hace que la dureza sea mayor.

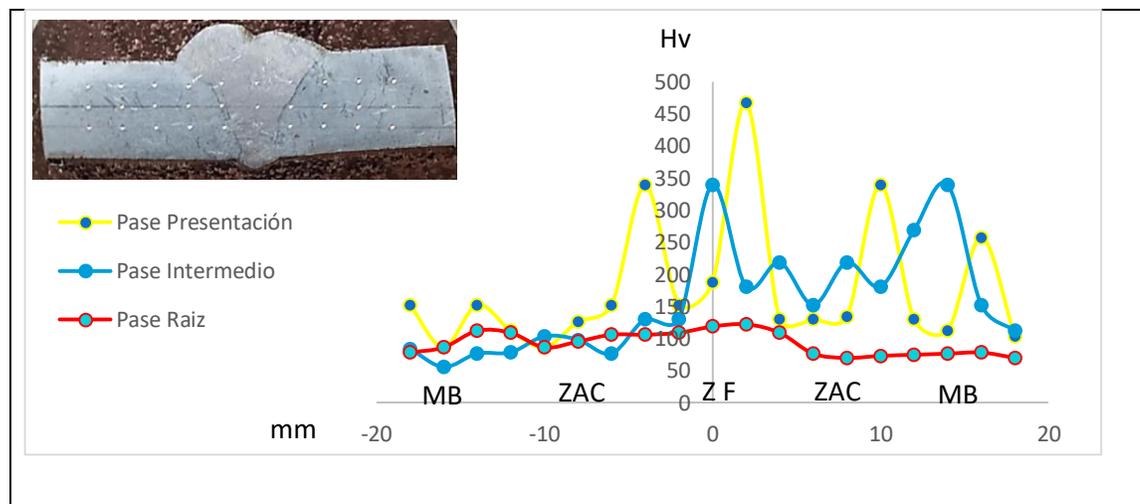
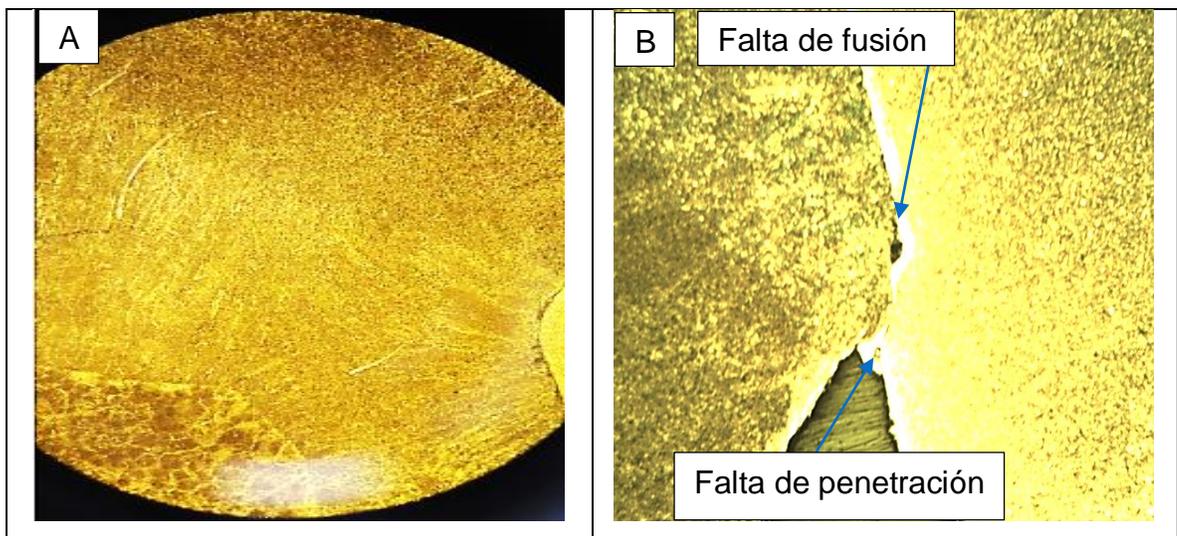


FIGURA 18. MICRODUREZAS PROBETA 1.

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019

La figura 19 muestra las microscopías que se tomaron de la probeta uno (1), en la parte A se observa la zona afectada por el calor en ella se ve la diferencia en los tamaños de grano que se forman en todas las zonas de una soldadura esto es lo que hace que las durezas sean diferentes como se ve en la grafica de las durezas. Esta probeta presentó problemas de falta de penetración debido a la técnica de empuje (Angulo de 80°) con la que se soldó, se presenta porque el charco de soldadura se va formando delante del arco y este no logra hacer contacto directo con el metal base. En la figura 19B se puede ver una falta de fusión que se debe a las condiciones y parámetros con los que se realizó este cupón. Según Sánchez, A, (2009) el parámetro que más influye en la penetración de las soldaduras es el amperaje, para el caso de este estudio el parámetro que más influyó en la penetración de la soldadura fue el del Angulo de la antorcha (80) con el que se soldó este cupón.



**FIGURA 19. METALOGRAFÍAS PROBETA 1. A) MICROESTRUCTURA A 50X, B) DEFECTOS ENCONTRADOS A 100X.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO.**

### 3.5.2 Probeta 2.

En la Figura 20 se observa el perfil Gaussiano proveniente del cupón número dos (2), se soldó con los siguientes parámetros: velocidad 20 mm/s, stickout de 9 mm, y Angulo de la antorcha de 90°. Se tomaron microdurezas en las tres zonas del perfil transversal de la soldadura. La mayor dureza presentada se da en el pase intermedio en la zona de fusión, obteniendo un valor entre 180 y 200 Hv, esto se debe al refinamiento de grano que se forma en la zona de fusión, por lo tanto, presenta similitudes con las propiedades de microdureza del metal base. Al mantener el amperaje constante y espesor de  $\frac{1}{4}$ " se presentan fluctuaciones térmicas y formaciones microestructurales lo que permite una disipación y distribución más uniforme del calor involucrado, confirmando el estudio de Valencia A. en el año 2016.[12]

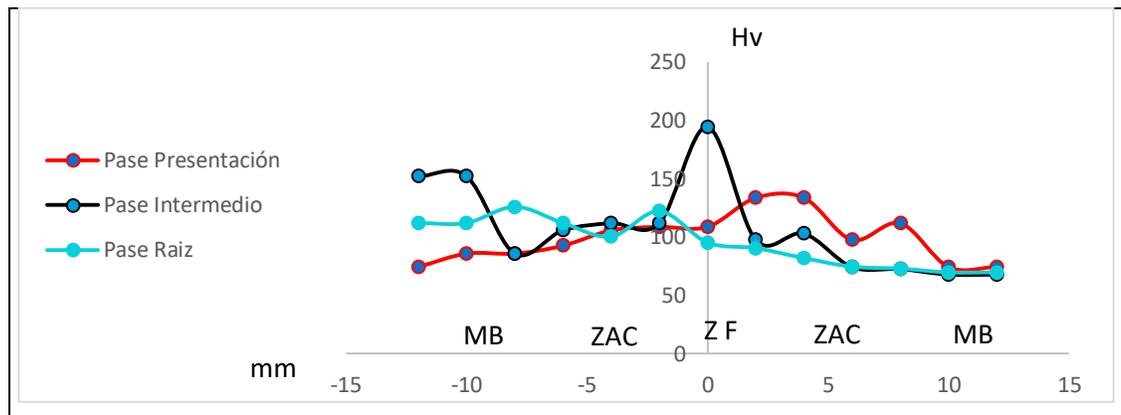
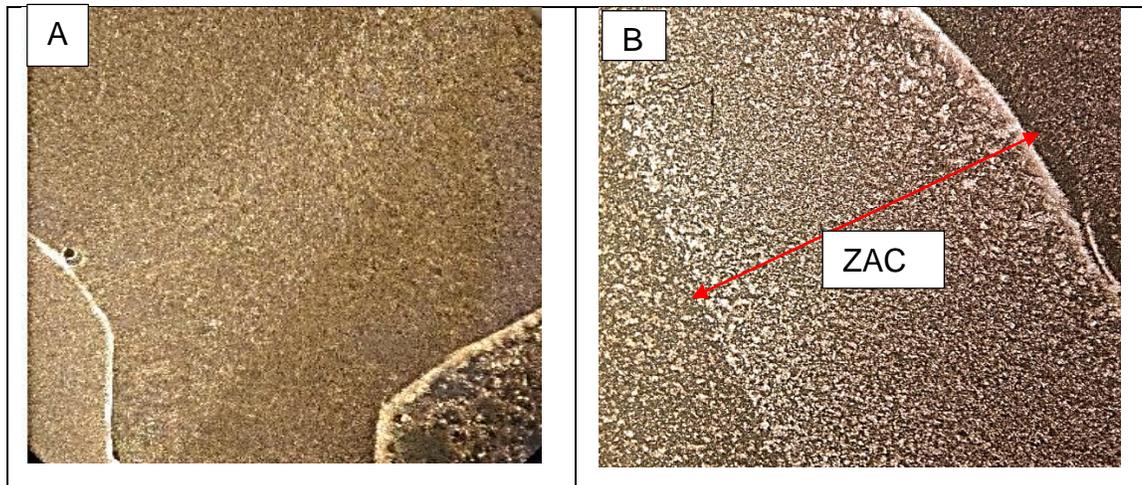


FIGURA 20. MICRODUREZAS PROBETA 2.

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

En la imagen 21 se observa las metalografías tomadas de la probeta dos (2), la parte A es el centro del cordón de soldadura con un aumento de 20x y la B es la zona ZAC tomada con aumento de 50X. La zona afectada térmicamente en este caso, se prolonga a lo largo del metal base debido a la baja velocidad de avance de 20mm/s, esto hace que exista una mayor deposición de material de aporte, generando mayor calor y una velocidad de enfriamiento baja.



