



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO SUR**

CARRERA DE MECÁNICA

**EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN LA
PRODUCCIÓN DE FRENTES DE CARROCERÍA METÁLICA URBANA TIPO
G8**

Trabajo de titulación previo a la Obtención del Título de:

Ingenieros Mecánicos

AUTORES:

ITALO GABRIEL BORJA URBINA

BRYAN JAVIER REINOSO BALLESTEROS

TUTOR:

LEONIDAS ESTABAN RAMÍREZ GANGOTENA

Quito – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Italo Gabriel Borja Urbina con documento de identificación N.º 1752241875 y, Bryan Javier Reinoso Ballesteros con documento de identificación N.º 1723623318, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 25 de julio de 2024

Atentamente,



Italo Gabriel Borja Urbina
1752241875



Bryan Javier Reinoso Ballesteros
1723623318

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Italo Gabriel Borja Urbina con documento de identificación N.º 1752241875 y Bryan Javier Reinoso Ballesteros con documento de identificación N.º 1723623318, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta Tecnológica: “Evaluación de Técnicas de Soldadura SMAW y GMAW en la Producción de Frentes de Carrocería Metálica Urbana Tipo G8”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad

facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.


Quito, 25 de julio de 2024

Atentamente,



Italo Gabriel Borja Urbina

1752241875



Bryan Javier Reinoso Ballesteros

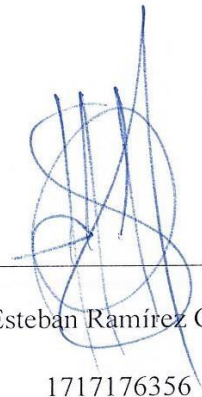
1723623318

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Leonidas Esteban Ramírez Gangotena con documento de identificación N.º 1717176356, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN LA PRODUCCIÓN DE FRENTES DE CARROCERÍA METÁLICA URBANA TIPO G8, realizado por Borja Urbina Italo Gabriel con documento de identificación N.º 1752241875 y por Reinoso Ballesteros Bryan Javier con documento de identificación N.º 1723623318, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de julio del año 2024

Atentamente,



Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena, MSc.

1717176356

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi madre por su constante apoyo, guía y sacrificio incondicional que me ha permitido alcanzar mis metas académicas. Su dedicación y aliento han sido mi mayor motivación. También agradezco a mi universidad por brindarme conocimientos, oportunidades de crecimiento personal y profesional, y por el respaldo de un cuerpo docente excepcional. Cada experiencia vivida ha sido invaluable para mi desarrollo.

Gabriel Borja

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres por su incondicional apoyo, amor y sacrificio a lo largo de mi vida, gracias por ser mi inspiración y mi fortaleza, por creer en mí y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Su guía y dedicación han sido fundamentales para alcanzar mis metas. Sin ustedes, no habría sido posible. Les agradezco de todo corazón por estar siempre a mi lado, por sus consejos y por su amor inagotable. Este logro también es de ustedes.

Bryan Reinoso

DEDICATORIA

Dedicamos este logro a nuestra querida universidad, que ha sido un pilar l en nuestra formación académica y profesional, a todos los docentes por su dedicación, paciencia y compromiso con nuestra educación. Sus enseñanzas y guía han sido esenciales para nuestro crecimiento y desarrollo. Gracias por inspirarnos, retornos y apoyarnos en cada paso del camino. Esta dedicación es un reconocimiento a la excelencia y esfuerzo de todos los que forman parte de esta institución. Juntos, hemos alcanzado un sueño, y estamos profundamente agradecidos por cada lección aprendida y por cada oportunidad brindada.

ÍNDICE GENERAL

1. CAPÍTULO 1	5
1.1. Estados del arte	5
1.2. Soldadura SMAW	7
1.3. Soldadura GMAW	10
1.4. Producción de frentes de carrocería urbana	12
1.5. Conclusiones Capítulo I.....	14
2. CAPÍTULO II	15
2.1. Diseño de la investigación	15
2.2. Objeto de estudio	17
2.3. Técnica de soldadura	17
2.3.1. Sociedad Americana de Soldadura AWS.....	18
2.3.2 Proceso de soldadura tipo SMAW	18
2.3.3. Proceso de Soldadura GMAW.....	19
2.4. Proceso de soldadura para carrocerías	20
2.4.1. Diseño de juntas.....	22
2.5. Ensayo destructivo	24
2.5.1. Material base.....	28
2.5.2. Material de aporte	30
2.6. Elaboración del espécimen	31
2.7. Recolección de la información.....	32
2.7.1. Análisis de la información.....	33

2.8. Materiales y equipos	34
2.8.1 Equipos	34
2.8.2. Materiales.....	36
2.9 Conclusiones	40
3. CAPÍTULO III.....	41
3.1. Procedimiento de Soldadura WPS	41
3.2. Registro de Información en PQR.....	42
3.3. Registro de Calificación del Soldador WPQ.....	43
3.4. Ensayos destructivos de tensión.....	43
3.5. Análisis de Factibilidad Financiera	52
3.5.1. Propuesta de mejora.....	51
3.5.2. Mejora de parámetros de soldadura	51
3.5.3. Actualización y mantenimiento de equipos	53
3.5.4. Capacitación y certificación de soldadores	53
3.5.5. Materiales y procedimiento.....	55
3.5.6. Sistemas de control de calidad.....	57
3.6. Conclusiones capítulo III.....	58
4. CAPÍTULO VI.....	59
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	63
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de ecuaciones para evaluar los resultados de los especímenes	24
Tabla 2. Especificaciones Mecánicas Acero ASTM A500	27
Tabla 3. Perfiles empleados en el armazón frontal	27
Tabla 4. Especificaciones mecánicas Material de Aporte.....	29
Tabla 5. Parámetros de Configuración para prueba destructiva	37
Tabla 6 Velocidades de Control para ensayos destructivos.	38
Tabla 7 Resultados del esfuerzo de cedencia, técnica de Soldadura SMAW	43
Tabla 8. Resultados del esfuerzo de cedencia, técnica de Soldadura GMAW	43
Tabla 9. Divergencia de resultados obtenidos del cálculo esfuerzo de cedencia.....	44
Tabla 9. Comparación de la media de resultados del cálculo esfuerzo de cedencia....	44
Tabla 10. Resultados del esfuerzo máximo, técnica de Soldadura SMAW.....	45
Tabla 11. Resultados del esfuerzo máximo, técnica de Soldadura GMAW	45
Tabla 12. Comparación de la media de resultados del cálculo esfuerzo máximo	45
Tabla 13. Resultados del desplazamiento, técnica de soldadura SMAW	46
Tabla 14. Resultados del desplazamiento, técnica de soldadura GMAW	47
Tabla 15. Comparación de Costos SMAW vs GMAW mensual.....	56
Tabla 16. Revisión y Ajuste de Parámetros	58
Tabla 17. Actualización y Mantenimiento de Equipos.....	59
Tabla 18. Capacitación y Certificación de Soldadores.....	60
Tabla 19. Gestión de Costos y Eficiencia Operativa	61

ÌNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de Soldadura SMAW	7
Figura 2. Soldadura de Arco SMAW	8
Figura 3. Proceso de Soldadura GMAW	9
Figura 4. Equipo de Soldadura GMAW	10
Figura 5. Estructura de un bus urbano tipo G8.....	11
Figura 6. flujograma para el proceso de investigación	14
Figura 7. Flujoograma Soldadura SMAW	14
Figura 8. Flujoograma Soldadura GMAW	15
Figura 9. Diseño de junta.....	22
Figura 10. Junta de soldadura en ángulo	22
Figura 11. Designación de junta	23
Figura 12. Probetas GMAW	24
Figura 13. Probetas SMAW.....	24
Figura 14. Geometría del espécimen	23
Figura 15. Parte frontal de la carrocería urbana tipo G8	25
Figura 16. Elaboración de Especímenes	26
Figura 17. Herramientas de Recolección de Información.....	27
Figura 18. Máquina de Soldadura SMAW	30
Figura 19. Porta electrodo.....	30
Figura 20. Equipo de Soldadura GMAW	31
Figura 21. Electrodos	32

Figura 22. Alambre de Soldadura	32
Figura 23. Gas de Protección	33
Figura 24. Máquina Universal de Ensayos	34
Figura 25. Puesta en máquina del espécimen	39
Figura 26. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 1	46
Figura 27. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 2	46
Figura 28. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 3	47
Figura 29. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 4	47
Figura 30. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 5	48
Figura 31. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 1.....	48
Figura 32. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 2.....	49
Figura 33. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 3.....	49
Figura 34. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 4.....	50
Figura 35. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 5.....	50
Figura 36. Diagrama esfuerzo- deformación agrupación SMAW	51
Figura 37. Diagrama esfuerzo - deformación agrupación GMAW	51

RESUMEN

En esta investigación se realizó un análisis comparativo entre dos tipos de soldadura, SMAW y GMAW, utilizando probetas de una estructura metálica de autobús, específicamente de la parte delantera del guardachoque. El objetivo fue determinar cuál de estos métodos ofrece mejores resultados en relación con las propiedades mecánicas y la economía. Para ello, se sometieron las probetas a ensayos de tensión, evaluando el comportamiento y desempeño de cada tipo de soldadura bajo condiciones de carga.

Los resultados indicaron que la soldadura GMAW mostró mayor resistencia en sus propiedades mecánicas comparada con SMAW. Específicamente, el esfuerzo máximo alcanzado fue de 299.03 MPa y la fuerza máxima de 17986.92 N en GMAW, frente a 296.98 MPa y 17819.52 N en SMAW. El desplazamiento fue de 5.63 mm en GMAW y 5.0 mm en SMAW. El esfuerzo de cedencia fue de 230.61 MPa en GMAW y 239.43 MPa en SMAW. Además, se propuso un análisis para mejorar los procesos de uniones soldadas. Este estudio proporciona información valiosa para elegir el método de soldadura más adecuado en la fabricación y reparación de estructuras metálicas de autobuses.

En conclusión, aunque ambos métodos son viables, GMAW ofrece ventajas en términos de resistencia mecánica, mientras que SMAW presenta un esfuerzo de cedencia ligeramente superior, siendo estos factores clave en la toma de decisiones para aplicaciones específicas.

Palabras clave: SMAW, GMAW, Soldadura, Carrocería, Bus.

ABSTRACT

In this research, a comparative analysis between two types of welding, SMAW and GMAW, was conducted using samples from a bus's metal structure, specifically from the front bumper. The objective was to determine which of these methods offers better results in terms of mechanical properties and cost-efficiency. To achieve this, the samples were subjected to tensile tests, evaluating the behavior and performance of each type of welding under load conditions.

The results indicated that GMAW welding showed greater mechanical strength compared to SMAW. Specifically, the maximum stress achieved was 299.03 MPa and the maximum force was 17986.92 N in GMAW, compared to 296.98 MPa and 17819.52 N in SMAW. The displacement was 5.63 mm in GMAW and 5.0 mm in SMAW. The yield stress was 230.61 MPa in GMAW and 239.43 MPa in SMAW. Additionally, an analysis was proposed to improve the welded joint processes. This study provides valuable information for selecting the most appropriate welding method in the manufacturing and repair of bus metal structures.

In conclusion, while both methods are viable, GMAW offers advantages in terms of mechanical strength, whereas SMAW presents a slightly higher yield stress, which are key factors in decision-making for specific applications.

Keywords: SMAW, GMAW, Welding, Bodywork, Bus.

INTRODUCCIÓN

La innovación del sector automotriz produce que la elaboración de productos deba ser cada vez más eficiente, limpia y con estándares de calidad, en donde, la consideración de las preferencias de los clientes tiene peso en la forma de elaborar un producto en específico, por ende, el análisis comparativo del uso de las dos técnicas de soldadura permite identificar ventajas y desventajas, con el fin de escoger el método idóneo en torno a la producción de autobuses.

A nivel nacional están registradas 54 carrocerías certificadas por la entidad de regulación de transporte ANT para la elaboración de buses de uso público, en donde, se enfatiza que las mismas cumplieron con los requerimientos técnicos-normativos para elaborar productos de calidad que cumplan con el requerimiento legal en cuanto a la identificación de durabilidad y adecuación para transitar en el país [1].

Estas empresas pertenecen a la Asociación de Fabricantes Carroceros, la cual, no solo se acredita la fabricación de productos adecuados para el mercado nacional, sino también, a la regulación normas de seguridad, y del mismo modo, la capacitación idónea de los miembros del personal.

En ello, SMAW, que también se la conoce como soldadura manual, y que su componente principal es el electrodo, es un proceso de gran aceptación en la industria debido a su enorme versatilidad y bajo costo de implementación, por su parte, GMAW o MIG ha incrementado su popularidad a causa a su alto porcentaje de deposición y facilidad de automatización.

La evaluación comparativa de estas técnicas en la producción de frentes de carrocería metálica urbana tipo G8 es relevante para determinar cuál ofrece mejores resultados en términos de resistencia, acabado superficial y eficiencia del proceso, por ende, este estudio no solamente permite evaluar la calidad del producto, sino que también permite identificar oportunidades para mejorar la productividad y decrecer los costos en la cadena de producción.

Antecedentes

La evaluación de métodos de soldadura SMAW y GMAW en la fabricación de frentes de carrocería metálica urbana tipo G8, se debe contextualizar el entorno de la investigación, en donde, se exponen los antecedentes de la problemática planteada para la ejecución del proyecto, siendo que, se pueda consolidar el punto de partida.

En ello, la industria automotriz ha experimentado una constante evolución, impulsada por la demanda de vehículos más seguros, eficientes y estéticamente atractivos, siendo que, la calidad de la soldadura y el terminado de cada una, son ítems importantes que considerar en la fabricación de componentes estructurales, como los frentes de carrocería metálica.

En mayor proporción, la soldadura SMAW ha sido una técnica utilizada en la producción de automóviles debido a su versatilidad y facilidad de aplicación en los diferentes procesos, sin embargo, con el incremento de la tecnología y la constante búsqueda de métodos más eficientes, la soldadura GMAW ha emergido como una alternativa prominente gracias a su exponencial tasa de deposición y la posibilidad de automatización.

De tal forma, a medida que la industria automotriz ha adoptado nuevas tecnologías y procesos de fabricación, ha surgido la necesidad de evaluar y comparar estas técnicas de soldadura en términos de calidad, resistencia y eficiencia, siendo que, la evaluación proporciona información relevante para los fabricantes, permitiéndoles tomar decisiones informadas sobre qué técnicas son más adecuadas para sus necesidades específicas de producción.

De esta forma, la competitividad por lograr procesos más limpios, con resultados que cumplen los estándares de calidad requeridos o esperados por el consumidor, en donde, el uso de recursos innovadores que faculten la automatización y mejora del uso de los recursos con los que cuentan, en donde, también se integran actividades de control y seguimiento para corregir y gestionar los cambios necesarios.

Problema

La elaboración de carrocerías para buses por parte de la industria ecuatoriana requiere de la mejora en el control de los costos y procesos, mientras se mantiene o mejora la producción, de esta forma, se indaga el impacto de dos tipos de juntas soldadas SMAW y GMAW en las actividades productivas de la empresa “Carrocerías Metálicas Reinoso” tomando en cuenta indicadores como la resistencia, durabilidad, terminado, y demás relacionados con el producto.

En el contexto nacional, la ausencia de una evaluación detallada de las soldaduras realizadas con las técnicas GMAW y SMAW limita la capacidad de mantener constante la integridad y durabilidad de las carrocerías de los buses producidos, dado que, la poca información acerca de la calidad de las soldaduras podría derivar en potenciales problemas estructurales y de seguridad para los pasajeros y conductores de estos vehículos, es decir, que su promoción como

una alternativa eficaz llama la atención, esta carece de los fundamentos requeridos para invertir en innovación e integrarlo en las actividades de producción.

Por otra parte, la variabilidad en las técnicas de soldadura utilizadas en el taller de Carrocerías Metálicas Reinoso, junto con la falta de pruebas de tensión y análisis estructurales, plantea interrogantes sobre la uniformidad y confiabilidad de los procesos de fabricación, dentro de lo mencionado, al no contar con respaldos históricos sobre los estándares de calidad, el uso de materiales y técnicas que cumplan las expectativas genera incertidumbre en el cumplimiento de garantías acarreando pérdida de la confiabilidad en el mercado.

Del mismo modo, el déficit de información en torno a costos derivados de la implementación de una u otra técnica utilizada para la soldadura genera que la cuantificación de los montos económicos requeridos para la elaboración de las carrocerías de buses sean deficiente, considerando que, al no contar con procedimientos predeterminados, ni el detalle de insumos y materia prima específicos la disponibilidad de proveedores, así como los convenios de compra, genera dificultades para el establecimiento del precio, lo cual, trae consecuencias como el déficit de rentabilidad y minúscula competitividad en el mercado.

En tanto, la exposición del problema se basa en la necesidad de llevar a cabo una evaluación completa de las soldaduras GMAW y SMAW en las carrocerías de buses, abordando aspectos de calidad, resistencia y eficiencia económica, para mantener la seguridad, durabilidad y competitividad de los productos fabricados en Carrocerías Metálicas Reinoso, siendo un aporte para la industria nacional, en donde, puedan tomar en cuenta diversos aspectos e integrar las diferentes técnicas acorde a los requerimientos y necesidades de cada organización.

Justificación

La durabilidad de las carrocerías es un evaluador que se ve reflejado directamente en la seguridad y confiabilidad de los vehículos, dado que, se ve directamente influenciada por el tipo de soldaduras realizadas en la fabricación de autobuses, en donde los compradores previo a la adquisición de un bus desarrollan un análisis previo del mercado por el cual, las implicaciones técnicas y económicas son aspectos que serán parte de su indagación, dado que, esto puede revelar la factibilidad de adquirir el mismo como herramienta de trabajo.

De esta forma, se debe considerar que, los buses están expuestos a condiciones variables durante su operación diaria, como fluctuaciones climáticas, vibraciones y tensiones durante el

movimiento, por ende, la evaluación de la durabilidad asegura que las carrocerías mantengan su integridad estructural a lo largo del tiempo, asegurando los estándares de seguridad y factores de rendimiento.

Al abordar esta dimensión del problema, se busca no solo cumplir con los estándares de seguridad inmediatos, sino también garantizar la seguridad y confiabilidad a largo plazo de los vehículos producidos en la industria ecuatoriana.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las técnicas de soldadura SMAW y GMAW en la producción de frentes de carrocería metálica urbana Tipo G8 en el taller de Carrocerías Metálicas Reinoso, ubicado en la ciudad de Quito.

Objetivos específicos

- Definir el proceso de fabricación de carrocerías urbanas nacionales, integrando prácticas avanzadas de soldadura, con un enfoque especial en los métodos SMAW y GMAW.
- Establecer las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS, WPQ, PQR) en la producción de frentes de carrocerías metálica urbana tipo G8, dirigido a Carrocerías Metálicas Reinoso.
- Evaluar la resistencia estructural de las juntas soldadas en los frentes de carrocería tipo G8 mediante ensayos de tensión.
- Indicar las posibles mejoras asociadas a los costos y procesos de fabricación, para potenciar la construcción de frentes de carrocería metálica urbana tipo G8.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

PERSPECTIVAS TEÓRICAS EN SOLDADURA SMAW Y GMAW

En este apartado se recopilan los fundamentos teóricos conceptuales en relación con las variables analizadas en la investigación, siendo la comprensión del estudio un punto ideal de partida tanto en la soldadura SMAW y GMAW, siendo que, a partir de los antecedentes expuestos se logre la correcta comparación técnica-económica y los beneficios y problemáticas de hacer uso de cada una.

1.1. Estados del arte

Diversos autores han centrado sus investigaciones en el tipo de soldadura para la elaboración de diversos productos con la finalidad de lograr la mejor calidad cumpliendo las expectativas de los clientes al menor costo posibles, de esta forma, si bien el aspecto de durabilidad, resistencia y demás características técnicas es importante, el precio en el mercado también influye en la preferencia del uso de uno u otro método.

En el estudio de Cruz [2]. analizó la textura microscópica de la técnica GMAW de aleaciones dúplex 2205, destinados a entornos marítimos, en donde, se llevaron a cabo soldaduras utilizando dos niveles de energía entrantes: 1.5 kJ/mm y 2.5 kJ/mm, luego, se tomaron especímenes de las soldaduras para someterlas a un estudio metalográfico mediante un análisis de microscopía, centrándose en la sección influencia del calor desde el estudio de imágenes, se determinó cuantitativamente el porcentaje de fracción de austenita y ferrita presentes en la microestructura del material.

Los resultados indican que la comparación de fases ferrita /austenita en la región afectada térmicamente cambios microestructurales, con respecto a el metal base, sin denotar diferencias exponenciales en relación con la energía de entrada del proceso, del mismo modo, se observó que la microestructura de la sección afectada por el calor está compuesta por componentes férricos con presencia de distintas formas de austenita, incluyendo austenita de contorno de grano (GBA).

En el estudio de Castellanos et al. [3] analizas las particularidades de la soldadura GMAW en donde señalan que los fenómenos eléctricos que ocurren durante el proceso de soldadura para lo cual realizaron ensayos en posición plana con un rango de voltaje de 14 a 32 V, a lo cual, los principales hallazgos se centran en que en las tensiones más bajas la

inestabilidad es fue alta, y la cantidad de salpicaduras mayor, lo cual, conforme se fueron incrementando las tensiones se obtuvo mejores resultados, exponiendo un menor número de salpicaduras con un cordón de soldadura con adecuado formato.

Por su parte, Villareal et al. [4] señala que la soldadura se trata de una especie de unión permanente que se integra al proceso de ensamble en el sector manufacturero secundario, en la cual se destacan la fabricación de autos, aviones, puentes, barcos, tanques y otros. De tal forma, las juntas de soldadura tanto SMAW como de GMAW son evaluados aplicados en material base ASTM 36, a lo cual, se experimentó con un total de 12 especímenes soldados y dos no soldados que se usaron como testigo.

Entre los parámetros principales que destacan son, la relación refuerzo-deformación en donde las probetas presentan similares propiedades y características de distorsión tanto en zonas elásticas como plásticas hasta el punto de rotura, por consiguiente, se tiene que el método a través de la técnica GMAW tiene mejores valores de resistencia en comparación con la soldadura SMAW, lo cual, evidencia que las propiedades mecánicas de GMAW superan a SMAW.

En el caso de Rojas et al. [5] se enfatiza que, la soldadura tiene un rol importante en la industria para unir componentes metálicos, uno de los destacados es la soldadura tipo MIG a lo cual, para lograr una aplicación adecuada de este método, se consideraron varias variables, tales como el origen del electrodo, el tipo de amperaje, el voltaje, la tasa de avance, el tipo de junta y la polaridad. los autores investigaron específicamente el impacto de la velocidad de avance, ya que esta influye directamente en la transferencia hacia el metal y la forma idónea del cordón de soldadura, de tal forma, al definir correctamente la velocidad de avance para asegurar una unión efectiva de los materiales, por consiguiente, se evalúa este efecto, se utilizó un software de elementos finitos para calcular la característica térmica en una placa, en donde, se evidenció que la potencia expuesta sobre el metal era homogéneo y además constante sobre un área circular.

1.2. Soldadura SMAW

La soldadura con electrodo revestido, comúnmente conocida como SMAW conocida según su acrónimo (Shielded Metal Arc Welding), es uno de los procesos de soldadura más a utilizados en la industria, por ende, es apreciado por su versatilidad, portabilidad y capacidad para realizar soldaduras en una variedad de entornos y posiciones, en esta, un

electrodo metálico recubierto se utiliza tanto como portador del material de aporte como de fuente de arco eléctrico [6].

En términos de equipamiento, el proceso SMAW requiere un equipo de soldadura relativamente simple y económico, dado que, se basa su origen en una fuente de corriente eléctrica, generalmente un transformador o un generador, conectado a un tipo de electrodo específico y a la pieza mediante un cable, como se puede evidenciar en la figura la 1. La selección del material de aporte adecuado es crucial para obtener resultados óptimos en el proceso SMAW, en donde, los electrodos, tienen un amplio stock en variedad, cada uno diseñado para aplicaciones específicas y con propiedades mecánicas y químicas particulares [6].

El proceso SMAW se lleva a cabo mediante la aplicación de una corriente eléctrica entre el electrodo y el material base, generando un arco eléctrico que dilata hasta el punto de fundición de ambos. El calor producido por el arco derrite el revestimiento del electrodo, creando un gas protector que resguarda el baño de soldadura de la contaminación atmosférica y estabiliza el arco. Simultáneamente, el núcleo metálico del electrodo se funde, depositando el material de aporte en la junta a soldar [6], los elementos mencionados anteriormente se pueden ver en la figura 1.

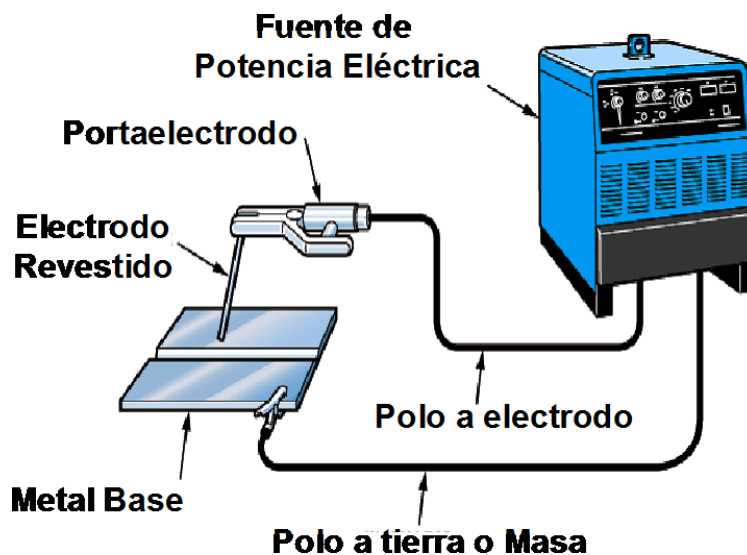


Figura 5. *Equipo de Soldadura SMAW [7]*

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta al soldar con el proceso SMAW es el control de la técnica, dado que, el equilibrio del arco, la constante de avance y la técnica de aplicación del material de aporte son fundamentales para lograr soldaduras de

alta calidad y sin defectos, un punto fundamental es formar una diferencia entre la pieza y el electrodo para formar un arco de soldadura tal como se puede visualizar en la figura 2, en ello, el soldador debe tener un buen control sobre el mismo, manteniendo la distancia adecuada entre el electrodo y la pieza base para evitar cortocircuitos y asegurar una fusión completa del material [6].

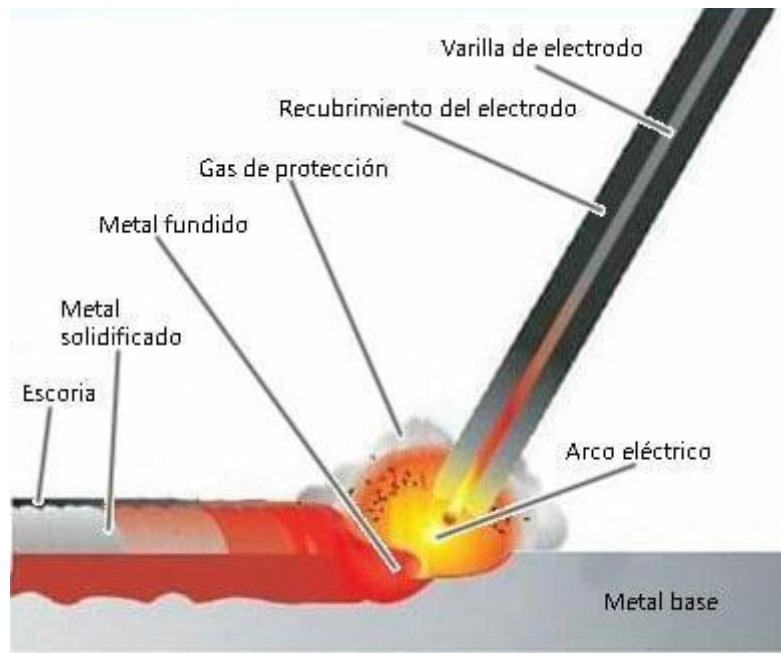


Figura 6. Soldadura de Arco SMAW [7]

El proceso SMAW se usa ampliamente utilizado en una diversidad de aplicaciones industriales, desde la fabricación de estructuras metálicas hasta la reparación y mantenimiento de equipos, maquinaria, así como también en la construcción de infraestructuras, como puentes, edificios y tuberías, donde la portabilidad y la facilidad de uso son aspectos relevantes para su aplicación [8]. Además, el SMAW se utiliza en la producción de maquinaria pesada, embarcaciones y en la industria petroquímica, entre otros sectores.

No obstante a sus ventajas, el proceso SMAW así mismo presenta algunas limitaciones, dado que, la velocidad de soldadura es relativamente baja en relación con otros métodos de aplicación de soldadura, resultando en una productividad reducida en la elaboración de productos a gran escala, por otra parte, genera una gran cantidad de humo y salpicaduras, lo que puede ser problemático en entornos cerrados o con mala ventilación, por ende, se requiere de equipos de protección [8].

1.3. Soldadura GMAW

También conocida por su Arco con gas de metal protegido, es un método de soldadura ampliamente ocupado en la industria metalúrgica debido a su versatilidad, rendimiento y calidad de las soldaduras producidas, el cual, se ejecuta mediante un arco eléctrico continuo a través de un electrodo también continuo de metal y el material base a soldar, blindado por una composición de gases inertes [9].

El método GMAW se lleva a cabo mediante la alimentación continua de un alambre de metal a través de una pistola de soldadura, que también suministra el gas protector, como se visualiza en la figura 3. En este proceso, la corriente eléctrica se aplica entre el electrodo de alambre y la pieza a trabajar, generando corriente eléctrica en forma de arco que funde tanto el alambre de metal como el material base, formando una junta. El gas protector, siendo este una mezcla de varios componentes este evita la formación de porosidades en la soldadura [10].

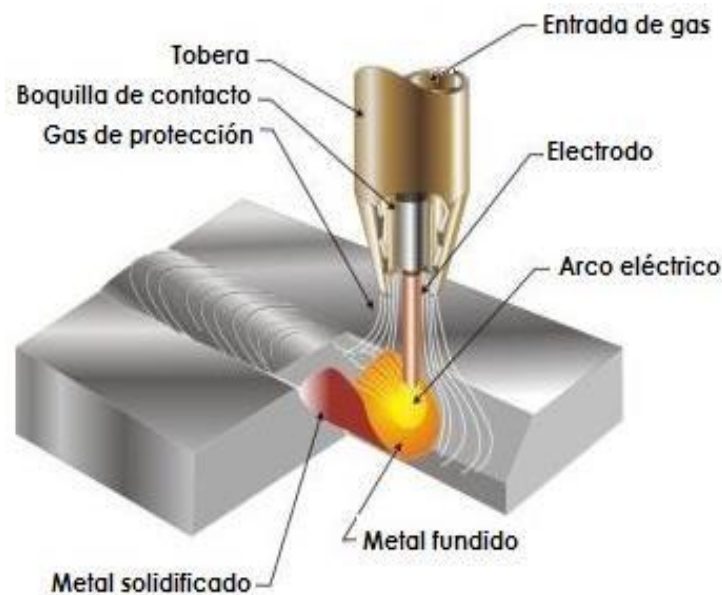


Figura 7. *Proceso de Soldadura GMAW [11]*

Entre las primordiales ventajas del proceso GMAW es su gran capacidad para producir soldaduras de alta calidad con una apariencia estética superior, dado que, es conocida por su excelente penetración, fusión uniforme y mínima distorsión en la pieza, lo que lo hace idóneo para trabajos donde se requiera una apariencia limpia y acabados estéticos de alta calidad, así mismo, cuenta con una alta velocidad de deposición y una alta capacidad para realizar soldaduras en una extensa variedad de posiciones y materiales [10].

Otra ventaja significativa de GMAW es su versatilidad en el contexto de materiales que pueden soldarse, ya que, se adapta a una amplia variedad de metales, incluyendo, acero tipo inoxidable, aluminio de distintas composiciones, cobre y aleaciones de níquel, entre otros. Siendo adecuado para diferentes calibres y formas, desde planchas delgadas hasta estructuras pesadas, convirtiéndole así en una opción popular en torno al contexto de industrias, desde la automotriz hasta la aeroespacial [12].

Para llevar a cabo el proceso GMAW, se necesita un equipo que es relativamente simple y fácil de usar, dado que, consiste en una fuente de corriente continua, una pistola de soldadura con un alimentador de alambre, un cilindro de gas de diversas concentraciones y un regulador de flujo para controlar la presión y el flujo del gas [12], como se puede observar en la figura 4 por otra parte, el operador de la soldadura solo necesita entrenamiento básico para dominar el proceso y realizar soldaduras de alta calidad .