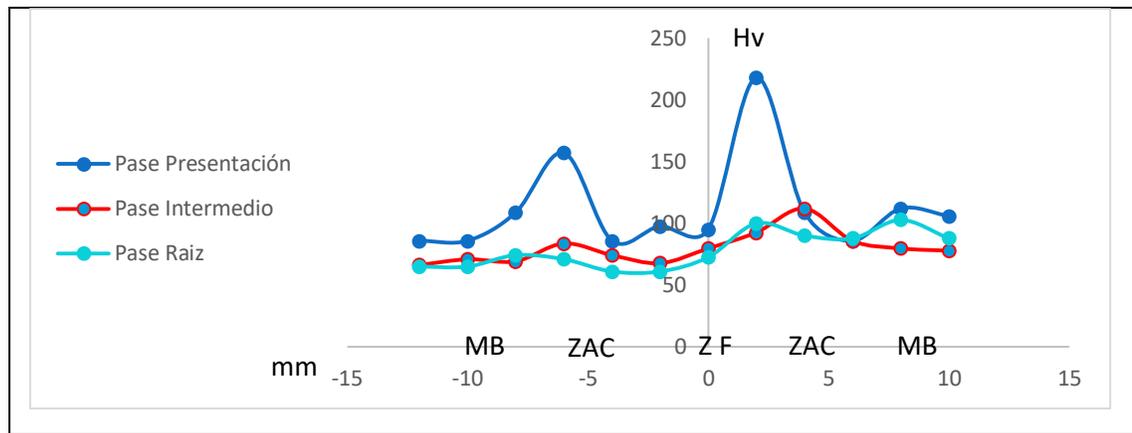
**FIGURA 21. METALOGRAFÍAS PROBETA 2. A) CENTRO DE LA SOLDADURA A 50X, B)**

**ZONA AFECTADA POR EL CALOR A 100X.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### **3.5.3 Probeta 3**

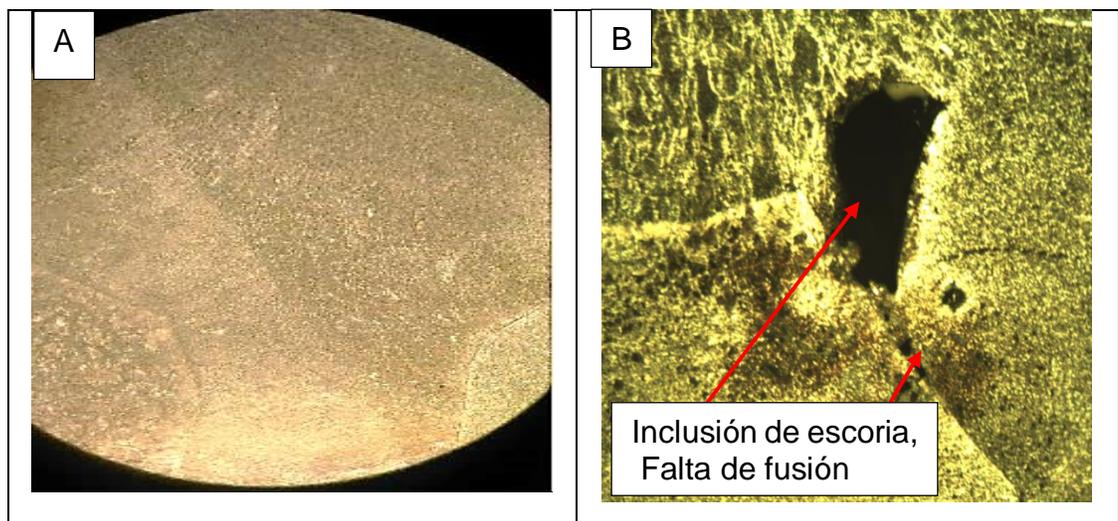
Esta probeta proviene del cupón número tres (3) fue soldada con los siguientes parámetros: velocidad 20 mm/s, stickout de 12 mm, y ángulo de antorcha de 100°. En la figura 22 se evidencia una mayor microdureza en el pase de presentación, debido a que el parámetro que mayor influencia tiene en este cupón es el ángulo de aplicación que permite una técnica de arrastre. Debido a esta técnica se obtiene el control y protección del charco de soldadura, lo que genera un refinamiento de grano en la zona afectada térmicamente.



**FIGURA 22. MICRODUREZAS (Hv) PROBETA 3.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

En la Figura 23, se observa las metalografías de la zona afectada térmicamente, y una discontinuidad detectada en este cupón. Este defecto es generado por la baja velocidad de avance, lo que hace que el arco de soldadura actué sobre el charco de metal fundido y no sobre el metal base, con lo que se reduce la penetración efectiva en la soldadura. También presenta problemas de salpicaduras en la parte externa y contaminaciones en la parte interna debido al incremento del stickout.



**FIGURA 23. METALOGRAFÍAS PROBETA 3. A) ZONAS EN LA SOLDADURA TOMADAS A 10X,**

**B) DEFECTOS ENCONTRADOS TOMADOS A 20 X.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### 3.5.4 Probeta 4.

La figura 24 evidencia las microdurezas en cada una de las zonas del cordón de soldadura. En ella se puede ver los valores obtenidos en el metal base (MB), Zona afectada por el Calor (ZAC) y la Zona de Fusión (ZF). Arrojando resultados que oscilan entre 50 y 350 Hv. El cupón número cuatro (4). fue soldada con los siguientes parámetros: velocidad 25 mm/s, stickout de 6 mm, y ángulo de la antorcha de 90°.

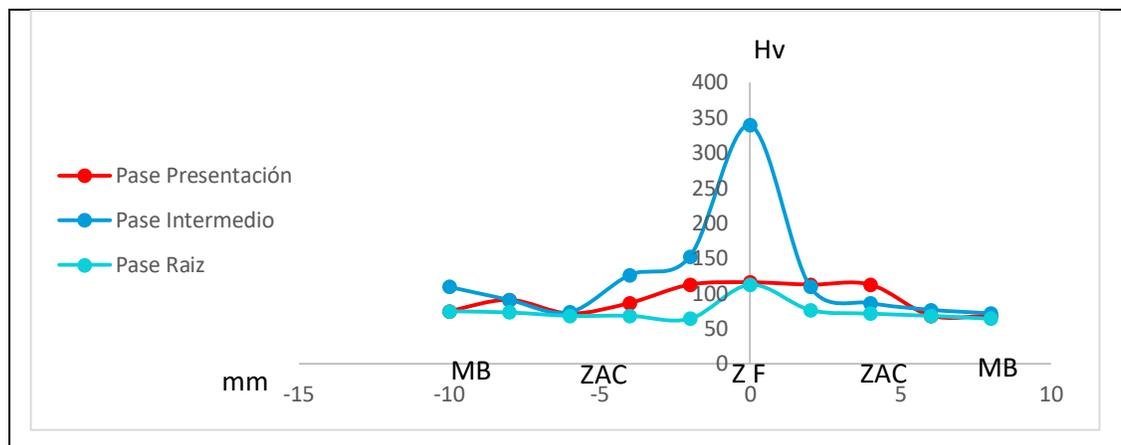
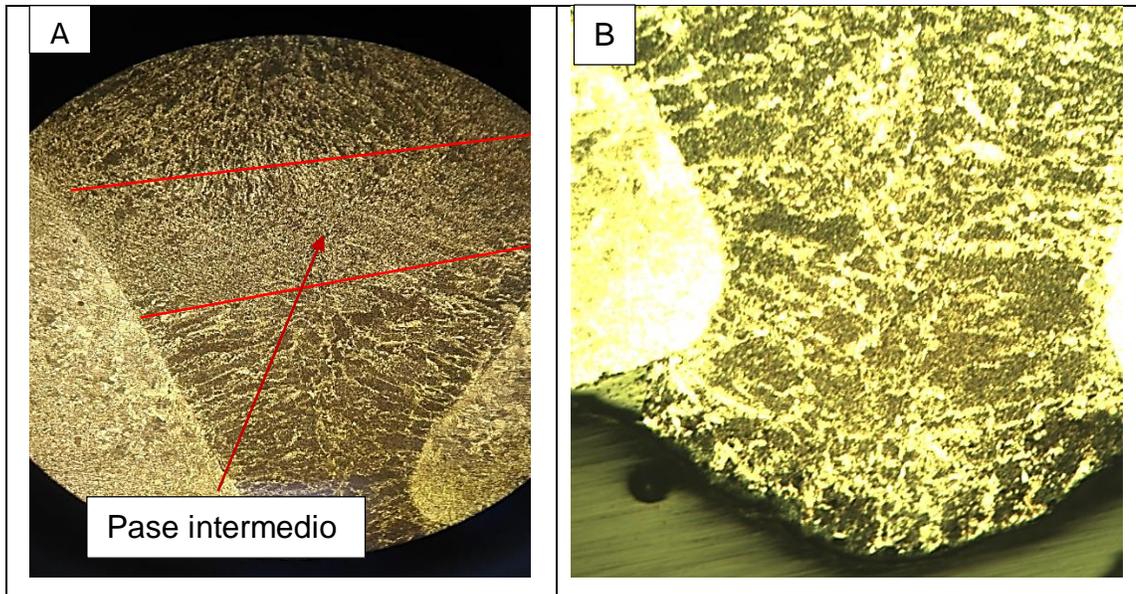


FIGURA 24. MICRODUREZAS PROBETA 4.

FUENTE AUTORES DEL PROYECTO 2019.

En esta probeta se puede ver la diferencia del tamaño de grano de la zona central que corresponde al pase intermedio de esta soldadura. Hay un refinamiento del grano en la estructura que genera una mayor dureza en la parte central del cordón de soldadura, como se evidencia en la figura 25. Al subir la velocidad de avance de 20mm/s a 25mm/s este cupón presentó mejor aspecto visual que los anteriores, no presentó exceso de material en la soldadura, lo que indica que la velocidad de avance es la adecuada para las características de diseño de la junta. Con los parámetros mencionados anteriormente, este cupón fue el que mejor aspecto presentó en cuanto análisis metalográfico e inspección visual. Por lo tanto, con estos

parámetros se realizó el cupón que se utilizó para calificar el procedimiento de soldadura mediante un PQR. Según el estudio realizado por Thiru S. en el año 2013 el ángulo de soldadura tiene un impacto significativo en aplicaciones de soldadura robotizadas, lo que también queda demostrado con los resultados obtenidos en este estudio.[15]

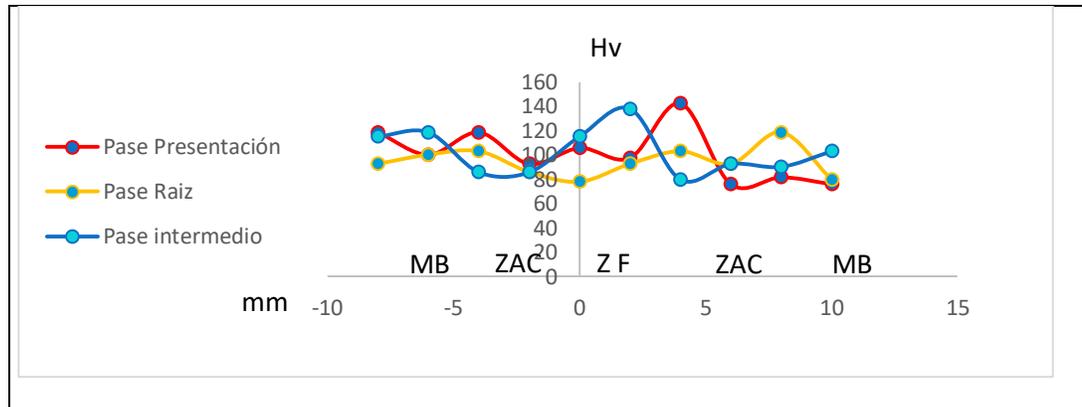


**FIGURA 25. METALOGRAFÍAS PROBETA 4. A) VISTA GENERAL TOMADA A 5X, B) PASE DE RAÍZ A 20 X.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019**

### 3.5.5 Probeta 5

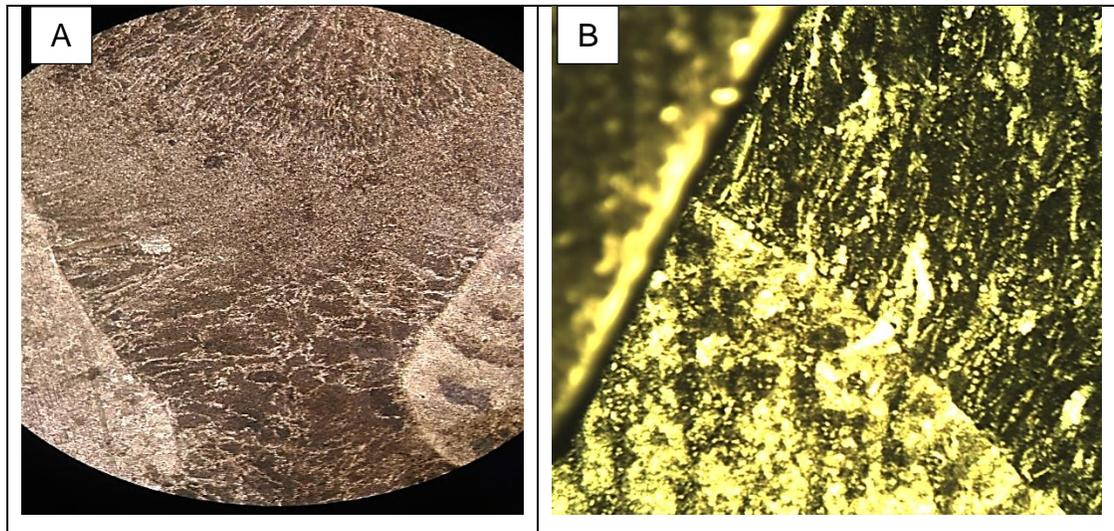
La figura 26 muestra el perfil de microdurezas del cupón número cinco (5), fue soldada con los siguientes parámetros: velocidad 25 mm/s, stickout de 9 mm, y ángulo de antorcha de 100°.



**FIGURA 26. MICRODUREZAS DE LA PROBETA 5.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

Como consecuencia de los parámetros con los que se soldó este cupón, se observa en la figura 27A las siguientes características: el pase de raíz presenta una formación dendrítica con un tamaño de grano mayor al de la zona intermedia y zona de presentación, esta formación se debe a que es el primer pase, por lo tanto, no hay presencia de calor acumulado en el cupón, y el enfriamiento es más acelerado. El pase intermedio presenta un tamaño de grano fino, debido al calor latente del primer pase y al recalentamiento del pase de presentación, estas características son evidenciadas en la gráfica de la figura 27, donde se evidencia mayor dureza en este punto. En cuanto al pase de presentación se encuentra en la zona una morfología ferrítico- perlítica.

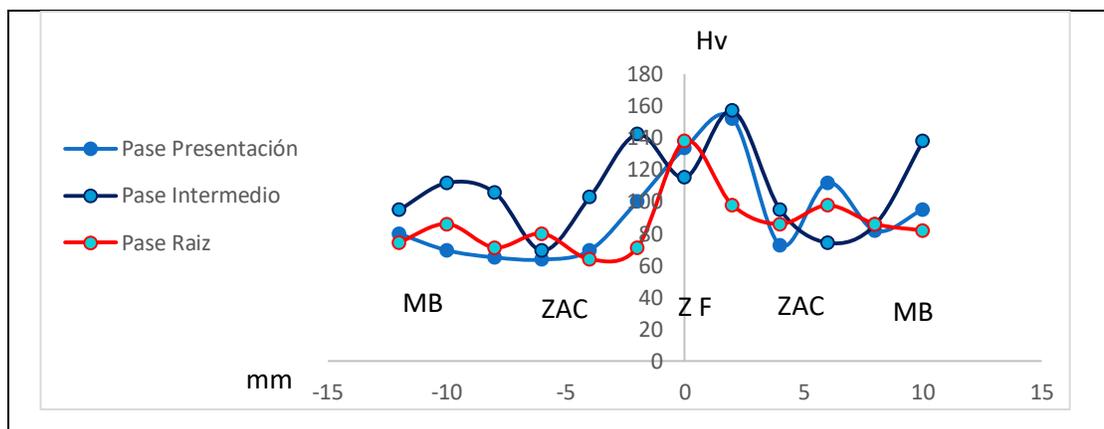


**FIGURA 27. METALOGRAFÍAS PROBETA 5. A) VISTA GENERAL TOMADA A 5X, B) DETALLE DEL PASE DE PRESENTACIÓN TOMADO A 20 X.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### 3.5.6 Probeta 6

En la figura 28 se muestra las microdurezas provenientes del cupón número seis (6), soldada con los siguientes parámetros: velocidad 25 mm/s, stickout de 12 mm, y ángulo de la antorcha de 80°.



**FIGURA 28. MICRODUREZAS DE LA PROBETA 6.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

Según la figura 28 las microdurezas de esta probeta son similares en la zona de fusión debido a la formación que se evidencia en la figura 29A, de acuerdo a estas fotografías se observa una buena penetración en la soldadura y un refinamiento de grano homogéneo en toda la unión soldada. A pesar de que los parámetros de velocidad de avance y ángulo de la antorcha son los adecuados, se presentaron salpicaduras e inclusiones en el cordón, debido a la distancia de 12mm entre la boquilla y el metal base.

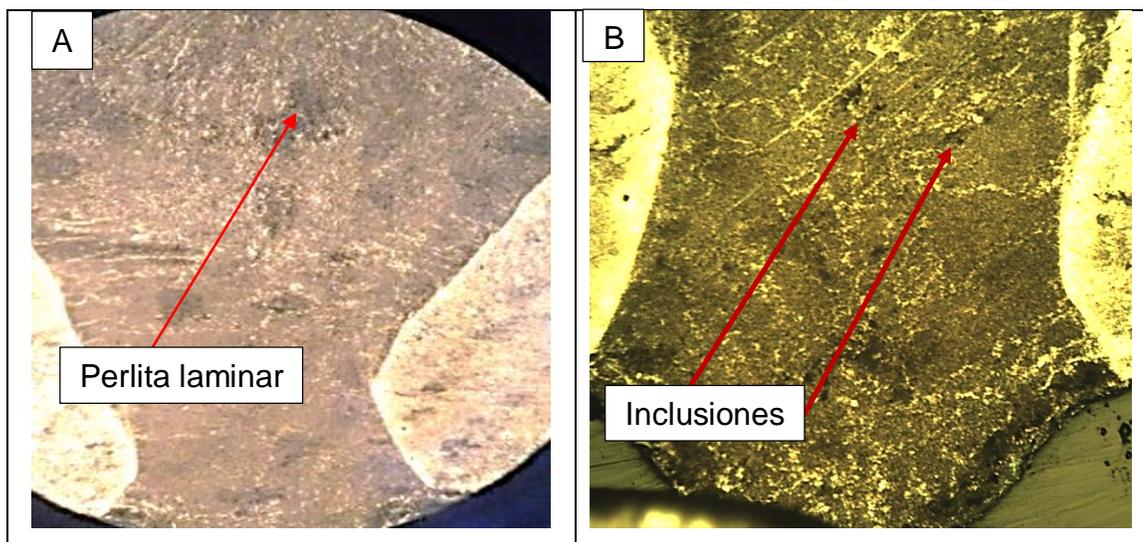


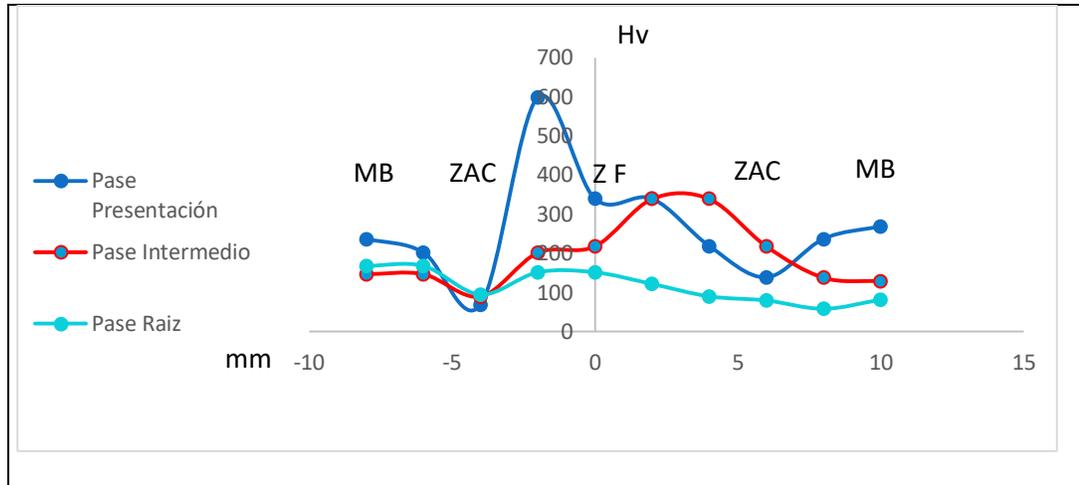
FIGURA 29. METALOGRAFÍAS PROBETA 6. A) VISTA GENERAL TOMADA A 5X, B) PASE DE RAÍZ TOMADO A 50X.