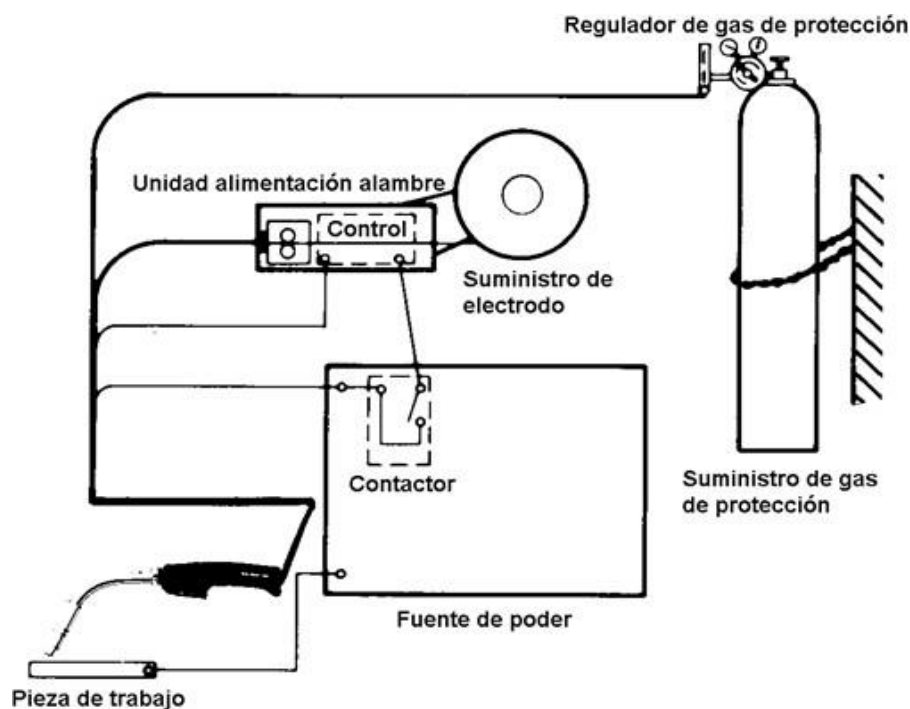


Figura 8. Equipo de Soldadura GMAW [13]

En cuanto a la seguridad, el proceso GMAW es generalmente considerado seguro siempre que se sigan las prácticas adecuadas de manipulación y se utilicen los equipos de protección personal apropiados, como gafas de seguridad, guantes y mandil de cuero, así mismo, el gas de protección utilizado como el argón, es inerte y no inflamable, lo que minimiza el riesgo de incendios o explosiones durante la soldadura [12].

1.4. Producción de frentes de carrocería urbana

La producción de frentes de carrocería metálica urbana tipo G8 es un proceso importante en la fabricación de buses, dado que, estos no solo proporcionan protección y estructura al vehículo, sino que también influyen en su estética y aerodinámica [9].

El proceso de producción comienza con el diseño detallado del frente de la carrocería, teniendo en cuenta aspectos como la seguridad, el confort del pasajero y la eficiencia del vehículo, en este paso, se utilizan software de diseño tipo (CAD) para trazar modelos en escala tridimensional precisos que luego se convierten en planos de fabricación, siendo que, de forma previa, se tiene un borrador del producto a realizar [9], para luego continuar con los lineamientos en la fabricación de la estructura del bus como se muestra en la siguiente figura 5.



Figura 5. Estructura de un bus urbano tipo G8

Una vez que se completan los diseños, se seleccionan una variedad de materiales para la fabricación de los frentes de carrocería, entre los más comunes destacan el acero, aluminio y aleaciones de acero al carbono, que ofrecen una combinación óptima de resistencia, durabilidad y peso ligero [9].

El proceso de fabricación puede variar según el fabricante y las especificaciones del cliente, conforme a Jordán y Bonilla [14], implica los siguientes pasos:

- **Corte de materiales.** - Se realiza mediante una cizalla, para cortar las láminas de metal en las formas y dimensiones deseadas según los planos de diseño.

- **Formado y conformado.** - En este paso las piezas de metal cortadas se someten a procesos de formado y conformado utilizando prensas hidráulicas o mecánicas para dar forma a las curvas y contornos del frente de la carrocería.
- **Soldadura.** – Por consiguiente, las piezas individuales se unen mediante soldadura para formar la estructura del frente de la carrocería, se utilizan diversos métodos de soldadura.
- **Ensamblaje.** - Una vez que se han soldado todas las piezas, se procede al ensamblaje final del frente de la carrocería, implica la instalación de paneles adicionales, luces, parachoques y otros componentes según las especificaciones del diseño.
- **Acabado.** - Se realizan procesos varios de acabado, tales como el lijado, el pulido la preparación y la pintura, para mejorar la estética del frente de la carrocería y protegerlo contra la corrosión y el desgaste.

Una vez completado el proceso de fabricación, los frentes de carrocería se someten a rigurosas pruebas de calidad y seguridad para garantizar el cumplimiento con los estándares industriales y regulatorios. Estas pruebas pueden incluir pruebas de resistencia estructural, pruebas de impacto y pruebas de durabilidad en condiciones simuladas de uso.

1.5. Conclusiones capítulo I

Las técnicas de soldadura son analizadas con la finalidad de analizar sus características técnicas y compararlas en la fabricación de diversos productos, de tal forma que, sean utilizadas en los procesos adecuados sin la necesidad de posteriores readecuaciones o adquisición de equipos innecesarios en la producción, así mismo, los estudios expuestos se tornan un punto de partida para la investigación experimental ya que expone normas, métodos y ensayos. En el caso de la soldadura SMAW se caracteriza por su flexibilidad y portabilidad ya que el equipo puede movilizarse con facilidad y favorece su manipulación, mientras que, en el caso de GMAW se ha integrado a nivel industrial por su eficiencia y eficacia.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y METODOLOGÍA PARA EL PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN DE SOLDADURA

En el presente apartado se expone el proceso de recolección de información, desarrollo de las pruebas y procesos comparativos de evaluación de las técnicas de soldadura SMAW y GMAW, siendo que, se exponen los requerimientos, procedimientos seguidos para la investigación experimental, además de los pasos a seguir para el análisis de información, centrándose en la elaboración de frentes de carrocería metálica tipo G8, enfatizando que, el acabado físico se torna un aspecto importante a tomar en cuenta.

2.1. Diseño de la investigación

El enfoque de la investigación se centra en el enfoque experimental en donde se compara los tipos de soldadura tanto de SMAW como de GMAW, en el contexto particular de los procesos de elaboración de frentes de carrocería metálica de Tipo G8, en donde, no solo se exponen aspectos técnicos, sino también, el acabado que resulta de cada uno de los frentes de carrocería.

Al considerar el desarrollo de una investigación de tipo experimental se realizará la comparación de ambas técnicas en condiciones similares, con la intención de comparar los acabados y las principales diferencias en los aspectos antes descritos, es necesario recalcar que, la investigación experimental se central en evaluar las relaciones causales entre las variables mediante la manipulación condicionada y los resultados de los efectos causados, dado que, los datos obtenidos pueden ser replicables y verificables en similares contextos [15].

En la siguiente Figura 6 se expone un flujograma para el proceso de investigación, se desarrollará en primer lugar, la revisión de literatura de los antecedentes de estudios previos realizados en el contexto de las técnicas soldadura SMAW y GMAW, siendo que, se toman en consideración las diferentes recomendaciones y procedimientos para la elaboración de frentes de carrocerías metálicas tipo G8.

Por otra parte, también se analizará el aspecto económico en donde, se compara los costos derivados de utilizar una u otra técnica de soldadura detallando aspecto a largo plazo de

mantenimiento y capacidad de producción, delimitándose a la producción de buses urbanos.

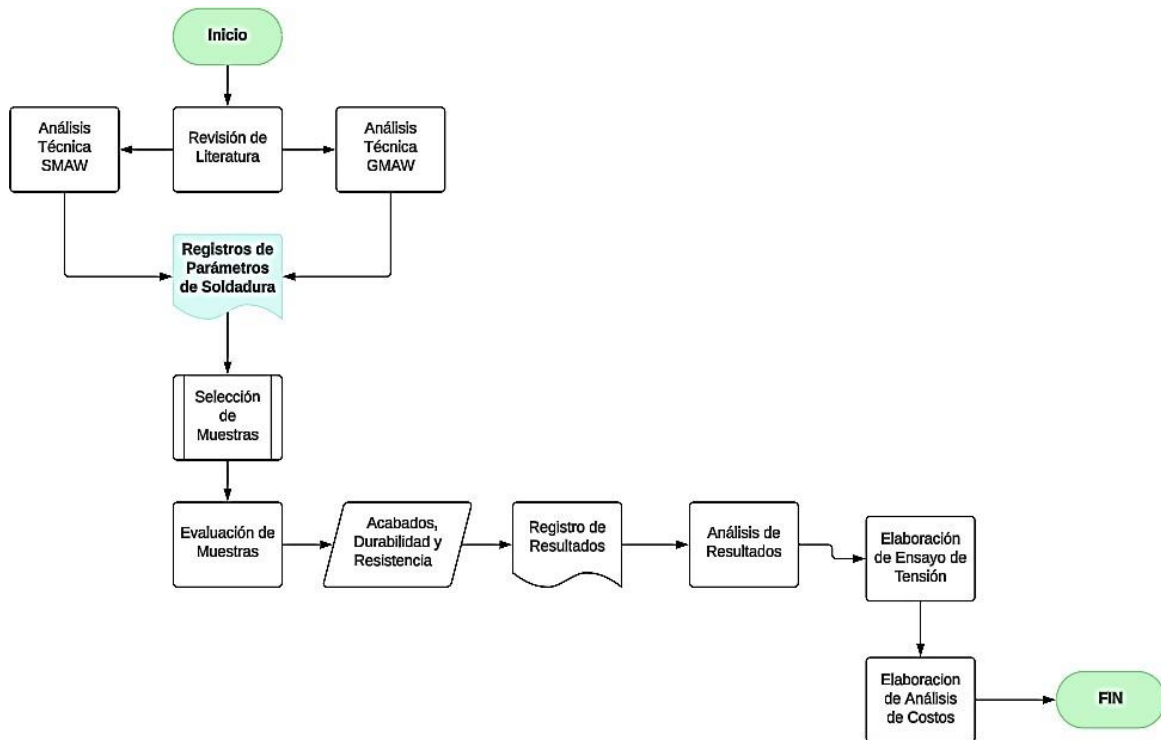


Figura 6. *Flujograma para el proceso de investigación*

2.2. Objeto de estudio

La parte frontal de la carrocería de un autobús es una sección que desempeña un papel importante en términos de seguridad, funcionalidad y rendimiento general, la cual, integra componentes esenciales, como el parachoques, los faros, la parrilla y otros elementos de diseño.

Desde una perspectiva de ingeniería, la parte frontal de la carrocería de un autobús debe diseñarse y fabricarse para cumplir con rigurosos estándares de resistencia estructural, durabilidad y seguridad, ya que, debe poder resistir impactos, vibraciones y tensiones durante el funcionamiento del autobús, garantizando así la integridad de los pasajeros en caso de una posible colisión u otros eventos imprevistos en la carretera.

Además, la parte frontal de la carrocería debe diseñarse teniendo en cuenta la eficiencia aerodinámica y la capacidad de refrigeración del motor, lo que puede influir en el rendimiento general del vehículo, incluida la mejora de la economía de combustible, así como también la capacidad de enfriamiento del motor.

En el ámbito de la fabricación y la ingeniería automotriz, el estudio de la parte frontal de la carrocería de un autobús implica la evaluación de diversos aspectos, como los materiales utilizados en su construcción, los procesos de fabricación empleados, las técnicas de unión y soldadura utilizadas, así como también la optimización de diseño para cumplir con los requisitos de seguridad, rendimiento y estética.

2.3. Técnica de soldadura

En este estudio se comparan los métodos de técnicas de soldadura SMAW y GMAW, siendo que, se les aplican las mismas pruebas y ensayos para determinar la capacidad de resistencia acabado final, considerando factores como la durabilidad y el aspecto físico del acabado o imperfecciones así mismo el término del cordón de soldadura, siendo estos importantes para sumarle valor agregado al diseño dado que, los frentes de las carrocerías metálicas cumplen roles funcionales y estéticos en el diseño de un bus.

La regulación a través de la norma NTE INEN 1 323:2009 [16] que regula la producción y el montaje de buses para diferentes modalidades señala que, las técnicas de soldadura deben cumplir los requerimientos de la norma vigente AWS D8.8 [17] para elementos de tipo acero y/o AWS D8.14 [18] para componentes de tipo aluminio, mientras que, el proceso de soldadura está regulado por AWS D1.3 [19] para aleaciones tipo acero, AWS D1.2 [20] para aluminio y AWS D1.6 [21] para aceros tipos inoxidable [22].

Las técnicas de soldadura SMAW y GMAW cumplen con los requerimientos establecidos en el marco legal ecuatoriano, de tal manera, se consideraron los lineamientos en cuanto a la ejecución de procesos predeterminados para la soldadura.

2.3.1. Sociedad Americana de Soldadura AWS

Los lineamientos establecidos bajo esta organización permiten evaluar que un producto sea seguro y confiable, y del mismo modo, que el personal encargado de los procesos de elaboración no sufran afectaciones e impactos en su salud.

AWS D1.3: 2008: Código base para la fabricación de estructuras a base de acero

En esta se expone los procesos a seguir para el uso de soldadura en acero aleado con espesor nominal del material base, siendo que su proporción debe ser igual o menor en 3/16", mismos que son aplicados en la fabricación de carrocerías, la normativa detalla:

- Cargas admisibles

- Uniones soldadas
- WPS calificados
- Evaluación de las juntas soldadas y soldadores
- Soldadura de pernos

2.3.2. Proceso de soldadura tipo SMAW

Diagrama de flujo con la técnica SMAW se expone en la Figura 7.

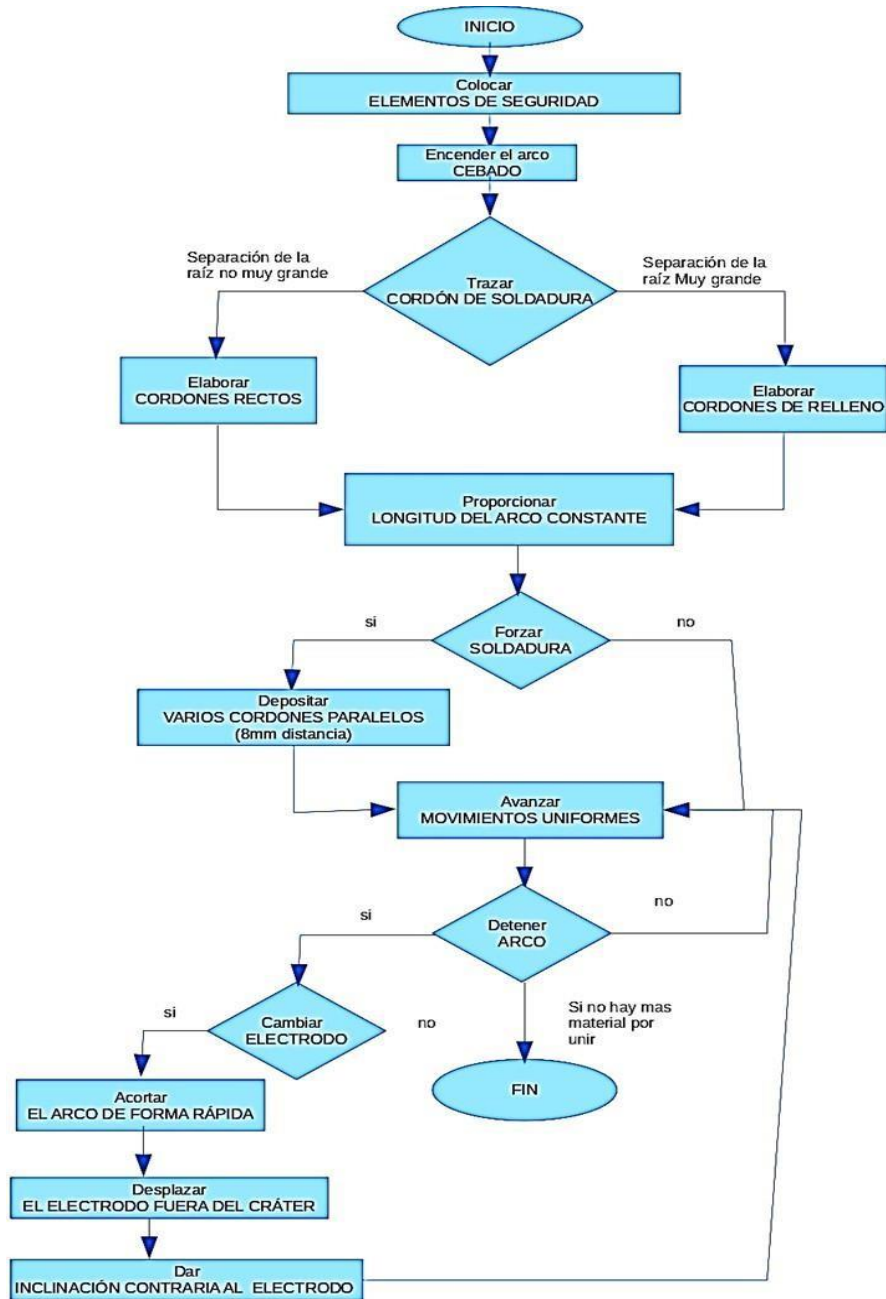


Figura 7. Flujograma Soldadura SMAW [23]

Se debe enfatizar que el proceso expuesto es considerado de la NTE INEN 1 323:2009 que aún se encuentra vigente en el contexto nacional para la elaboración de procesos de fabricación.

2.3.3. Proceso de soldadura GMAW

En concordancia con el apartado anterior se realiza el diagrama de flujo para la soldadura GMAW conforme a la siguiente figura 8.