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

### 3.5.7 Probeta 7

En la Figura 30, se observa los resultados obtenidos de las identaciones realizadas a la probeta del cupón número siete (7) soldada con los siguientes parámetros: velocidad 30 mm/s, stickout de 6 mm, y ángulo de la antorcha de 100°. En ella se presenta una dureza de 600 Hv en el lado izquierdo del pase de presentación. Esta condición se debe a la forma de aplicación de la soldadura que fue de; un pase de raíz, y dos pases de relleno. Debido a esto al lado izquierdo se formó una zona con

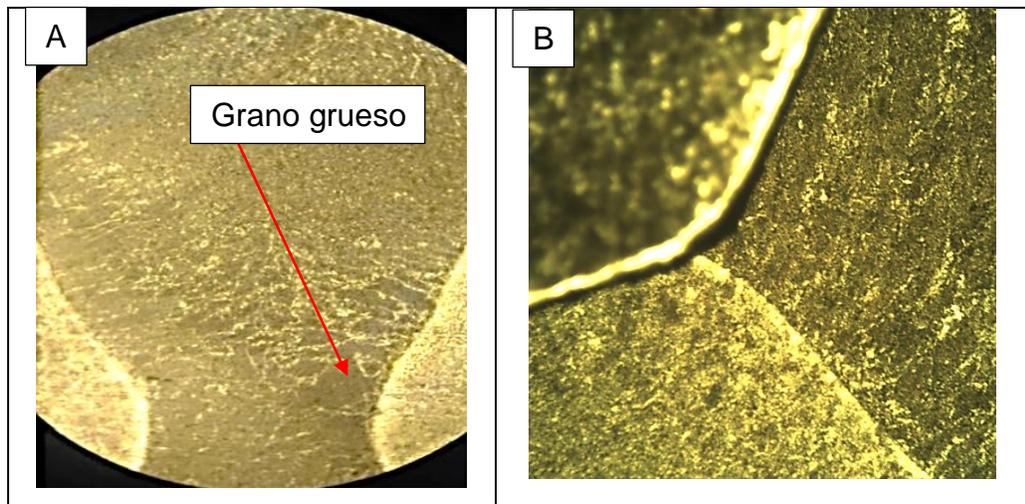
mayor dureza producto del refinamiento de grano generado por el calor acumulado y en esa zona del cupón.



**FIGURA 30. MICRODUREZAS (Hv) DE LA PROBETA 7.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

En la estructura morfológica mostrada en la figura 31, se evidencia la variación del tamaño de grano en el cordón de soldadura, con presencia de una matriz ferrítico-perlita, como es común en este tipo de acero. Se tiene la identificación de tres zonas principales de interés, que son material de aporte, zona de interfaz y zona afectada por el calor (ZAC). Se evidencia que el tamaño de grano varía de acuerdo al aporte de calor en cada etapa del proceso de soldadura y no se presentan deformaciones granulares. Sin embargo, en la zona de dilución se encuentra una falta de fusión debido a la alta velocidad manejada.

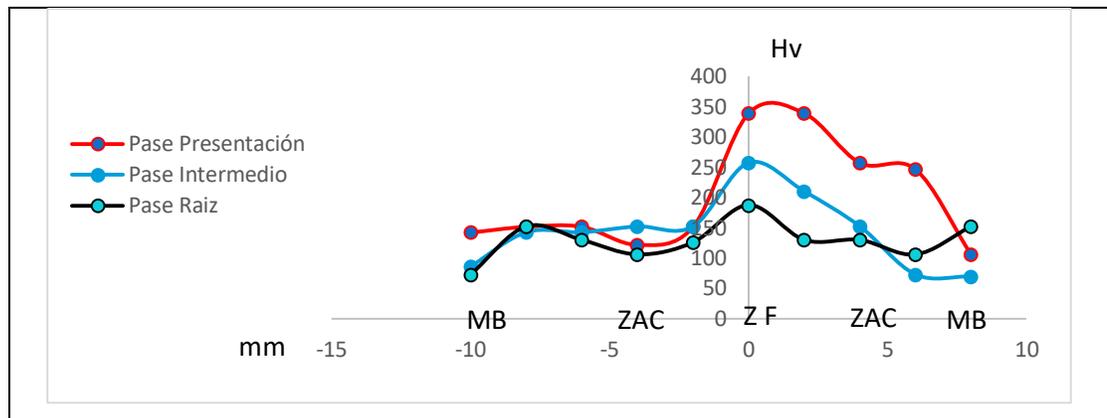


**FIGURA 31. METALOGRAFÍAS DE LA PROBETA 7. A) VISTA GENERAL DE LA SOLDADURA TOMADA A 5X, B) PASE DE PRESENTACIÓN A 50X.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019**

### **3.5.8 Probeta 8**

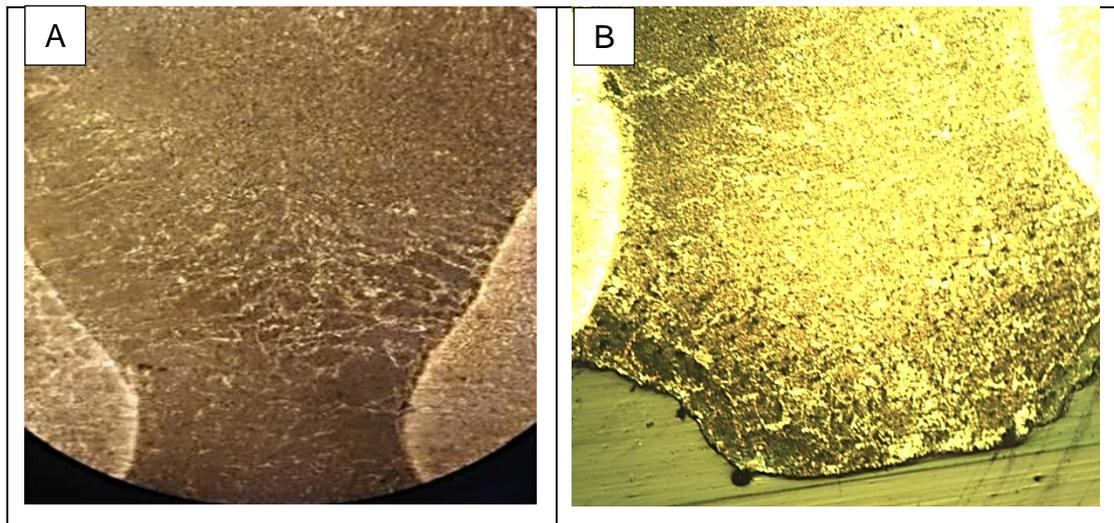
La figura 32 muestra los perfiles de Microdurezas establecidos en la zona transversal del cordón de soldadura, donde los valores se encuentran entre 100 y 350 Hv. Esta probeta proviene del cupón número ocho (8) soldada con los siguientes parámetros: velocidad 30 mm/s, stickout de 9 mm, y ángulo de la antorcha de 80°. Esta probeta presentó un perfil Gaussiano donde sus valores más altos de durezas se encuentran a la derecha entre la zona de fusión (ZF) y la zona afectada por el calor (ZAC), debido a las condiciones en las que se llevó a cabo la soldadura.



**FIGURA 32. MICRODUREZAS DE LA PROBETA 8.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

Este cupón presenta un comportamiento característico en el cual el cordón de raíz presenta las durezas más bajas y se van incrementando en el pase intermedio y el pase de presentación. En la figura 33A se observa una zona central donde el grano se hace más grueso. Presentó buena penetración y la transición entre las diferentes zonas de la soldadura es homogénea.

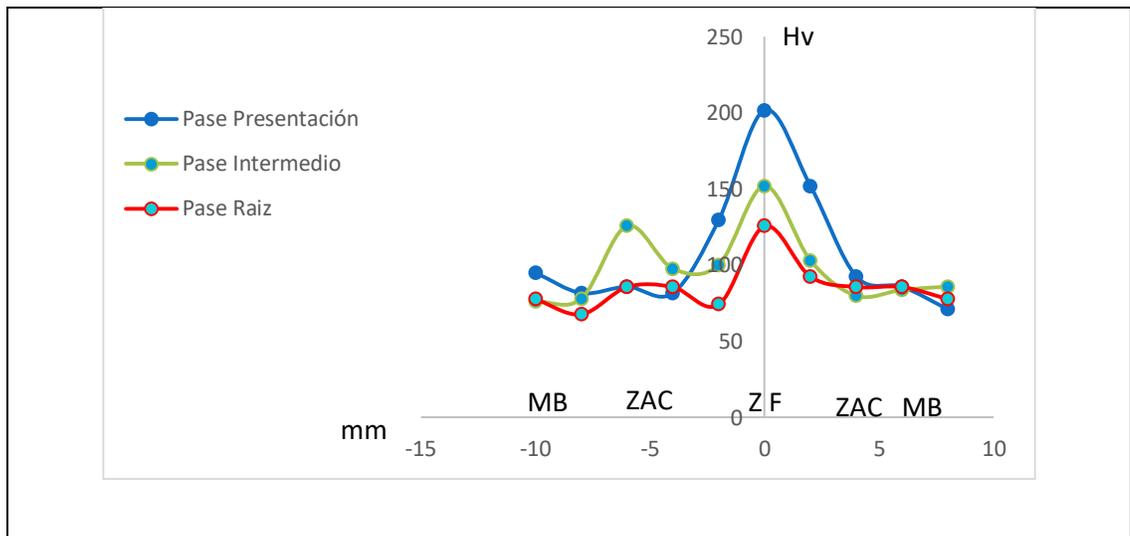


**FIGURA 33. METALOGRAFÍAS DE LA PROBETA 8, A) VISTA GENERAL DE LA SOLDADURA TOMADA A 5X, B) RAÍZ DE LA SOLDADURA TOMADA A 50X.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### 3.5.9 Probeta 9

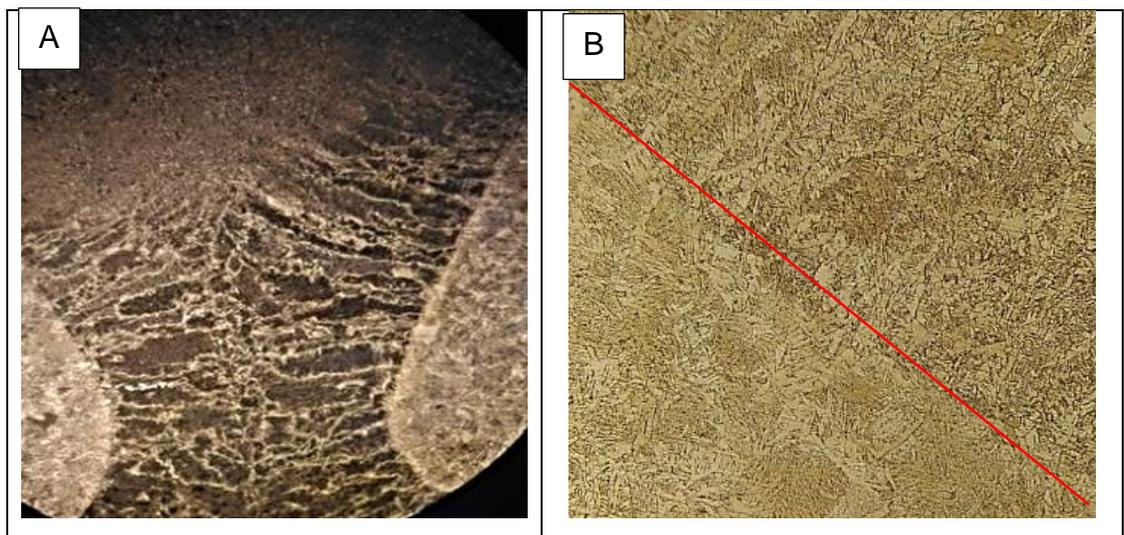
La figura 34 presenta las curvas generadas al graficar los valores obtenidos del ensayo de Microdurezas Hv, en el que tenemos unas condiciones uniformes en el pase de presentación, intermedio, y en el pase de raíz, presentando un perfil Gaussiano entre 50 y 200 Hv. El cupón número nueve (9) fue soldado con los siguientes parámetros: velocidad 30 mm/s, stickout de 12 mm, y ángulo de la antorcha de 90°.



**FIGURA 34. MICRODUREZAS (HV) DE LA PROBETA 9.**

**FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

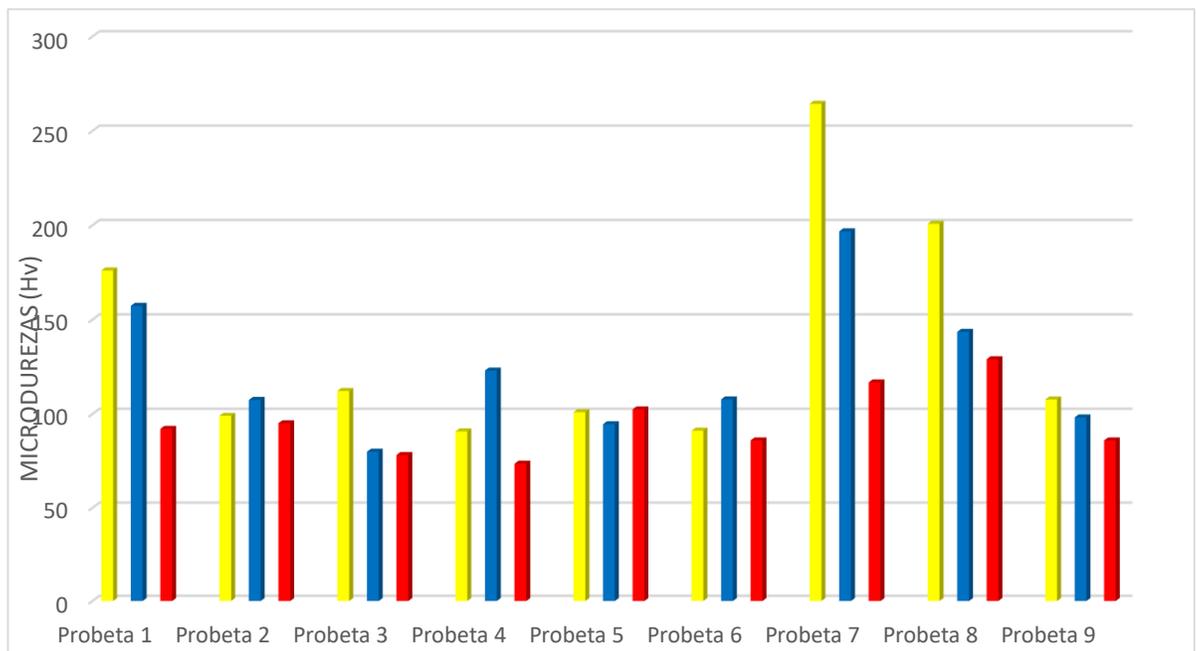
Se tomó una muestra generalizada donde se observan los tamaños de grano en el material de aporte, zona de dilución, zona afectada térmicamente y material base (ver figura 35). Se muestra que el tamaño de grano en el pase de raíz y en el interpase es homogéneo mientras que en el pase de presentación se evidencia un tamaño de grano fino y es por esta razón que en este punto su dureza es mayor. También se presenta una zona de dilución pequeña debido a la alta velocidad de avance generado con el brazo robótico.



**FIGURA 35. METALOGRAFÍAS DE LA PROBETA 9. A) VISTA GENERAL TOMADA A 5X, B) CENTRO DE LA SOLADURA TOMADA A 50X. FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### 3.5.10 ANÁLISIS DE MICRODUREZAS

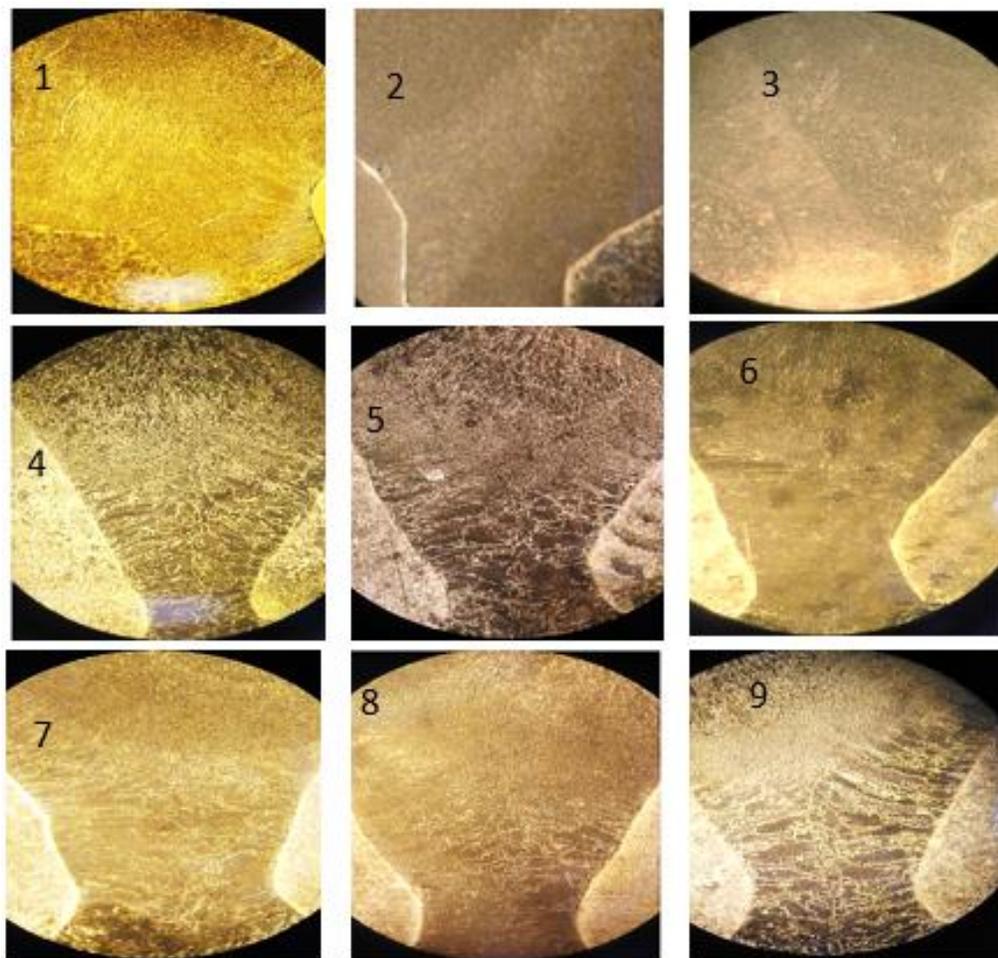
En la figura 36 se analiza el comportamiento mecánico de cada una de las probetas obtenidas por medio del ensayo de dureza Vickers, donde se observan los valores promedio de durezas adquiridos en cada pase de soldadura según el diseño experimental. En este diagrama la barra amarilla corresponde al pase de presentación, la azul al pase intermedio y la roja al pase de raíz, donde se determina la variación de las propiedades de los cupones según la combinación de los parámetros con lo que fueron soldados. Las probetas 2, 4 y 6 presentan un comportamiento característico, en el cual el pase intermedio hay un refinamiento de grano debido al aporte de calor proveniente del pase de raíz y pase de presentación, generando una mayor dureza en dicha zona.



**FIGURA 36. HISTOGRAMA MICRO DUREZAS HV.  
FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2029.**

### 3.5.11 Análisis y comparación morfológica

En la siguiente figura se observa la caracterización morfológica mediante microscopía óptica convencional (MOC) para cada uno de los experimentos realizados, donde se aprecia la diferencia en el pase de raíz, el pase intermedio y el pase de presentación. Cada una de ellas presenta una matriz ferrítico-perlítica debido a la entrada de calor generado en el proceso de soldadura y en las probetas 4,5 y 6 se encuentra una similitud en la morfología debido a que fueron fabricadas a una velocidad media de 25mm/s lo que ocasiona una mejora en las propiedades de la soldadura.