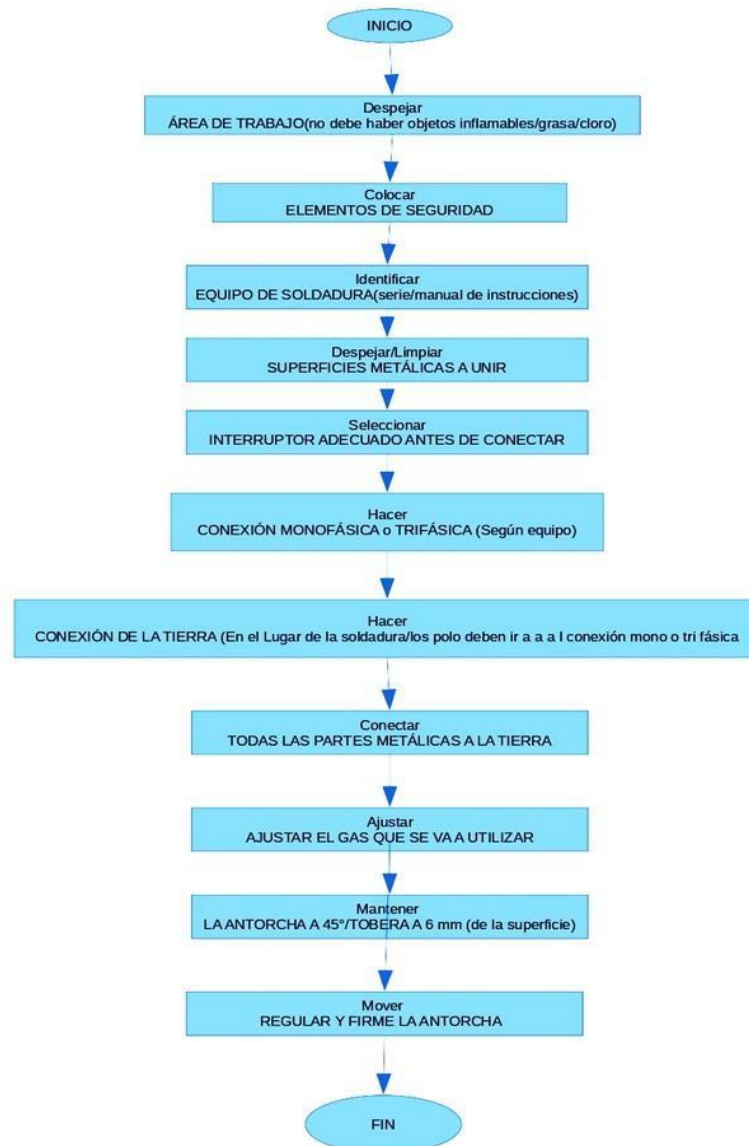


Figura 8. Flujograma soldadura GMAW [23]

En este caso, se debe enfatizar que, si bien el proceso es parecido a al de SMAW, en el caso de GMAW se hace uso de gas y se configuran diferentes parámetros de energía y voltaje.

2.4. Técnica de soldadura para carrocerías

En la industria carrocera, los procesos de soldadura desempeñan un papel fundamental en la fabricación y reparación de estructuras metálicas utilizadas en vehículos comerciales y de consumo. Estos procesos aseguran la integridad estructural y la seguridad del producto final, cumpliendo con estándares rigurosos de calidad y resistencia.

Además, la preparación adecuada de las juntas, el control preciso de parámetros como la temperatura de precalentamiento y las técnicas de inspección post-soldadura son críticos para garantizar la durabilidad y la seguridad de las estructuras soldadas.

Alcance: Este procedimiento de soldadura es válido únicamente dentro de los rangos establecidos, requiere personal calificado y equipo apropiado según el Código AWS D1.1M/D1.1, Structural Welding Code - Steel, para estructuras.

-Proceso de Soldadura: Electrodo Revestido (SMAW)

- Método de Aplicación: Manual

- Rango de Espesores: 3 mm a 12 mm para soldaduras de ranura, mínimo 3 mm para soldaduras de filete.

Material base:

- Material Base: Acero estructural de baja aleación y resistencia ASTM A500

- Composición Química:

- Max. 0.26 % C

- 1.35 % Mn

- 0.045 % P

- 0.050 % S

- Propiedades Mecánicas:

- Resistencia a la tracción mínima (Fy): 315 MPa

- Resistencia a la tracción máxima (Fu): 400 MPa

Material de Aporte:

- Especificación: ANSI/AWS A5.1 o ASME SFA 5.1

- Clasificación: E 7018 RH
- Rango de Espesores: 3 - 12 mm más el refuerzo para soldaduras de ranura.

Posiciones:

- Posiciones Permitidas: Vertical
- Progresión Vertical: Ascendente

Pre calentamiento y Temperatura entre Pasadas:

- Temperatura de Pre calentamiento: Mínimo 10 °C
- Temperatura entre Pasadas: Según se suelde
- Mantenimiento de Pre calentamiento: Según se suelde, no se requiere calentamiento especial.

Post calentamiento (PWHT):

- Post calentamiento No se califica para aplicaciones con post calentamiento.

Técnica:

- Cordón oscilado o rectilíneo: Ambos
- Martilleo: No se permite
- Limpieza Inicial: Mecánica; la junta debe estar libre de humedad antes de soldar
- Limpieza entre Pasadas: Mecánica, solamente con grata
- Repelado de la Raíz (Backgouging): Mecánica (Siempre se debe realizar)
- Número de Pasadas: Uno o múltiples pasadas
- Máximo Espesor por Capa: 6 mm para cordones de raíz, 4 mm para cordones de relleno
- Máximo Tamaño de Filete por Pasada: 6 mm
- Mínimo Tamaño de Filete: 3 mm
- Mantenimiento de Electrodo: En termo a temperatura de min 100°C mín. 1 hora antes de soldar.

Parámetros de Soldadura:

- Tipo de Electrodo: E7018
- Corriente: Corriente continua (DC), polaridad positiva (electrodo positivo)
- Rango de Amperaje: 90-140 A
- Voltaje: 20-25 V
- Velocidad de Avance del Electrodo: 20-30 cm/min
- Interpasadas: Mantener una temperatura mínima de 100°C entre pasadas.
- Técnica de Soldadura: Cordón recto u oscilante, dependiendo de la aplicación y las especificaciones de soldadura.

Aquí tienes la información sin texto en negrita:

- Proceso de Soldadura: GMAW (Soldadura por Arco de Metal con Gas)
- Método de Aplicación: Manual
- Rango de Espesores: 3 mm a 12 mm para soldaduras de ranura, mínimo 3 mm para soldaduras de filete

Material Base

- Material Base: Acero estructural de baja aleación y resistencia ASTM A500
- Composición Química:
 - Max. 0.26 % C
 - 1.35 % Mn
 - 0.045 % P
 - 0.050 % S
- Propiedades Mecánicas:
 - Resistencia a la tracción mínima (Fy): 315 MPa
 - Resistencia a la tracción máxima (Fu): 400 MPa

Material de Aporte:

- Especificación: ANSI/AWS A5.18 o ASME SFA 5.18

- Clasificación: ER70S-6
- Rango de Espesores: 3 - 12 mm más el refuerzo para soldaduras de ranura.

Posiciones:

- Posiciones Permitidas: Vertical
- Progresión Vertical: Ascendente

Pre calentamiento y Temperatura entre Pasadas:

- Temperatura de Pre calentamiento: Mínimo 10°C
- Temperatura entre Pasadas: Según se suelde
- Mantenimiento de Pre calentamiento: Según se suelde, no se requiere calentamiento especial.

Post calentamiento (PWHT):

- Post calentamiento: No se califica para aplicaciones con post calentamiento.

Técnica:

- Cordón oscilado o rectilíneo: Ambos
- Martilleo: No se permite
- Limpieza Inicial: Mecánica; la junta debe estar libre de humedad antes de soldar
- Limpieza entre Pasadas: Mecánica, solamente con grata
- Repelado de la Raíz (Backgouging): Mecánica (Siempre se debe realizar)
- Número de Pasadas: Uno o múltiples pasadas
- Máximo Espesor por Capa: 6 mm para cordones de raíz, 4 mm para cordones de relleno
- Máximo Tamaño de Filete por Pasada: 6 mm
- Mínimo Tamaño de Filete: 3 mm

Parámetros de Soldadura:

- Gas de Protección: Mezcla de gas de argón y dióxido de carbono (75 % Ar / 25 % CO₂)
- Diámetro del Alambre de Soldadura: 0.035-0.045 pulgadas (0.9-1.2 mm)

- Corriente: Corriente continua (DC), polaridad positiva (electrodo positivo)
- Rango de Amperaje: 90-140 A
- Voltaje: 18-22 V
- Velocidad de Avance del Alambre: 5-7 m/min
- Interpasadas: Mantener una temperatura mínima de 100 °C entre pasadas.

Estos parámetros están diseñados para proporcionar una guía inicial para la soldadura de acero ASTM A500 utilizando el proceso SMAW y GMAW, asegurando que se cumplan los requisitos de resistencia y calidad estructural en aplicaciones industriales y carroceras.

2.4.1. Diseño de juntas

La designación de juntas en estructuras metálicas es crucial para asegurar la integridad estructural y la eficiencia de la soldadura, determinando la distribución de cargas y la resistencia a las fuerzas aplicadas, esta se puede apreciar en la figura 9.

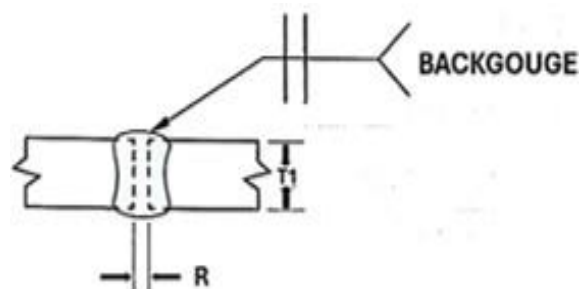


Figura 9. *Diseño de junta [21]*

En donde:

T1= 6mm máx.

R= $T/2 (+2,-3)$

La figura 10 muestra una junta de soldadura en ángulo, destacando el tipo de soldadura y las características geométricas.

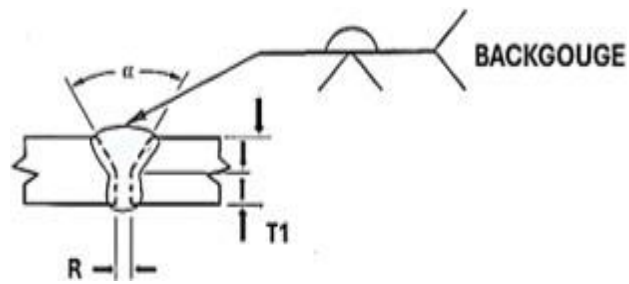


Figura 10. Junta de soldadura en ángulo [21]

En donde:

R= 3mm (2,-3)

α) = 60° (10°, -5°)

f= 0 3mm

T1= 3 -12mm

La figura 11 presenta una junta de soldadura en ángulo, destacando la designación específica de la junta y detallando las dimensiones geométricas y los perfiles de soldadura empleados.

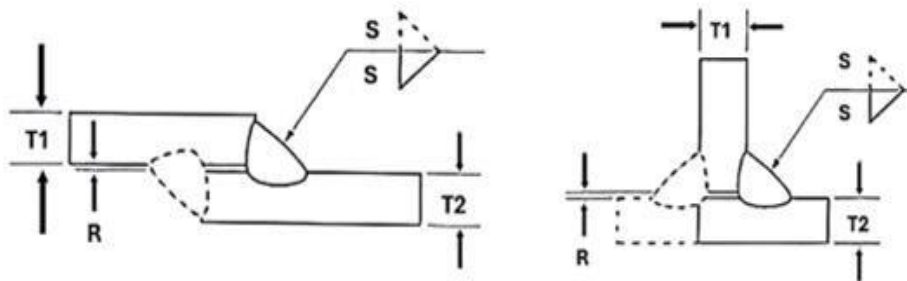


Figura 11. Designación de la junta [21]

Donde:

R= máx. 5mm

T1, T2= 3 a 12 mm,

S min. = 3mm

Estas indicaciones pueden ser objeto de una variación debido a la secuencia de fabricación, elementos de fijación, tamaño de la pasada, et. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en AWS D1.1 M/D1.1.

2.5. Ensayo destructivo

En pruebas de tensión los ensayos son aplicados con la finalidad de obtener datos sobre la capacidad de carga, especificación de la junta y ductilidad de las piezas en las juntas soldadas [23], por ende, permiten recopilar información cuantitativa que facultan la comparación y análisis en el diseño de estructuras elaboradas con soldadura, en ello, se destaca que el área de fractura proporciona evidencia en torno a la presencia de defectos y discontinuidades, y del mismo modo la fusión incompleta.

En este aspecto mediante este ensayo se permite evaluar los siguientes indicadores mediante ecuaciones, que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 10. Listado de ecuaciones para evaluar los resultados de los especímenes [25]

Nombre	Ecuación	Descripción
Esfuerzo de Cedencia	<i>Ecuación 1</i> $\sigma_c = \frac{F_c}{A}$	Es el esfuerzo en el que el material tiende a deformarse de manera plástica.
Esfuerzo Máximo	<i>Ecuación 2</i> $\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$	Máxima resistencia que el material puede soportar antes de fallar.
Desplazamiento	<i>Ecuación 3</i> $\delta = \varepsilon \cdot L_c$	Cálculo de elongación de muestras, bajo cargas aplicadas.

Para el caso de los ensayos destructivos se utilizaron probetas, las cuales son muestras de material que permiten realizar ensayos destructivos o no destructivos, a través de los cuales se evalúan características y propiedades de los objetos [24], así, en el presente caso se toman en cuenta lo establecido por la Norma ASTM E8 que recomienda el uso de 5 probetas en adelante para poder realizar un promedio y evaluar los especímenes [25], señalando lo siguiente:

- 2 deben almacenarse en laboratorio de ensayos
- 3 se entregan al cliente por políticas.

Es así como se procede a la ejecución de las probetas conforme a las normativas de diseño presentadas a lo largo del documento. En total, se realizaron 6 probetas, distribuidas de la siguiente manera:

Se realizaron 3 probetas utilizando el método GMAW, que se muestran en la figura 12.



Figura 12. *Probetas GMAW*

Así mismo se realizaron 3 probetas utilizando el método SMAW, que se muestran en la figura 13.



Figura 13. *Probetas SMAW*

De esta forma, los resultados serán acertados y verificables en torno al comportamiento de las juntas de soldaduras, las cuales se encuentran formando parte del armazón estructural, conforme a ello, los diagramas de deformación serán realizados conforme a los requerimientos de la norma vigente AWS B4 0:2007 [26], se establece la geometría de las probetas rectangulares en el caso de ensayos destructivos.

En el ensayo destructivo hay que seguir las dimensiones propuestas en base a la norma vigente AWS B4, que tienen las características que pueden visualizarse en la figura 14.

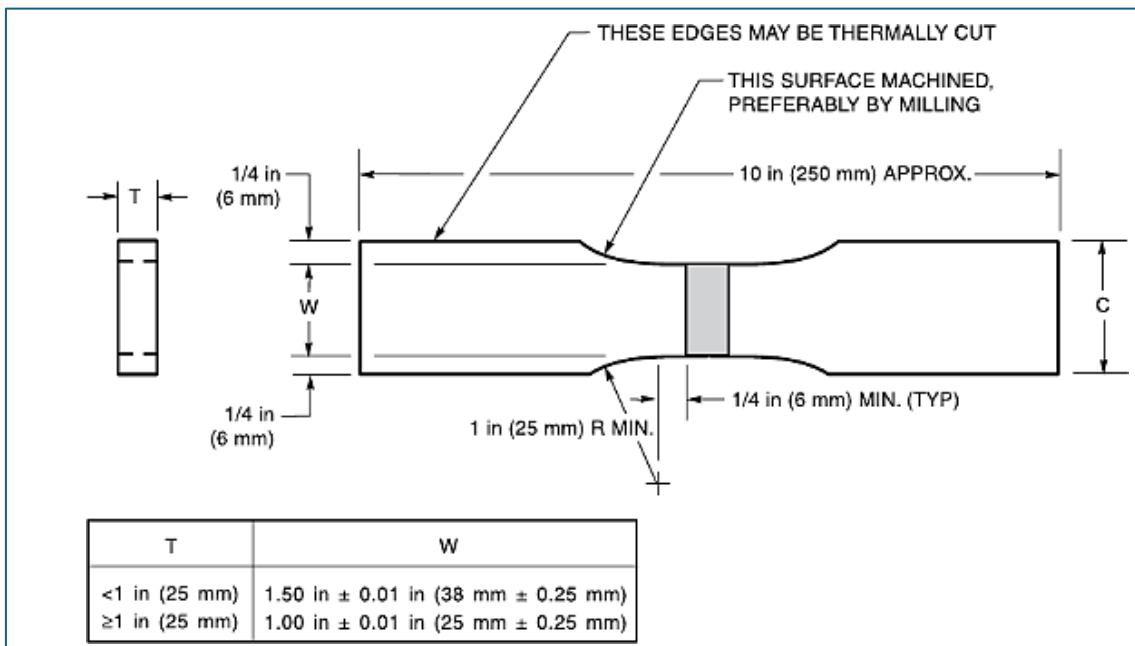


Figura 14. Geometría del espécimen [26]

En aplicación a la norma AWS B4 [26] que corresponde a los ensayos mecánicos de soldaduras se consideran las siguientes aclaraciones y geometría para el desarrollo de las pruebas con las muestras consideradas, si bien esta norma no establece un número estándar para la comparación de muestras, se ha tomado en cuenta el número de especímenes mínimo para realizar una prueba de certificación del proceso de soldadura (WPS)

El material base delgado evidencia tendencia a romperse en las cercanías del hombro, por ende, en la dimensión tipo C el valor de su proporción no puede ser mayor a 1-1/3” de la sección reducida.

Al evidenciar que el espesor T de la soldadura en una muestra no se encuentre en el ámbito de las limitantes por la aptitud del equipo disponible, se divide la misma considerando su espesor en las muestras que se requiera.

- Las secciones reducidas deben tener una longitud similar al ancho de la sección más amplia, en donde, la soldadura es mayor $\frac{1}{4}$ como mínimo en cada lado.

- Para el caso de la de anchuras más angostas (W y C) son utilizados en la sección reducida es igual al material de prueba, mientras que en el caso de que el material sea inferior a W los lados deben ser paralelos.

2.5.1. Material base

La estructura metálica de un autobús está fabricada en base de un acero ASTM A500, es importante exponer las propiedades mecánicas de este metal como se puede observar en la tabla 2, esto para poder realizar la comparación y exponer la diferencia de las propiedades mecánicas del mismo después de a ver sido sometido a la soldadura.

Tabla 11. *Especificaciones Mecánicas Acero ASTM A500 [27]*

Acero ASTM A500	
(E) Módulo de Elasticidad	200 GPa
(Fy) Resistencia a la Fluencia	320 MPa
(Fu) Resistencia última	405 MPa
% de elongación	21 % - 25 %

Es importante mencionar que los especímenes han sido extraídos de una de las 3 partes que tiene un frente de bus, siendo este el guardachoque, como se puede observar en la siguiente figura 15. Esto por el cual es la parte más sensible para sufrir deformaciones por accidentes frontales.

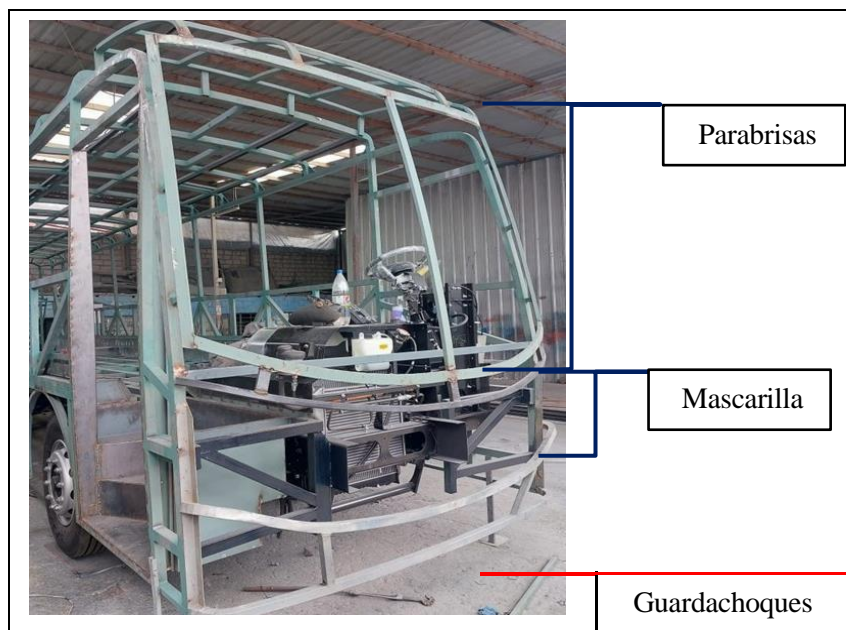


Figura 15. Parte frontal de la carrocería urbana tipo G8

El perfil estructural del frente de carrocería debe cumplir con las especificaciones de la norma NTE INEN 1313:2009 acorde a la aplicación de cargas de tipo estáticas, elevadas y dinámicas, con el fin de disminuir la deformación de forma longitudinal hacia el interior, considerando las probabilidades de suscitarse un accidente de tránsito, en la siguiente tabla 3 se exponen las características:

Tabla 12. Perfiles empleados en el armazón frontal

Parte estructural	Medida (mm)	Material
Frontal	Tubo tipo Cuadrado 50x50x2	Acero
	Tubo tipo Cuadrado 40x40x3	estructural al
	Tubo tipo rectangular 25x25x2	carbono
	Tubo tipo rectangular 25x25x3	(ASTM A500)

2.5.2. Material de aporte

Con respecto al materia aporte se utilizan en GMAW un electrodo continuo de alambre y gas protector adecuado para aceros, en tanto SMAW emplea un electrodo revestido que proporciona su propio gas protector considerando el análisis comparativo entre los tipos de uniones soldadas siendo SMAW y GMAW se consideran en cuenta el uso de gas protector CO₂, a continuación, en la tabla 4 se exponen las siguientes propiedades.

Tabla 13. Especificaciones mecánicas Material de Aporte [18]

Resistencia última a la tensión	380 MPa
Esfuerzo a la cedencia	280 MPa
Elongación	18% - 20%

Al haber expuesto los valores tanto del material aporte como el base, siendo estos empleados en el ámbito carrocerero para el proceso de fabricación de los frentes de carrocería metálica, posterior, se realizan las probetas, en donde, se puede verificar el cumplimiento de la normativa AWS B4.0:2007, sumado a los esfuerzos determinados en la AWS D1.1: 2000.

2.6. Elaboración del espécimen

La elaboración de las probetas que son utilizadas en el ensayo destructivo se continúa con el siguiente procedimiento tal como se visualiza en la figura 16.

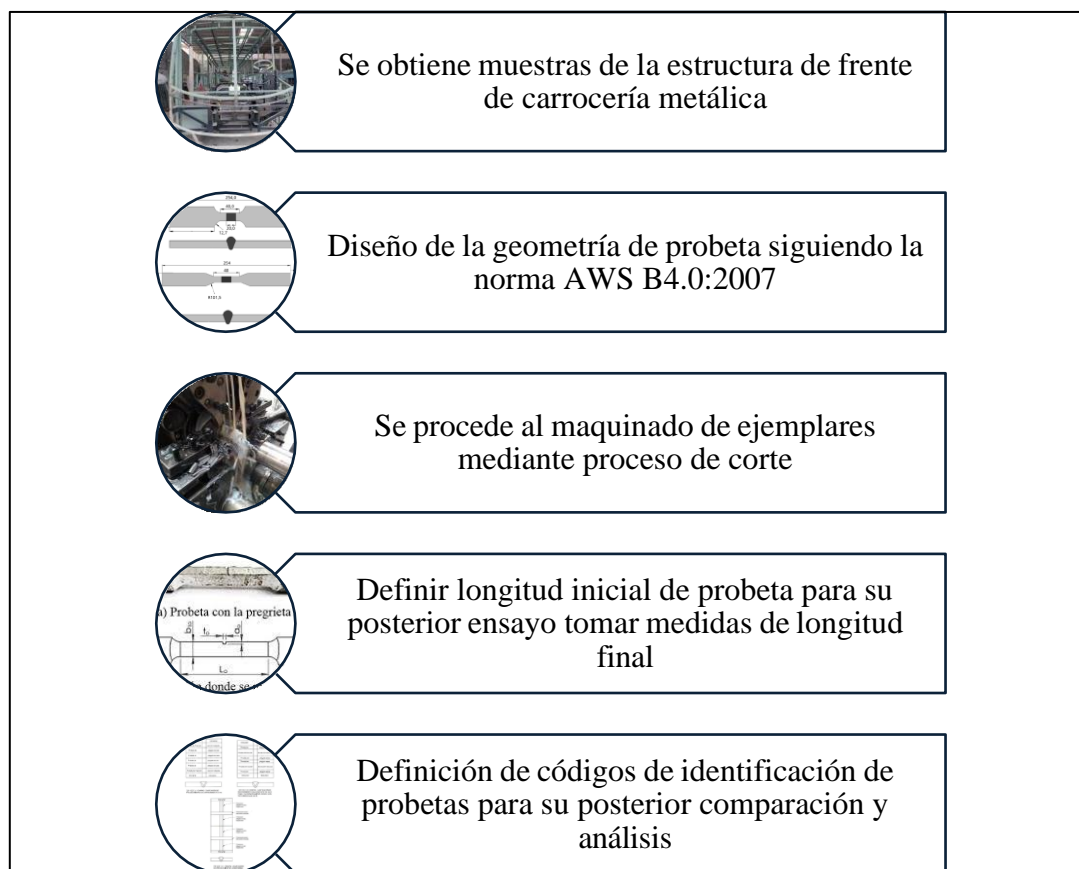


Figura 16. Elaboración de especímenes

2.7. Recolección de la información

La recolección de información se lleva a cabo en tres pasos fundamentales tal como se muestra en la figura 17.

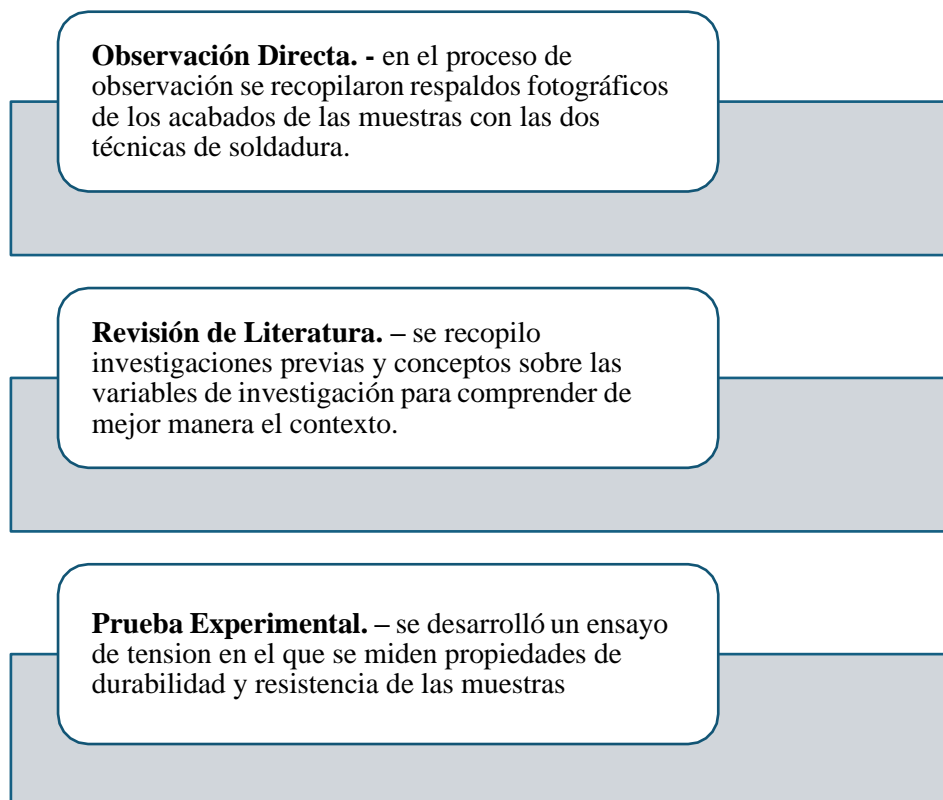


Figura 17. *Herramientas de recolección de información*

La información recopilada de los diferentes procesos de evaluación y comparación visual de las muestras se registra de la siguiente manera:

- **Ficha de Registro.** – Para el registro de la información se integró una ficha de registro WPS en la cual se identifica el proceso de ejecución de soldadura y los resultados de las muestras.
- **Calificación de Soldadores.** – Dado los requerimientos de la norma en cuanto a la certificación de los operadores en el área de soldadura se integra una ficha WPQ, en donde, se evalúa la capacidad del soldador en su desenvolvimiento.
- **Calificación del Procedimiento.** – en el caso de la evaluación del procedimiento se aplica la herramienta PQR que faculta la certificación de los procedimientos

para la producción de uniones soldadas que cumpla con los requerimientos técnicos-normativos vigentes.

Al aplicar las matrices en el proceso de fabricación y producción de frentes de carrocería metálicas, se genera una representación visual y tabular de las características clave de las soldaduras realizadas, lo que permite una prueba de la calidad y la eficiencia de las uniones soldadas, y, por ende, exponer un análisis comparativo de las técnicas de soldadura SMAW y GMAW.

2.7.1. Análisis de la Información

En el análisis de la información recopilada se siguen pasos específicos para exponer los hallazgos relevantes al comprar ambas técnicas de soldadura, por ende, con la información recopilada en la revisión de literatura se conceptualizó los principales aspectos de la investigación, así como información relevante de estudios previos relacionados con la temática.

Posterior a ello, la toma de medidas, de cada muestra y la longitud del cordón, así como la comparación del ángulo de inclinación y técnica de soldadura conforme al registro en las matrices antes descritas permite comparar estas dimensiones con los requisitos especificados en el Procedimiento de Especificación de Soldadura (WPS) para verificar la conformidad.

Por consiguiente, se evalúa la penetración de la soldadura para garantizar que haya alcanzado la profundidad requerida en la unión, en donde, se procedió a verificar la fusión entre el metal base y el de aporte en todo el cordón de soldadura, de tal forma, que se puedan identificar falencias, o a su vez, tendencias de las dos técnicas comparadas.

Del mismo modo, se aplican pruebas de las propiedades mecánicas de las muestras a través de un ensayo de tracción para evaluar la resistencia y durabilidad de la soldadura, en ello, se registran los resultados de estas pruebas y se comparan con los requisitos especificados en el WPS y las normativas aplicables.

Finalmente, se analizaron los costos asociados con cada soldadura, incluidos materiales, mano de obra y equipos, en donde se compara la eficiencia del proceso de soldadura en términos de tiempo de producción, desperdicio de material y calidad del producto final.

Al llevar a cabo este análisis de manera sistemática y completa, se puede garantizar que las soldaduras cumplan con los estándares de calidad requeridos y que los productos finales sean seguros, confiables y eficientes.

2.8. Materiales y equipos

En el desarrollo de los procesos de análisis de las muestras de frentes de carrocería metálica tipo G8 mediante las técnicas SMAW y GMAW se utilizaron los siguientes materiales y equipos.

2.8.1. Equipos

- **Máquina de Soldadura SMAW.** Es el encargado suministrar la corriente eléctrica requerida para formar soldadura optima, tal como se puede evidenciar en la figura 18.



Figura 18. Máquina tipo SMAW [11]

- **Porta-Electrodos.** Es utilizado para sostener el electrodo de soldadura y establecer el circuito de retorno de corriente en torno a la pieza de trabajo utilizado generalmente para uso semi industrial tal como se puede ver en la figura 19.



Figura 19. *Porta electrodo [28]*

- **Equipo de Protección Personal.** - Incluye un casco con una pantalla oscura para proteger los ojos, guantes resistentes al calor, delantal de cuero, chaqueta de soldador y botas de seguridad.
- **Herramientas de Preparación.** Martillo de escoria, cepillo de alambre de acero y amoladora angular con discos abrasivos para limpiar y preparar las juntas de soldadura.
- **Máquina de Soldadura GMAW.** Es también conocida como máquina de soldadura MIG/MAG, suministra la corriente eléctrica y el gas de protección necesarios. Estos equipos son esenciales para llevar a cabo soldaduras eficientes y seguras tanto con el proceso SMAW como con el GMAW, se pueden evidenciar en la siguiente figura 20.



Figura 20. Equipo de soldadura GMAW

2.8.2. Materiales

- **Electrodos de Soldadura.** Están recubiertos con un revestimiento que protege mediante un baño de soldadura y estabiliza el arco eléctrico, de acuerdo con las especificaciones para el tipo de trabajo se pueden ver sus características en la siguiente figura 21.



Figura 21. *Electrodos*

- **Alambre.** Es un alambre de metal sólido o tubular como material de aporte, observándose sus características en la figura 22.



Figura 22. *Alambre de Soldadura*

- **Gases de Protección.** Se puede utilizar gases inertes o una mezcla con activos con la finalidad de proteger el arco de soldadura, estos se encuentran dentro de cilindros metálicos como se observa en la figura 23.