**FIGURA 37. MICROSCOPIA ÓPTICAS DE LAS PROBETAS.  
FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.**

### 3.5.12 Efecto del stickout.

En la figura 36 se ve el efecto de la longitud del alambre o electrodo desde la boquilla al metal base conocido como stickout. Al aumentar la longitud del alambre la resistencia eléctrica aumenta y se produce una difusión más rápida, esto ocasiona que se presenten salpicaduras e incrustaciones en la pieza como se evidencia en las figuras.

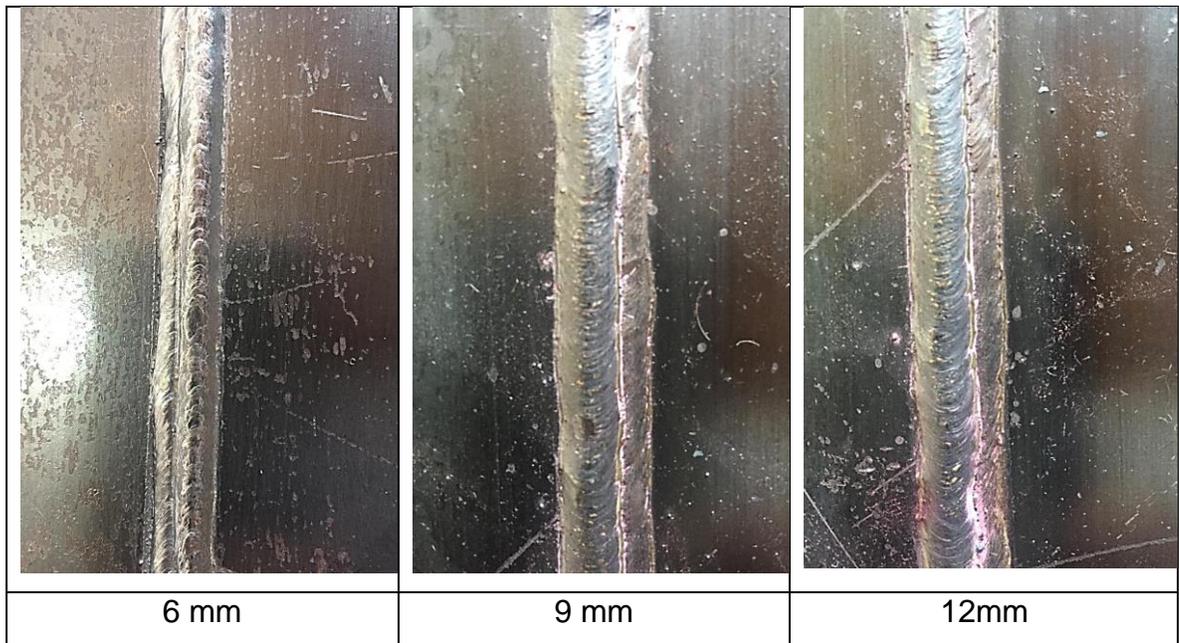


FIGURA 38. SOLDADURAS CON LONGITUD DE STICKOUT VARIABLE.

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO.

### 3.5.13 Efectos de la velocidad de avance

La velocidad de avance o de desplazamiento con condiciones constantes de voltaje y corriente la penetración de la soldadura es máxima con una velocidad intermedia. Cuando se reduce la velocidad de desplazamiento aumenta la deposición de material reduciendo la penetración efectiva y generando un cordón más ancho como se evidencia en la primera imagen de la figura 37, Si se aumenta la velocidad de avance, habrá una tendencia a producir socavado a lo largo de los bordes del cordón de soldadura debido a que hay insuficiente deposición de metal de aporte para llenar el trayecto fundido por el arco, esto se muestra en la tercera imagen de la figura 37.

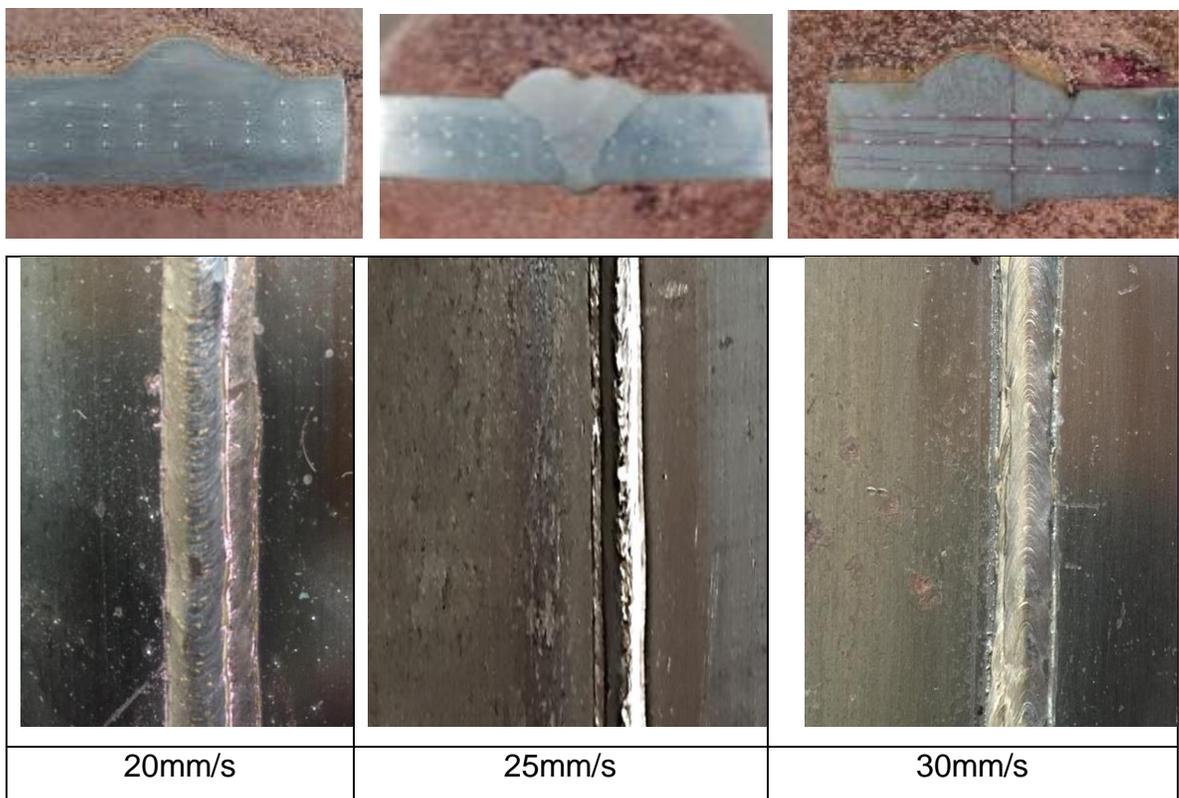


FIGURA 39. SOLDADURA CON VARIACIÓN DE VELOCIDAD DE AVANCE.

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

### 3.5.14 Efectos del Ángulo de la antorcha.

En la primera foto de la figura 38 se aprecia el efecto del ángulo de  $80^\circ$  con el que se soldó este cupón, en él se observa una falta de penetración que ocurre con frecuencia cuando se suelda con la técnica de empuje, se da porque el charco de soldadura se forma delante del arco e impide que haga contacto directo con el metal base. La segunda muestra buena penetración debido a que se soldó a noventa ( $90^\circ$ ) grados que es lo comúnmente utilizado en las soldaduras robotizadas. La tercera imagen se soldó con la técnica de arrastre ofreciendo buena penetración debido a que el arco generado golpea directamente sobre el metal base.



FIGURA 40. SOLDADURA CON VARIACIÓN DE ÁNGULO DE ANTORCHA.

FUENTE. AUTORES DEL PROYECTO 2019.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se diseñaron los elementos necesarios para integrar el equipo de soldadura al brazo robótico, dejando implementado el sistema de soldadura robotizado en la universidad de la Salle

Se calificó el procedimiento de soldadura WPS mediante un PQR para el proceso robotizado de acuerdo a los parámetros del cupón número 4 del diseño de experimentos, el cual fue el que mejor resultados presentó.

A medida que se aumenta el stickout en el proceso de soldadura robotizado la penetración se hace más débil, aumentando la contaminación excesiva como poros y salpicaduras

Se observó la variación de las microestructuras de acuerdo a las condiciones y parámetros utilizados en el proceso de soldadura, donde la variable más influyente en la formación morfológica es la velocidad de avance.

La dureza en la junta soldada depende de las fluctuaciones térmicas que se generan al aplicar cada pase de soldadura, dicha característica depende directamente de la entrada de calor (Q), que se relaciona con el voltaje, la corriente y la velocidad de avance.

El ángulo es un factor determinante en la calidad de las uniones soldadas, en ángulos menores a 90° se presentan faltas de penetración y cordones anchos debido a que el arco de soldadura se forma detrás del charco y no hace contacto directo con el material base.

## 4.2 Recomendaciones

Realizar la programación del brazo robótico con el fin de obtener un movimiento oscilante durante el desplazamiento, que contribuya a mejorar la calidad de la junta soldada.

Completar el proceso de soldadura robotizado, de tal manera que se incluya una tarjeta que tenga embebido un programa capaz de activar el gatillo sin necesidad de hacerlo manualmente.

Realizar microscopia electrónica de barrido (SEM) para mejorar el análisis superficial y obtener mayor información de la estructura morfológica de las muestras a través de imágenes de alta resolución.

Implementar en el proceso robotizado diferentes posiciones como: posición vertical (ascendente y descendente) y horizontal con el fin de analizar el comportamiento del sistema implementado.