Figura 23. Gas de protección

- **Material Base.** Es el material que se emplea en las pruebas de tensión, en este caso es el acero ASTM A500.
- **Máquina Universal de ensayos.** Es la máquina que permite aplicar cargas específicas a materiales bajo prueba. Esta se puede observar en la figura 24. La máquina universal de ensayos permite evaluar materiales y componentes que son integrados en los diferentes procesos de fabricación, ya que permite aplicar fuerzas reducidas o elevadas para analizar los productos, de esta forma, la máquina aplica cargas controladas a las probetas, la cual debe cumplir con especificaciones técnicas para que posterior a la aplicación de las cargas la máquina emita una gráfica de deformación al momento de la rotura [29].
-



Figura 24. Máquina Universal de Ensayos

En ello, para proceder a realizar el ensayo destructivo, debemos tener una configuración específica utilizaron los siguientes parámetros evidenciados en la tabla 5.

Tabla 14. Valores de Configuración para prueba destructiva. [30]

Tipo	Valor	Unidades
Precarga	100	N
Caída	70	%
Retorno	1	-
Lím. de fuerza	45000	N
Stop Ext.	80	Mm

La tabla 6 detalla los parámetros de control utilizados en los ensayos destructivos que garantizan la precisión y consistencia de los resultados.

Tabla 15. Parámetros de Control para ensayos destructivos [30].

Velocidad	Valor	Unidades
Precarga	10	mm/min
Ensayo	10	mm/min
Retorno	50	mm/min
Posicionamiento	400	mm/min

2.9. Conclusiones capítulo II

En el diseño metodológico expuesto se considera la investigación experimental ya que se comparan los métodos de soldadura bajo pruebas técnicas para exponer las ventajas y desventajas de aplicar una u otra técnica en la fabricación de frentes de carrocería metálica, del mismo modo, el uso de equipos y materiales que permitan diseñar probetas y aplicar los ensayos destructivos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLDADURA Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El desarrollo del ensayo experimental mediante el cual se comparan las características técnicas de ambas técnicas de soldadura permitió identificar hallazgos importantes sobre las propiedades mecánicas de las probetas utilizadas tanto para SMAW como GMAW, los cuales se exponen y discuten en el presente apartado, sumado al análisis financiero sobre la factibilidad de integrar cada una en la elaboración de frentes metálicos de carrocería.

3.1. Procedimiento de Soldadura WPS

Es importante destacar que tanto el WPS, PQR y WPQ se realizaron con referencia al código de soldadura AWS D1.1M/D1.1, y como una propuesta base hacia Carrocerías Reinoso, este será utilizado previo a la revisión y aprobación de un ente calificador y regulador, para ser puesto en ejecución únicamente con personal calificado y equipo apropiado.

En tanto, los parámetros del procedimiento de soldadura se encuentran en el Anexo 4, siendo que, la matriz WPS se torna un documento que permite registrar la información del proceso en la empresa Carrocerías metálicas Reinoso con la finalidad de brindar información detallada al personal sobre la inspección de calidad del producto, dado que, se proporcionan las directrices requeridas acorde a las necesidades del cliente para satisfacer los estándares de calidad.

Por ende, la finalidad del diseño de WPS se encuentra orientado a establecer y documentar todos los requerimientos para el proceso de soldadura de cada parte específica del frente de carrocería metálica de bus, de tal manera, que durante la inspección se puedan verificar los mismos y cumplir con la propuesta ofertada al cliente, dentro de los ítems destacados en esta cartilla de información sobresalen:

- Información general de identificación del WPS.
- Parámetros de soldadura.
- Procedimiento de soldadura.
- Controles de calidad.
- Normativas.

3.2. Registro de información en PQR

En el registro de información se establecen los detalles de pruebas aplicadas y los datos obtenidos al soldar las probetas y pasar por el ensayo, de tal manera se consolida como una parte importante del WPS y se pueden verificar en el PQR (Anexo 5), dado que, en esta matriz se ingresan toda la información de las pruebas desarrolladas las cuales se deben encontrar de forma específica de cómo fue tomada.

En el siguiente PQR se evalúan las distintas propiedades mecánicas de soldadura en donde a través de los registros documentados de la información obtenida en los ensayos destructivos, en donde se registran los resultados de las variables que se utilizaron en la soldadura, además de otros ítems mencionados a continuación:

- Información General.
- Material Base.
- Procedimiento de soldadura probado.
- Preparación de la junta.
- Certificación.

3.3. Registro de Calificación del Soldador WPQ

En el registro de calificación del soldador, se evalúa el desempeño en la ejecución de procedimiento de soldadura por parte del soldador, lo cual se registra en el documento WPQ que se encuentra en el anexo 6, en este se expone la capacidad del soldador u operario de tal manera la empresa cuenta con la facultad de emplear una prueba registrada que indague el desempeño, en este se detallan las variables esenciales. Es importante destacar que en el anexo mencionado anteriormente se encuentran parámetros esperados en base a la normativa AWS D1.1 que los operadores deben tener, para luego ser registrados y calificados a través de un ente evaluador del proceso, los principales ítems durante este proceso de calificación son:

- Registros generales de la calificación del proceso de soldadura.
- Preparación del WPS y PQR.
- Registro y documentación.

3.4. Ensayos destructivos de tensión

La intención de este ensayo destructivo, realizado a las 6 probetas del estudio, 3 con la técnica de soldadura SMAW y 3 con la técnica de soldadura GMAW, tiene como fin realizar una evaluación a las propiedades mecánicas de los especímenes frente la aplicación de cargas, tomando en cuenta la norma AWS B4.0:2007, en donde conforme a la misma y a los parámetros preestablecidos, se procede a colocar los especímenes en la máquina utilizada para este ensayo de estudios, tal como se visualiza en la figura 25.



Figura 25. Puesta en máquina del espécimen

Este estudio de resultados se hará a través de la recopilación de valores arrojados por parte del software de la máquina universal, además de la ejecución de un análisis esfuerzo - deformación que nos permitirá dar realcé a los resultados obtenidos.

A través de un análisis de datos se puede determinar el procedimiento de soldadura óptimo, dirigido hacia Carrocerías Reinoso para la fabricación de frentes de carrocerías metálicas de autobuses.

En primer lugar, se procede a realizar el cálculo del esfuerzo de cedencia, que nos permite visualizar la capacidad que tiene el material de resistir cargas previo a su deformación permanente. El cálculo se lo realiza mediante la ecuación 1, los resultados se muestran en la tabla 7.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad [25]$$

Donde:

F_c: Es la fuerza máxima de cedencia.

A: Es el área transversal del material. [25]

Tabla 16. Resultados del esfuerzo de cedencia, técnica de Soldadura SMAW

Probeta	Fuerza de Cedencia (N)	A (mm²)	Esfuerzo cedencia (MPa)
1	14930.58	60	248.84
2	14526.60	60	242.11
3	13500.60	60	225.01
4	14461.20	60	241.02
5	14409.60	60	240.16
Media	14365.61	60	239.43

La tabla 8 presenta los resultados del esfuerzo de cedencia para la técnica de soldadura SMAW. Estos datos reflejan las propiedades mecánicas obtenidas durante el ensayo experimental.

Tabla 17. Resultados del esfuerzo de cedencia, técnica de Soldadura GMAW

Probeta	Fuerza de Cedencia (N)	A (mm²)	Esfuerzo cedencia (MPa)
1	13862.40	60	231.09
2	13864.20	60	231.07
3	13801.20	60	230.02
4	13793.40	60	229.89
5	13861.20	60	231.02
Media	13836.48	60	230.61

Al haber calculado las medias de los valores obtenidos del ensayo de tensión a los especímenes tanto de la técnica de soldadura SMAW como GMAW se procede a comparar las mismas en la tabla 9.

Tabla 18. Divergencia de resultados del cálculo esfuerzo de cedencia

Técnica	Fuerza de Cedencia (N)	Esfuerzo cedencia (MPa)
SMAW	14365.61	239.43
GMAW	13836.60	230.61
Divergencia	529.01	8.82

Así mismo es importante evaluar en los ensayos de tensión el esfuerzo máximo, ya que este nos indica la máxima resistencia que puede resistir el material soldado antes de fracturarse, lo cual es fundamental para garantizar la integridad estructural, este parámetro se lo puede calcular mediante la ecuación 2, y los resultados se pueden visualizar en la tabla 10.

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} \quad [25]$$

Donde:

Fmax: Esfuerzo máximo soportado por el material

A: Es el área transversal del material. [25]

Tabla 10. Resultados del esfuerzo máximo, técnica de Soldadura SMAW

Probeta	Fuerza máxima (N)	A (mm²)	Esfuerzo máximo (MPa)
1	18242.82	60	304.07
2	17045.89	60	284.09
3	17499.90	60	291.66
4	18195.00	60	303.25
5	18114.00	60	301.90
Media	17819.52	60	296.98

La tabla 11 muestra los resultados del esfuerzo máximo para la técnica de soldadura GMAW. Estos valores destacan el rendimiento mecánico obtenido durante las pruebas experimentales.

Tabla 11. Resultados del esfuerzo máximo, técnica de Soldadura GMAW

Probeta	Fuerza máxima (N)	A (mm²)	Esfuerzo máximo (MPa)
1	17842.98	60	297.33
2	17961.65	60	299.36
3	17664.99	60	294.41
4	17923.80	60	298.73
5	18541.20	60	308.02
Media	17986.92	60	299.03

Al haber calculado las medias los valores del esfuerzo máximo, tanto de la técnica de soldadura SMAW como GMAW se procede a comparar las mismas en la tabla 12.

Tabla 12. Comparación de la media de resultados obtenidos del cálculo esfuerzo máximo

Técnica	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)
SMAW	17819.52	296.98
GMAW	17986.92	299.03
Divergencia	164.40	2.05

El cálculo del desplazamiento nos permite evaluar la capacidad de los especímenes de absorber deformaciones antes de alcanzar su límite de ruptura, por ende, su capacidad para mantener su integridad estructural, este se lo calcula mediante la ecuación 3, y se lo puede observar en la tabla 13 y 14.

$$(3) \delta = \varepsilon \cdot L_c \quad [25]$$

Donde:

Lc: Longitud calibrada de la probeta

ε : Deformación unitaria [25]

Tabla 13. Resultados del desplazamiento, técnica de soldadura SMAW

Probeta	Longitud de la probeta (mm)	Deformación unitaria (ϵ)	Desplazamiento (mm)
1	80	0.0610	4.885
2	80	0.0660	5.281
3	80	0.0620	4.967
4	80	0.0620	4.960
5	80	0.0620	4.960
Media	80	0.0626	5.01

La tabla 14 detalla los resultados del desplazamiento para la técnica de soldadura GMAW. Esta tabla ilustra cómo el material se comportó bajo las condiciones de carga durante los ensayos.

Tabla 14. Resultados del desplazamiento, técnica de soldadura GMAW

Probeta	Longitud de la probeta (mm)	Deformación unitaria (ϵ)	Desplazamiento (mm)
1	80	0.071	5.68
2	80	0.072	5.76
3	80	0.069	5.52
4	80	0.068	5.44
5	80	0.072	5.76
Media	80	0.070	5.63

Al haber realizado las medias de los resultados del cálculo de desplazamiento, en las probetas tanto de la técnica de soldadura SMAW como GMAW se procede a comparar los resultados de estas, en la tabla 15.

Tabla 15. Comparación de la media de resultados obtenidos del cálculo esfuerzo máximo

Técnica	Deformación unitaria (ϵ)	Desplazamiento (mm)
SMAW	0.063	5.0
GMAW	0.070	5.63
Divergencia	0.007	0.63

La representación gráfica de los datos expuestos anteriormente proporciona una visualización detallada de como el material responde a diferentes niveles de carga, permitiendo una evaluación precisa de su comportamiento elástico, plástico y de su resistencia a la fractura. Aquí tienes dos líneas para presentar la figura:

La figura 26 ilustra el diagrama esfuerzo-deformación para el espécimen SMAW 1. Este gráfico muestra la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación experimentada durante el ensayo.

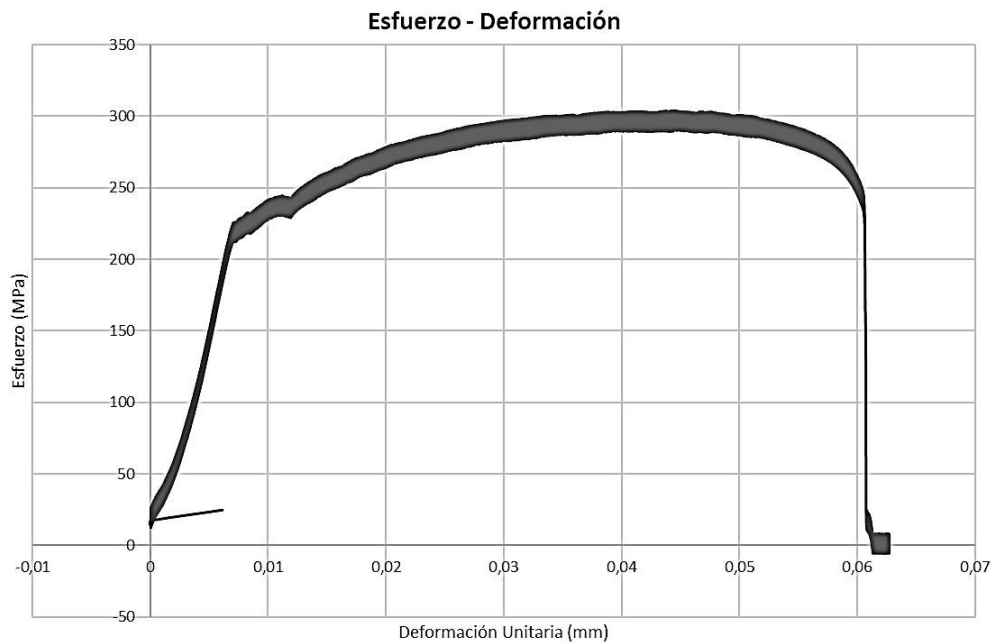


Figura 26. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 1

La figura 27 presenta el diagrama esfuerzo-deformación para el espécimen SMAW 2. Este gráfico proporciona una visión detallada del comportamiento mecánico del espécimen bajo carga, revelando la relación entre el esfuerzo y la deformación.

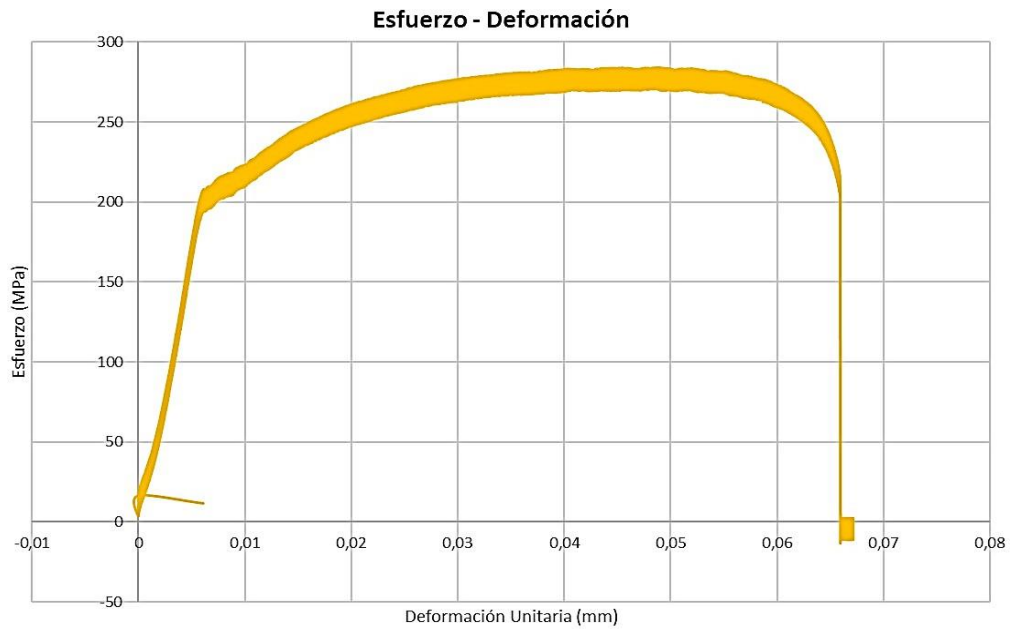


Figura 27. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 2

La figura 28 muestra el diagrama esfuerzo-deformación del espécimen SMAW 3, destacando su comportamiento bajo carga.

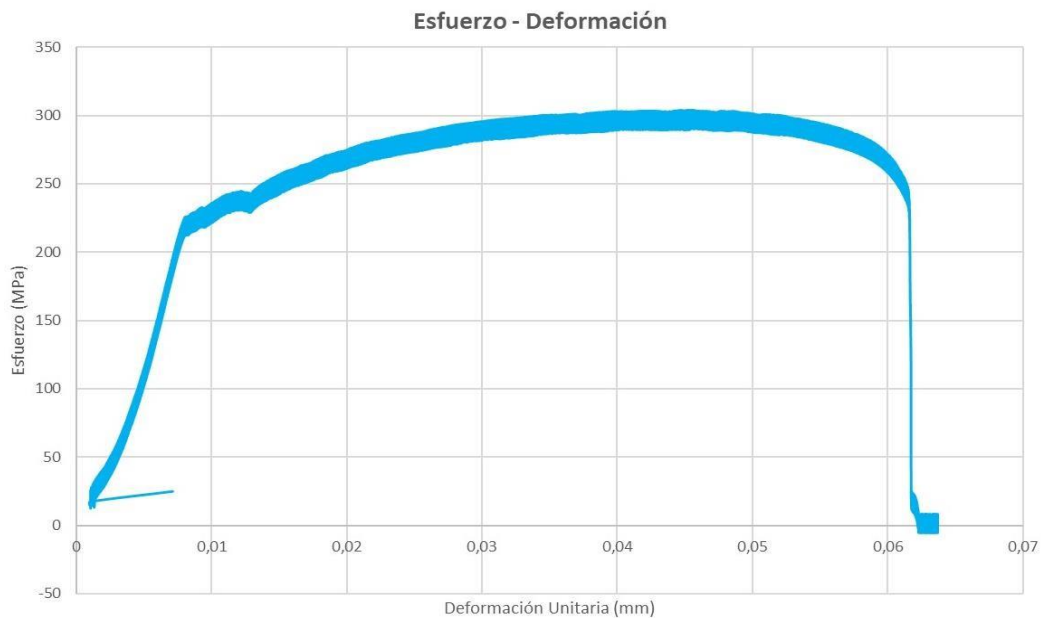


Figura 28. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 3

La figura 29 ilustra el diagrama esfuerzo-deformación para el espécimen SMAW 4, resaltando su respuesta mecánica durante el ensayo.



Figura 29. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 4

La figura 30 presenta el diagrama esfuerzo-deformación del espécimen SMAW 5, mostrando su desempeño bajo las condiciones de prueba.

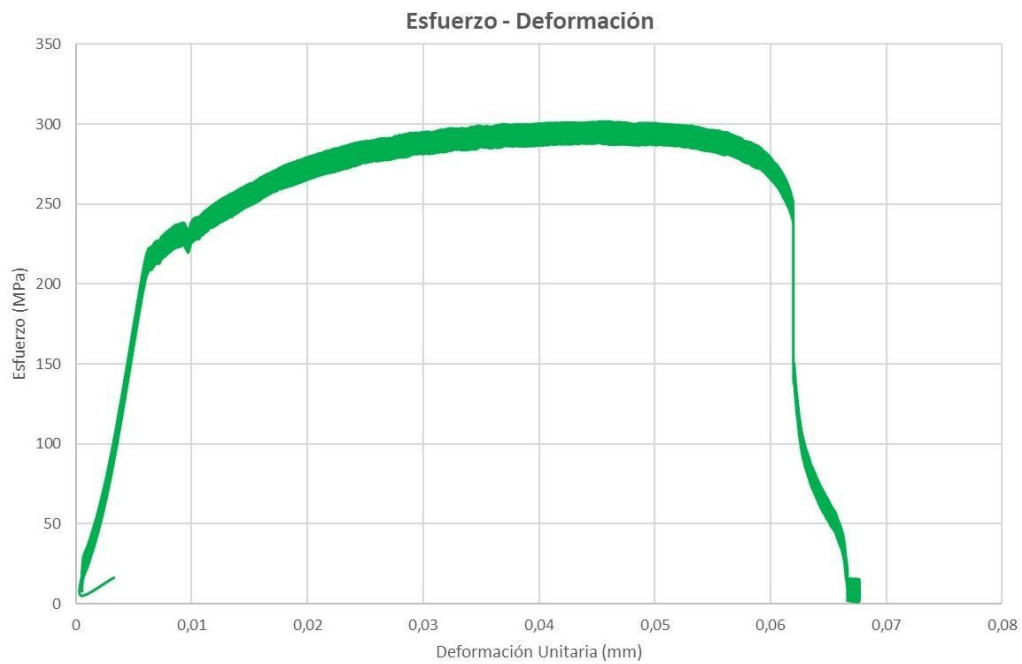


Figura 30. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen SMAW 5

La figura 31 muestra el diagrama esfuerzo-deformación para el espécimen GMAW 1, introduciendo los resultados obtenidos para esta técnica de soldadura. Este gráfico ilustra el comportamiento del material bajo carga en el ensayo GMAW.

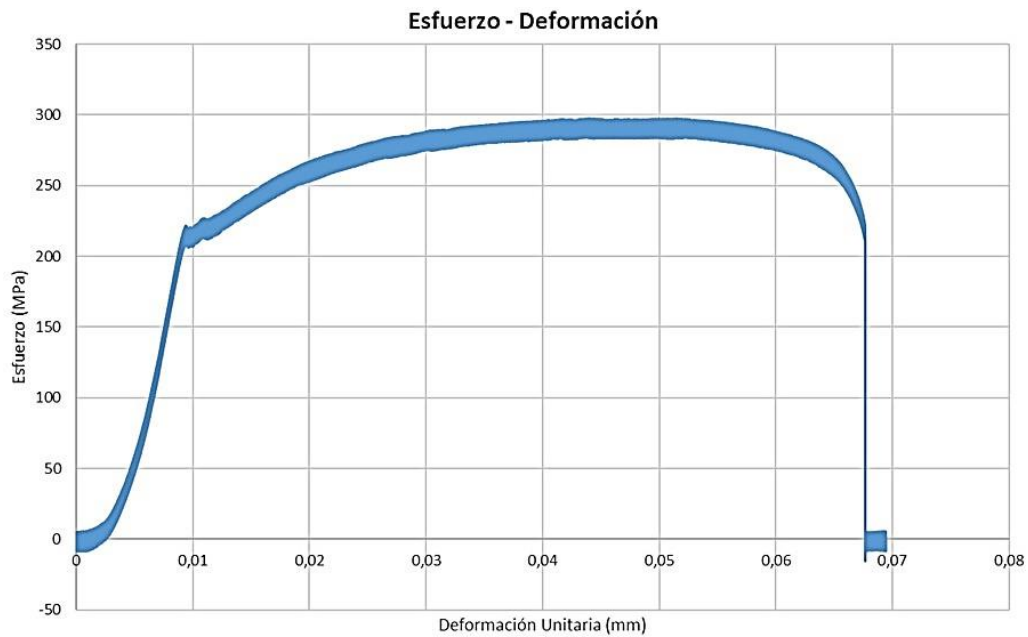


Figura 31. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 1

La figura 32 muestra el diagrama esfuerzo-deformación para el espécimen GMAW 2, destacando el rendimiento del material bajo condiciones de carga para la técnica de soldadura GMAW.

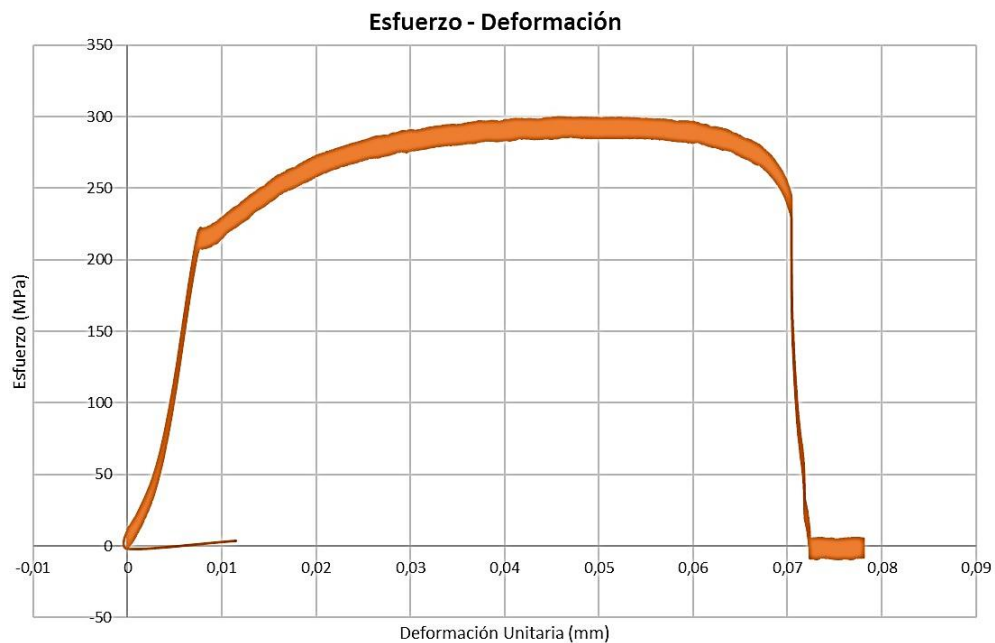


Figura 32. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 2

La figura 33 presenta el diagrama esfuerzo-deformación para el espécimen GMAW 3, evidenciando su comportamiento mecánico durante el ensayo con la técnica GMAW.

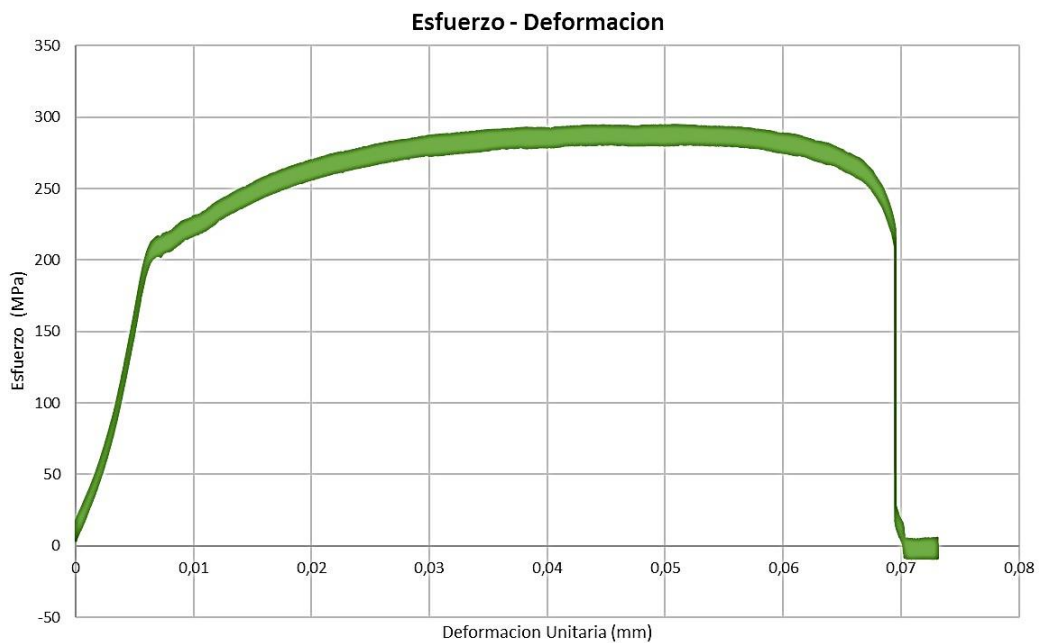


Figura 33. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 3

La figura 34 ilustra el diagrama esfuerzo-deformación del espécimen GMAW 4, reflejando su desempeño mecánico bajo las pruebas realizadas con la técnica GMAW.

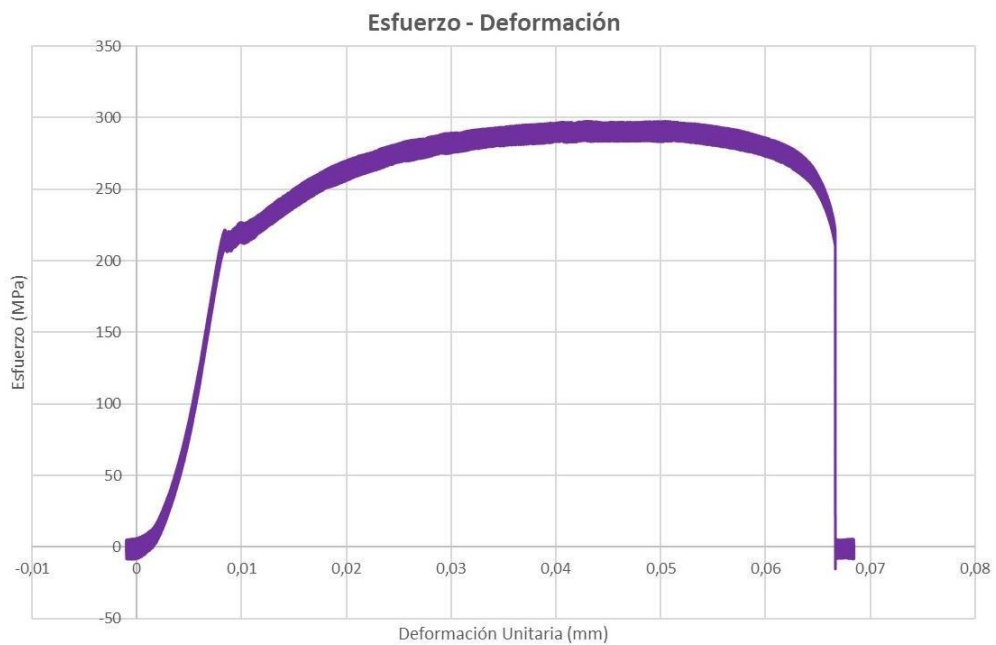


Figura 34. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 4

La figura 35 muestra el diagrama esfuerzo-deformación para el espécimen GMAW 5, ilustrando su comportamiento mecánico bajo el ensayo con la técnica de soldadura GMAW.

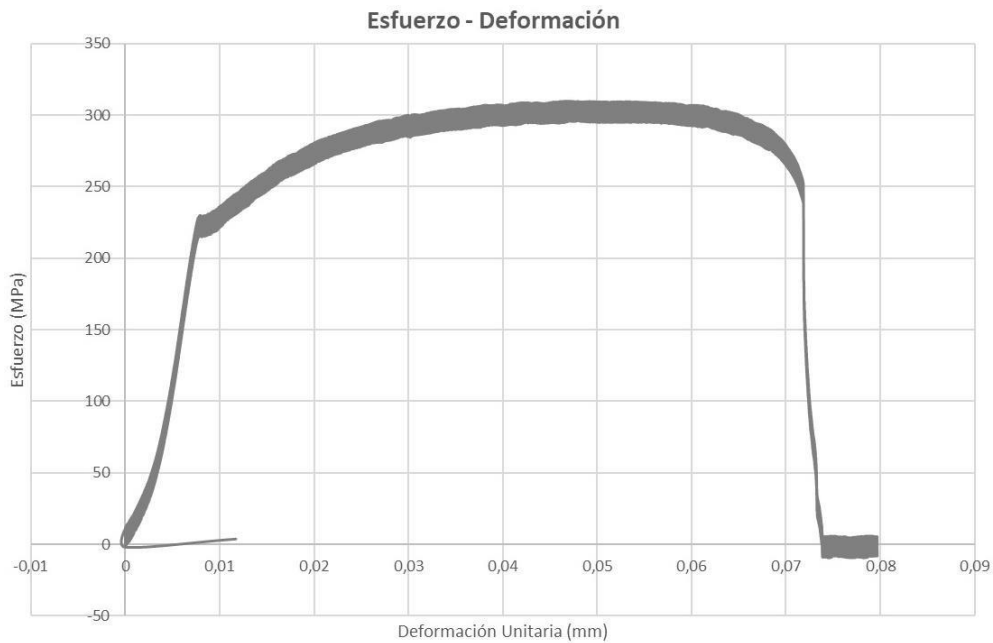


Figura 35. Diagrama esfuerzo- deformación espécimen GMAW 5

Una vez expuestas las gráficas y mostrando su origen, procedemos a realizar una recopilación de estas, separándolas de acuerdo con su origen de soldadura, expuestas la figura 36 para los especímenes SMAW.

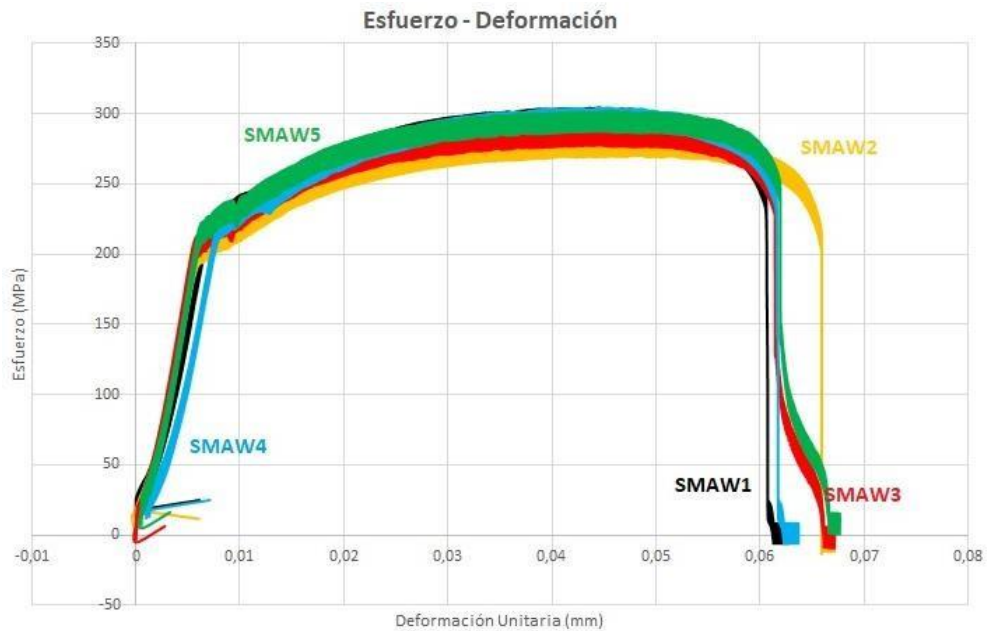


Figura 36. Diagrama esfuerzo- deformación agrupación SMAW

En la figura 37 para los especímenes GMAW. En donde es posible visualizar los diferentes comportamientos de cada una de las muestras.