## 5 REFERENCIAS

- [1] E. E. Niebles, “MODELO DE DISEÑO Y CONOCIMIENTO EN TECNOLOGIAS DE SOLDADURA PARA Model of design and knowledge in technologies of weld for the welded product development,” no. 36, pp. 473–478, 2007.
- [2] S. Etapa and D. E. P. D. E. Movimientos, “SISTEMA DE PROGRAMACIÓN FUERA DE LÍNEA PARA ROBOTS DE SOLDADURA. ETAPA DE PLANIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS,” pp. 961–970, 2012.
- [3] A. R. ALVAREZ, “Diseño de un procedimiento de soldadura mediante el procesos Gmaw utilizando un brazo robotico.,” vol. 1, p. 16, 2012.
- [4] M. Ortiz, C. Sánchez, and H. Fuquen, “procesos de soldadura final para vehículos de pasajeros en GM Colmotores Final automated welding processes for GM colmotores passenger vehicles A automação dos processos de soldagem final para veículos de passageiros na GM,” 2016.
- [5] E. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería., *Ingeniería e investigación.*, vol. 26, no. 3. [Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería], 2006.
- [6] B. Dager, “Automatización en las empresas colombianas en el 2020. revista dinero.” p. 2, 2017.
- [7] westarco, “Manual de Soldadura,” 2013.
- [8] “Electrodos para soldadura | De Máquinas y Herramientas.” [Online]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/electrodos-soldadura>. [Accessed: 03-Apr-2019].
- [9] “Manual de Soldadura y catalogo,” 2010.
- [10] J. S. Araoz, “manual de soldadura,” *SODEXA Man. Sold.*, 2010.
- [11] A. G. Sanchez, “Proceso de arco electrico con protección de gas GMAW para soldar un acero A-27.,” *Trab. grado*, pp. 3, 84, 2009.
- [12] C. A. Valencia, “Efecto del amperaje en la microestructura de la zona afectado por el calor,” pp. 1–75, 2016.
- [13] H. R. Ghazvinloo and N. Shadfar, “Effect of arc voltage , welding current and welding

speed on fatigue life , impact energy and bead penetration of AA6061 joints produced by robotic MIG welding,” *EN Ingl. Artic.*, vol. 5356, no. February, 2010.

- [14] P. Sathiya, S. Aravindan, P. M. Ajith, B. Arivazhagan, and A. N. Haq, “Microstructural characteristics on bead on plate welding of AISI 904 L super austenitic stainless steel using Gas metal arc welding process,” *EN Ingl. Artic.*, vol. 2, no. 6, pp. 189–199, 2010.
- [15] S. Thiru, C. L. Huat, P. B. Onn, S. Hemavathi, and I. Syakir, “An Investigation on Relationship between Process Control Parameters and Weld Penetration for Robotic CO 2 Arc Welding using Factorial Design Approach,” *ARTICULO*, 2013.
- [16] A. Scotti and L. A. Albuquerque Rosa, “Influence of oscillation parameters on crack formation in automatic Fe□B hardfacing,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 65, no. 1–3, pp. 272–280, 1997.
- [17] A. Sumesh, K. Rameshkumar, A. Raja, K. Mohandas, A. Santhakumari, and R. Shyambabu, “Establishing Correlation Between Current and Voltage Signatures of the Arc and Weld Defects in GMAW Process,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 42, no. 11, pp. 4649–4665, 2017.
- [18] M. Mukherjee and T. K. Pal, “Evaluation of microstructural and mechanical properties of Fe-16Cr-1Ni-9Mn-0.12N austenitic stainless steel welded joints,” *Mater. Charact.*, vol. 131, pp. 406–424, 2017.
- [19] Y. Xu *et al.*, “Welding seam tracking in robotic gas metal arc welding,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 248, pp. 18–30, 2017.
- [20] P. Kah, M. Shrestha, E. Hiltunen, and J. Martikainen, “Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications,” *Int. J. Mech. Mater. Eng.*, vol. 10, no. 1, p. 13, 2015.
- [21] D. Antonelli and S. Astanin, “Qualification of a Collaborative Human-robot Welding Cell,” *Procedia CIRP*, vol. 41. pp. 352–357, 2016.
- [22] A. Kuss, T. Dietz, K. Ksensow, and A. Verl, “Manufacturing Task Description for Robotic Welding and Automatic Feature Recognition on Product CAD Models,” *Procedia CIRP*, vol. 60. pp. 122–127, 2017.
- [23] D. F. Farson, “Monitoring resistance welding,” in *Real-Time Weld Process Monitoring*, 2008, pp. 238–259.

- [24] O. ALBA, "Sistema de programación fuera de línea para robots de soldadura.," pp. 961–970, 2012.
- [25] H. Rushing, A. Karl, and J. Wisnowski, "Design and Analysis of Experiments," *Des. Anal. Exp. by Douglas Montgomery A Suppl. Using JMP*, pp. 101–128, 2013.
- [26] P. V. Marquez, "Soldadura por proceso GMAW ( MIG-MAG ): Tecnología de soldadura.," vol. 1, no. 09, pp. 1–19, 2012.
- [27] "ALAMBRE PARA MIG (GMAW)."
- [28] "Elite Tools | Keep Working." [Online]. Available: <http://elitetools.co/elite-mig-300/>. [Accessed: 03-Apr-2019].
- [29] AWS, *AWS D1.1-Código de Soldadura Estructural-Acero*. 2010.

## ANEXOS

### ANEXO 1

REVISIÓN  Formato 0.01	<h1 style="margin: 0;">REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL</h1>	
<b>1. Generalidades</b>		
Reporte N°: 001	Fecha: 21/01/19	
<b>2. Datos de la Pieza.</b>		
Descripción de la Pieza: Cupón Soldado con la tecnica GMAW robotizado		
Dimensiones: 40x30	Tipo de Material: ASTM A-36	
Proceso de Fabricación: Por Soldadura		
Acabado Superficial: Liso		
Zona Inspeccionada: Soldadura y una pulgada adyacente a cada lado del cordón de soldadura		
<b>3. Información sobre la Inspección.</b>		
Procedimiento N°	Revisión:	Norma: AWS D1.1
Método de Inspección Visual:	x	Directo
		N/A
		Remoto
Distancia Máxima al Sitio:		Ángulo Aproximado a la Superficie:
<b>4. Auxiliares Visuales.</b>		
Magnificador (Lentes):	x	Poder Magnificador
		5x
Espejo:	N/A	
Tipo de Fuente de Iluminación: Natural (1000lx)		
<b>5. Herramientas de Medición.</b>		
Herramientas de Medición Lineal: Calibradores		
Calibradores de Soldadura: Galgas		
<b>6. Observaciones.</b>		
El cupón se encuentra en buenas condiciones de acabado superficial, no se encontraron grietas ni discontinuidades relevantes que afecten la integridad del material.		
Aceptado <u>  x  </u> Rechazado <u>      </u>		<b>Criterio de Aceptación:</b> Según Código AWS D1.1
<b>ELABORÓ:</b> Ramiro De La Cruz Torres		<b>APROBÓ:</b> Ing. Hector F. Rojas

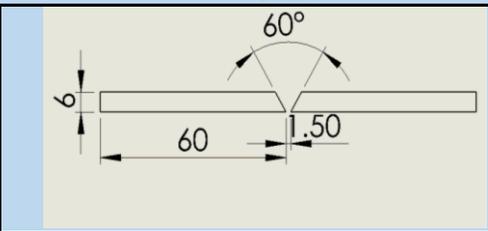
ANEXO 2

 <b>REPORTE PRUEBA DE LIQUIDOS PENETRANTES</b>			FORMATO No	0.02
			PRC	0.01
<b>EMPRESA:</b>	Universidad Libre	<b>LOCALIZACION</b>	Bogota D.C	
<b>EQUIPO :</b>	Platina			
<b>PARTE INSPECCIONADA:</b>	Cordon de Soldadura			
<b>MATERAIL</b>	Acero	<b>TIPO</b>	A-36	
<b>PRIUEBA EJECUTADA SEGÚN CODIGO</b>			AWS D1.1/1.1 M:2015	
<b>MATERIALES USADOS:</b>	Grata metalica, limpiador, paños, kit de tintas penetrantes.			
<b>PREPARACION DE LA SUPERFICIE</b>				
<b>LIMPIEZA:</b>	Se realizo con grata metalica se le aplico limpiador y se seco la un paño			
<b>TIEMPOS DE PRUEBA:</b>	Se deja secar la pieza luego de la limpieza, se aplico el penetrante y se deajo secar por 15 minutos para aplicar el remocvedor de exceso de pentrante, seguidamente se le aplico el revelador y se fue inspeccionando la pieza.			
<b>OBSERVACIONES:</b>	Tener en cuenta la fecha de vencimiento de las tintas Hacer la inspeccion en un recinto con buena ventilacion y luminosidad.			
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>				
				
<b>RESULTADOS:</b>	Cordon de soldaura en buenas condiciones, se encontraron multiples salpicaduras, y una falta de fusion de 3 mm de largo.			
<b>ACEPTADA:</b>	La soldaura es aceptada según criterios del codigo AWS D 1.1/1.1 M:2015			
<b>REALIZADA POR:</b>	German Muñoz Velasco	<b>APROBADO POR:</b>	Hector Fernando Rojas M.	

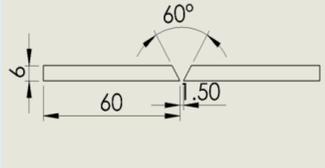
ANEXO 3

REPORTE DE ENSAYOS RADIOGRAFICOS		pagina 01-01	
	INSTRUCTOR: Ing. Fernando Rojas, INSPECTORES : Germas Muñoz, Ramiro De La Cruz.	EMPRESA: Universidad Libre PROYECTO: INSPECCIONES RX	
	n° de procedimientos: 001	revisión: 1	fecha de ensayo: 20/02/2019
Tipo de ensayo	equipo	consola	
rayos x	TUBO RX, MODELO 300/5POR-6 GILARDOUL VON= 62/PAS MAX TENSIÓN: 300 KV FILAMENTO: Cu- 1mm FOCO: 5MM	GILARDONI, MODELO: 05073328 SERIAL: 50127003 RATA: 220V, 50 HZ POTENCIA: 3.8 KV VOLTAJE MAX: 300KV	
MEDIDORES DE RADIACIÓN: INTENSIMETRO Y DOCIMETRO	DENSITOMETROS: 6 VOL X-RITO SERIE: N° 024538	NEGATOSCOPIO: MARCA: SEMAT TIPO: 27 VCA. 220 LV: 2250	
NUMERO DE RADIOGRAFIAS: 1	TIPO DE MATERIAL: acero al carbono	ESPESOR DE MAT: 1/4"	
DISTANCIA DE LA FUENTE: PLATINA: 50 Cm	TIEMPO DE EXPOSICIÓN: 5 min	VOLTAJE RX: 1200 KV 1/2"	
FABRICANTE DE LA PELICULA: INDUSRT REX FILM	TIPO EXPOSICIÓN: PARED SIMPLE: X		
TAMAÑO DE LA PELICULA: 21 * 7 (CM)	REVELADOR: CARESTREAM, INDUSTREX SINGLE PART 19L	FIJADOR: CARESTREAM, INDUSTREX LO, 19L	
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO:</b>			
			
<b>OBSERVACIONES</b>			
<p>En la imagen no se evidenciaron grietas o poros internos, en ella se ven en la parte inferior del cordón unas faltas de fusión que ya habían sido detectados con la inspección con líquidos penetrantes pero esta dentro de los límites aceptados por el código mandatorio AWS D 1.1, 2015.</p> <p>Con estos resultados obtenidos el cupón es aceptado y se procede a realizarle los ensayos mecánicos pertinentes para calificar el proceso.</p>			
ELABORO	German Muñoz Velasco	APROBO	ING. Hector F. Rojas M.

# ANEXO 4

	<b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>PRECALIFICADO</b> <input type="checkbox"/> <b>CALIFICADO POR ENSAYOS</b> <input type="checkbox"/> <b>O RECORDS DE CUALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)</b> <input type="checkbox"/>	Página 1 / 1						
Especificación de Procedimiento de Soldadura No. <u>1</u>		Fecha <u>01/03/2019</u>	PQR de soporte No. <u>2</u>					
Elaborado por <u>German Muñoz Velasco</u>		Norma de Soldadura <u>AWS D 1.1</u>						
Proceso de soldadura <u>GMAW</u>		Tipo <u>ROBOTIZADO</u>						
<b>JUNTAS</b>		Detalles						
Diseño de junta <u>en V</u> Respaldo (Si) <u>        </u> (No) <u>x</u> Material del respaldo (Tipo) <u>N/A</u> (Refiere a respaldo y retenedores) <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Metal no fusible <input type="checkbox"/> Otro Número de pases Material de aporte <u>3</u> Tiempo máximo entre pases <u>NA</u> Tipo de alineador <u>NA</u>								
<b>METALES BASE</b>								
Tipo de especificación y grado <u>A-36</u>		a Tipo de especificación y grado <u>A-36</u>						
Grado: <u>1</u>		a Grado: <u>1</u>						
Espesor <u>1/4"</u>		Ranura <u>1.5 mm</u>	Filete <u>NA</u>					
Diámetro <u>NA</u>		Ranura <u>1.5mm</u>	Filete <u>NA</u>					
<b>METALES DE APORTE</b>								
Pase No.	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3 - n</u>					
Especificación AWS	<u>A5-18</u>	<u>A5-18</u>	<u>A5-18</u>					
AWS No. (Clase)	<u>ER 70S-6</u>	<u>ER 70S-6</u>	<u>ER 70S-6</u>					
F-No.	<u>6</u>	<u>6</u>	<u>6</u>					
A-No.	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>					
Diám. de los metales de aporte	<u>0.8 mm</u>	<u>0.8 mm</u>	<u>0.8 mm</u>					
<b>POSICIONES</b>		<b>PROTECCION GASEOSA:</b>						
Posición(es) de ranura <u>PLANA</u>		Gas de protección. <u>Co2</u>						
Progresión de soldadura Asce. <u>N/A</u> Desc. <u>N/A</u>		Rango de caudal. <u>25 CFH</u>						
Posición(es) de filete <u>N/a</u>		Tamaño de Tobera						
<b>PRECALENTAMIENTO</b>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>						
Temperatura de precalentamiento	Min. <u>NA</u>	Corriente AC ó DC <u>DC</u>						
Temperatura entre pases	Max. <u>NA</u>	Polaridad <u>DIRECTA</u>						
Permanencia del precalentamiento	<u>NA</u>	Amperaje (Rango) <u>180-220</u>						
Longitud del precalentamiento	<u>NA</u>	Voltaje (Rango) <u>20-25</u>						
		Modo de Transferencia <u>Corto Circuito X Rocio</u>						
<b>TÉCNICA</b>								
Limpieza inicial y entre pases (Cepillado, pulido, etc.)		<u>SI</u>						
Pase simple o múltiple (Por lado)		<u>SIMPLE</u>						
Electrodo simple ó múltiple		<u>SIMPLE</u>						
Velocidad de avance (Rango)		<u>25mm/s</u>						
Capa(s) de soldadura	Proceso	Metal de aporte	Corriente					
		Clase	Polaridad					
		Diámetro	R. amperaje					
			R. voltaje					
			Rango velocidad de avance					
			Otros (Comentarios)					
<u>1</u>	<u>GMAW</u>	<u>ER 70S-6</u>	<u>0.8 mm</u>	<u>DIRECTA</u>	<u>210</u>	<u>21</u>	<u>25 mm/s</u>	<u>N/A</u>
<u>2</u>	<u>GMAW</u>	<u>ER 70S-6</u>	<u>0.8 mm</u>	<u>DIRECTA</u>	<u>210</u>	<u>21</u>	<u>25 mm/s</u>	<u>N/A</u>
<u>3 y más</u>	<u>GMAW</u>	<u>ER 70S-6</u>	<u>0.8 mm</u>	<u>DIRECTA</u>	<u>210</u>	<u>21</u>	<u>25 mm/s</u>	<u>N/A</u>
Elaborado por: <u>German Muñoz Velasco</u>			Aprobó: <u>Hector Fernando Rojas Molano</u>			Fecha: <u>18-mar-19</u>		

# ANEXO 5

 <b>REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDAURA (PQR)</b>				Numero PQR		0.1	
				Preparo:		German Muñoz Velasco	
				Reviso:		Hector Fernando Rojas M.	
PROYECTO:		Efecto de los parametros de soldeo en un proceso GMAW robotizado		COMPANÍA		Universidad Libre	
FECHA DE PRUEBA :		25/03/2019		FECHA CALIFICACION		25/03/2019	
DE ACUERDO AL WPS No :		1		REVISION		0.01	
PROCESO DE SOLDADURA:		GMAW		TIPO:		Robotizada	
DISEÑO DE LA JUNTA: En V. 							
<b>METAL BASE</b>				<b>POSTCALENTAMIENTO</b>			
P No:		101		SI:		NO X	
GRUPO:		1		OTROS:		N/A	
ESPECIFICACION DEL MATERIAL :				A-36			
ESPESOR DE LA PROBETA		1/4"		<b>GAS DE PROTECCION</b>			
OTROS:		N/A		SI:		X NO:	
				TIPO:			
				ACTIVO			
				COMPOSICION DEL GAS:			
				Co2 100%			
				RATA DE FLUJO :			
				25 CFH			
<b>METAL DE APORTE</b>				<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS</b>			
ESPECIFICACION SFA		SFA 5-18					
AWS CLASE:		ER 70S-6					
F- No:		6		CORRIENTE		DC	
A- No:		1		POLARIDAD		Directa	
DIAMETRO:		0.8 mm		AMPERIOS		210	
FABRICANTE:		LINCOLN		VOLTIOS:		21	
TIPO DE FABRICANTE		LINCOLN		FORMA DE TRANSFERENCIA (GMAW):		Cortocircuito	
ESPESOR MAXIMO		N/A		OTROS:		N/A	
OTROS:		N/A					
<b>POSICIONES.</b>				<b>TECNICA</b>			
TIPO		1 G		RANGO DE VELOCIDAD PASADA RECTA U OSCILANTE:			
POSICION A TOPE:		NO		pasada recta			
OTROS:		N/A		PASADA SIMPLE O MULTIPLE:		pasada simple	
				DSITANCIA ENTRE ELECTRODO Y PIEZA DE TRABAJO		6mm	
<b>PRECALENTAMIENTO.</b>				ELECTRODO SIMPLE O MULTIPLE		simple	
SI:		N/A		NO:		X	
OTROS:		N/A		OTROS:			
				N/A			
<b>TABLE DE CARECTERICAS ELECTRICAS</b>							
PASADA No.	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			
		CLASE	DIAMETRO	POLARIDAD	AMPERIOS	VOLTIOS	
1	GMAW	ER 70S-6	0.8 mm	directa	210 A	21 Vol	
2	GMAW	ER 70S-7	0.8 mm	directa	211 A	22 Vol	
3	GMAW	ER 70S-8	0.8 mm	directa	212 A	23 Vol	
<b>ENSAYO DE TTRACCIO (QW.150)</b>							
PROBETA No.	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	AREA (mm²)	CARGA MAXIMA	RESISTENCIA MAXIMA	TIPO DE FALLA Y LOCALIZACION	
1	20	6	120	467,5	289	DUCTIL, METAL BASE	
2	20	6	129	454,1	269	DUCTIL METAL BASE	
<b>ENSAYO DE DOBLADO (QW.160)</b>							
PROBETA No.	TIPO DE DOBLADO	DISCONTINUIDADES ENCON TRADAS				RESULTADO	
1	de raiz	Se evidencia un poro que no fue removido al momneto de pulir la superficie.				Aceptada	
2	de raiz	Grieta de 3 mm				Aceptada	
3	de cara	se evidencia una falta de fision que se hace visible por el efecto de la prueba.				Aceptada	
4	de cara	Grieta de 2.5 mm				Aceptada	
CERTIFICAMOS QUE LA INFORMACION CONSIGNADA EN ESTE REGISTRO ES CORRECTA Y QUE LAS PRUEBAS DE SOLDADURA FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y PROBADAS DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DEL CODIGO WAS D1.1/1.1 M.2015.							
RESPONSABLES:				German Munoz Velasco			

## ANEXO 6

	REPORTE ENSAYO DE DOBLEZ			PAG 1/1
MUESTRA	TIPO DE DOBLADO	CARGA APLICADA (t)	RESULTADO	OBSERVACIONES
1	de raiz	6.8	aceptada	Se evidencia un poro que no fue removido al momento de pulir la superficie.
2	de raiz	6.7	aceptada	Grieta de 3 mm
3	de cara	6.5	aceptada	se evidencia una falta de fision que se hace visible por el efecto de la prueba.
4	de cara	6.4	aceptada	Grieta de 2,5 mm
ELABORADO POR: German Muñoz Velasco				

## ANEXO 7