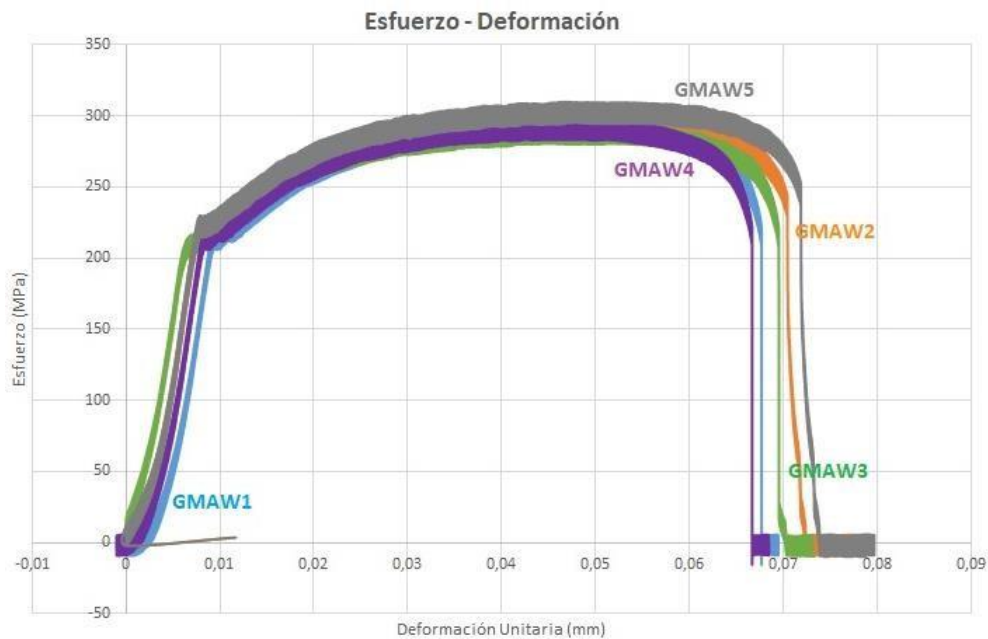


Figura 37. Diagrama esfuerzo - deformación agrupación GMAW

El análisis de los resultados obtenidos mediante los diagramas esfuerzo deformación, han podido develar una disminución en las propiedades mecánicas de los materiales soldados, mediante los procesos SMAW y GMAW.

Específicamente, se observó una reducción del 26.67 % en el proceso SMAW, y 26.16 % con el proceso GMAW, con respecto a el esfuerzo máximo original que tiene el acero ASTM A500. Además, existe una variación en el esfuerzo de cedencia, teniendo valores en SMAW con el 25.18 % y para el proceso GMAW con el 27.99 %, con respecto al valor original del acero en condiciones normales, no obstante el proceso de soldadura GMAW sigue presentando una tendencia mayor con respecto a SMAW en relación a la deformación unitaria total, que abarca todas las zonas en las que el material sufre transformaciones, teniendo esta, una diferencia de desplazamiento con 0.62 mm más, frente a el proceso de soldadura SMAW.

Esta tendencia a la baja de las propiedades mecánicas del material, están en concordancia Kou, [31] señalando que este tipo de disminuciones se deben a el proceso de soldadura aplicado sobre el metal base y que tiene un grado de variabilidad de acuerdo con cada proceso empleado, esta afectación se da principalmente en las zonas afectadas por el

calor, produciendo así cambios microestructurales y la introducción de tensiones residuales.

Es importante enfatizar que, si bien los dos procesos no tienen una variación significativa dentro de los procesos evaluados, GMAW se presenta como el más idóneo para continuar con la producción de buses dentro de Carrocerías Reinoso, ya que presenta un menor porcentaje de reducción en el esfuerzo máximo, el mismo que determina la resistencia estructural ante cargas, como las colisiones, además de presentar una tendencia menor a la variabilidad de datos, evidenciando así la homogeneidad característica en este proceso, esta técnica de soldadura tiene un proceso de producción más controlado, además de una mayor uniformidad en la calidad del cordón soldadura.

Es por todo lo ya descrito que GMAW proporciona un mejor rendimiento en términos de esfuerzo y calidad estructural, siendo el método más adecuado para este tipo de aplicaciones.

3.5. Análisis de factibilidad financiera

Al haber expuesto los resultados del análisis destructivo de las probetas se procede a realizar una comparación de los costos y gastos relacionados con la implementación de cada uno de los procesos para compararlos y establecer las ventajas de cada uno, como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Comparación de Costos SMAW vs GMAW mensual

Insumos	SMAW			GMAW		
	Cantidad	Costo	Total	Cantidad	Costo	Total
Alambre	-	-	-	40	USD. 3,00	USD.120,00
Electrodos	35	USD. 7,00	USD. 245,00	-	-	-
Recarga Tanque CO2	-	-	-	1	USD. 27,50	USD.385,00
Servicio de Electricidad	1	USD. 100,00	USD. 100, 00	1	USD. 85,00	USD. 85,00
Mano de Obra						
Técnicos	1	USD. 600,00	USD. 600,00	1	USD. 600,00	USD.600,00
Operadores	2	USD. 460,00	USD. 920,00	2	USD. 460,00	USD. 920,00
Total			USD. 1.865.00	Total		USD. 2110,00

Nota. Se exponen los costos relacionados con el uso de los dos tipos de soldadura para la fabricación de frentes de carrocería metálica para buses urbanos, información proporcionada por Carrocerías Reinoso, expuesto en el anexo13.

Para el análisis financiero se consideraron la diferenciación en el uso de insumos y los requerimientos de mano de obra enfatizando la producción promedio mensual de la empresa Carrocerías Metálicas “Reinoso”, en donde, se destaca que, cuentan con los insumos para aplicar cualquiera de los dos métodos, no obstante, en el caso de GMAW se evidencia mayor costo mensual en el proceso de producción delimitándose a la capacidad actual de fabricación.

Conforme a lo expuesto se tiene una diferencia de 245 USD. en los costos mensuales, en donde, la técnica SMAW resulta más factible para la empresa Carrocerías Metálicas “Reinoso” en el ámbito financiero dado que emana una menor inversión en los costos y gastos de insumos, a pesar de tener un costo de mano de obra requerida es similar,

3.5.1. Propuesta de mejora

A partir de los resultados expuesto se expone que ambas técnicas de soldadura cumplen con los requerimientos técnicos de la normativa vigente tanto AWS como la regulación de Tránsito Nacional, sin embargo, existen aspectos que requieren de atención oportuna y procesos de monitoreo y control para medir indicadores de productividad y rendimiento favoreciendo la toma de decisiones e innovación en los procedimientos desarrollados, por ende, la propuesta de mejora se centra en los siguientes parámetros:

- Mejora de Parámetros de soldadura
- Actualización y Mantenimiento de Equipos
- Capacitación y certificación de Soldadores
- Mejora de los Materiales y Procedimientos
- Evaluación y Control de Calidad
- Gestión de Costos y Eficiencia Operativa

Los ítems expuestos deben integrarse en la planificación de la empresa como parte de su propuesta de mejora constante permitiéndoles consolidar registros históricos de sus estándares en la fabricación de frentes de carrocería metálica permitiendo incrementar la fidelidad de los clientes y disminuir las posibles devoluciones o reclamos.

Del mismo modo, al gestionar de forma efectiva los procesos y optimizar los recursos con los que se cuenta el tiempo aplicado a la ejecución de procedimientos disminuye de forma secuencial a través de la experiencia y erradicación de tiempos muertos o similares, de tal

manera incrementan la capacidad de producción y como consecuencia de ello favorecer los indicadores de competitividad.

3.5.2. Mejora de parámetros de soldadura

Los parámetros de soldadura son un aspecto importante de la estructura de los frentes de carrocería metálica de tal forma se requiere que la empresa se encuentre en constante seguimiento de los parámetros utilizados, así como de la innovación de los equipos y técnicas integradas acorde a las necesidades de los clientes en la Tabla 16 se expone la revisión y ajuste de parámetros.

Tabla 16. *Revisión y Ajuste de Parámetros*

Parámetro	Detalles
Amperaje y Voltaje	<ul style="list-style-type: none"> - Ajuste de Valores - Penetración adecuada - Defectos de Soldadura
Velocidad de avance	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer velocidad de avance - Sobrecalentamiento de equipos y máquinas - Soldadura Uniforme

Los detalles expuestos deben considerarse con la intención de aprobar con los requerimientos de la norma técnica AWS, así como con la gestión de los procesos establecidos por la empresa, por otra parte, también se tiene la prueba piloto en las cuales se combinen parámetros para identificar las configuraciones con mayor eficiencia y resistencia.

3.5.3. Actualización y mantenimiento de equipos

El cuidado de los equipos mediante mantenimientos preventivos, así como la innovación de estos, derivado de los requerimientos de los compradores y las tendencias del mercado se torna una necesidad para mejorar la competitividad. productividad y calidad de la empresa, a través de dos ítems principales como se puede ver en la tabla 17.

Tabla 17. Actualización y Mantenimiento de Equipos

Ítem	Parámetro	Detalle
Tecnología Avanzada	Equipo	- Adquirir
		- Controlar
		- Innovación
	Sistema de Monitoreo	- Supervisión - Monitoreo - Control
Mantenimiento	Prevención y gestión	- Revisión
		- Optimización
		- Mantenimiento periódico

3.5.4. Capacitación y certificación de soldadores

El personal a cargo del proceso de fabricación de los frentes de carrocerías metálicas debe contar con los conocimientos, aptitudes, habilidades y destrezas que les provean de la confiabilidad idónea para ejecutar los procedimientos de soldadura que permitan un producto con calidad que cumpla con las especificaciones del mercado, se ha considerado la capacitación como punto clave de mejora tal como se puede ver en la tabla 18.

Tabla 18. Capacitación y Certificación de Soldadores

Ítem	Detalles
Programa de Capacitación	- Técnicas avanzadas de Soldadura - Especificaciones Técnicas (WPS, WPQ, PQR)
Certificación de Soldadores	- Título de Tercer Nivel Técnico - Certificación AWS de Soldadura

3.5.5. *Materiales y procedimiento*

El uso de los diferentes materiales en el mercado debe ser analizados por la empresa con la finalidad de identificar aquellas que cumplen con las características técnicas requeridas para ser implementado en la fabricación de frentes de carrocerías metálicas de bus urbano, así como el análisis costo-beneficio en su implementación.

Del mismo modo, la documentación y estandarización de los procesos de soldadura son un aspecto importante, de allí, la necesidad de integrar matrices WPS, PQR y WPQR actualizados acorde a los anexos expuestos.

3.5.6. *Sistemas de control de calidad*

En Carrocerías Reinoso se requiere de normativas internas de control de calidad en donde se establezcan supervisión e inspecciones periódicas al trabajo ejecutado por el área operativa y de producción, en donde, se integren estrategias de análisis de datos para establecer tendencias, así como oportunidades de mejora en los procedimientos actuales, tal como se ve en la tabla 19.

Tabla 19. *Gestión de Costos y Eficiencia Operativa*

Ítem	Detalles
Análisis de Costos	<ul style="list-style-type: none">- Detalles de costos- Identificar costos y gastos innecesarios- Optimizar costos y mantener calidad
Optimización de Procesos	<ul style="list-style-type: none">- Estrategias de mejora continua- Optimización de procesos de producción- Reducción de desperdicios

Al gestionar la guía de costos de la empresa en la fabricación de frentes de carrocería metálica de bus urbano se pueden identificar ratios a través de los cuales se establezcan acciones de optimización, y del mismo definir los requerimientos de calidad para los proveedores.

3.6. Conclusiones capítulo III

Al aplicar el registro de documentación requerida en el estudio los resultados cuentan con el respaldo adecuado sobre su veracidad de tal manera tanto los soldadores como las técnicas de soldadura cumplieron con los requerimientos adecuados para cumplir la norma AWS posteriormente, el uso de la maquina universal para la aplicación de cargas y mediante ello, establecer la resistencia a la tensión de las probetas utilizadas.

CONCLUSIONES

La evaluación de las técnicas de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding) y GMAW (Gas Metal Arc Welding) en la fabricación de frentes de carrocería tipo G8 en el taller de Carrocerías Metálicas Reinoso ha permitido identificar las propiedades mecánicas de ambos métodos en términos de resistencia estructural. Los ensayos destructivos realizados en las juntas soldadas de los frentes de carrocería tipo G8 revelaron que ambas técnicas presentan diferencias significativas en los valores de esfuerzo máximo. Se observó una reducción del 26.67 % en el esfuerzo máximo con el proceso SMAW y del 26.16 % con el proceso GMAW, en comparación con el esfuerzo máximo original del acero ASTM A500. Además, el esfuerzo de cedencia presentó una variación del 25.18 % para SMAW y del 27.99 % para GMAW con respecto al valor original del acero en condiciones normales. A pesar de estas reducciones, el proceso GMAW mostró una tendencia superior en términos de deformación unitaria, con un desplazamiento promedio de 0.62 mm mayor que el de SMAW, lo que influye en su capacidad de desplazamiento previo a la ruptura.

El proceso de fabricación de carrocerías urbanas tipo G8 se definió detalladamente, incorporando prácticas de soldadura que aseguran la integridad estructural y la calidad de las soldaduras. Se enfatizó las particularidades de los métodos SMAW y GMAW, destacando que la integración de estos métodos en el proceso de fabricación permite una mayor versatilidad y adaptabilidad en la producción, mejorando así la eficiencia operativa del taller. La comparación de los métodos expuso las ventajas y desventajas para la empresa, impactando directamente en la producción de buses urbanos tipo G8.

La realización y documentación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS, WPQ y PQR) para los frentes de carrocería tipo G8 garantizan que los procesos de soldadura cumplan con los estándares de alta calidad y seguridad requeridos. Estas especificaciones proporcionan una guía clara para los soldadores, asegurando la repetibilidad y consistencia en la fabricación de autobuses.

En cuanto a la fabricación y los costos asociados, los análisis muestran que, aunque el proceso GMAW conlleva un mayor costo, esta técnica se integra mejor a nivel industrial, contribuyendo a la optimización de parámetros de soldadura, innovación tecnológica y la capacitación periódica del personal.

El análisis financiero denota que, a pesar del mayor costo inicial de GMAW, esta técnica ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia y calidad en la producción.

RECOMENDACIONES

Como se pudo evidenciar a lo largo del ensayo, las propiedades mecánicas del material base tienden a disminuir en consecuencia de la aplicación de los procesos de soldadura, es por ello por lo que es importante proponer un estudio de la microestructura del material, luego de la aplicación de las técnicas de soldadura, a través de ensayos de metalografía. Se recomienda a Carrocerías Reinoso adoptar los métodos de estandarización de las técnicas de soldadura, (WPS, WPQ, PQR), ya que al hacerlo se disminuirán la cantidad de defectos provocados por la unión juntas soldadas.

Al implementar las técnicas expuestas anteriormente, se puede lograr un método de estandarización del producto, siendo este la fabricación de buses, garantizando así una alta eficiencia, seguridad y calidad, que le permitirán destacar dentro de la industria carrocera ecuatoriana.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- AWS (American Welding Society): Organización que establece estándares y certificaciones para la soldadura y procesos de unión.
- Acero ASTM A500: Tipo de acero estructural utilizado comúnmente en la fabricación de tubos estructurales y carrocerías de vehículos.
- Carrocería: Estructura externa de un vehículo, como un autobús, que proporciona soporte estructural y protección.
- Corriente Continua (DC): Tipo de corriente eléctrica utilizada en algunos procesos de soldadura que fluye en una sola dirección.
- Corriente Alterna (AC): Tipo de corriente eléctrica que cambia de dirección periódicamente, utilizada en algunos procesos de soldadura.
- Electrodo Revestido (SMAW): Proceso de soldadura manual que utiliza un electrodo consumible recubierto para crear el arco y depositar el material de soldadura.
- Electrodo Consumible: Tipo de electrodo que se funde durante el proceso de soldadura para formar parte del material de soldadura.
- GMAW (Gas Metal Arc Welding): Proceso de soldadura que utiliza un electrodo de alambre continuo y un gas protector para crear el arco y proteger la soldadura.
- Junta de Soldadura: Área donde dos piezas de metal se unirán mediante soldadura.
- Pase de Raíz: Primera pasada de soldadura que se realiza en una junta, fundamental para la integridad de la soldadura.
- Pase de Relleno: Pasadas adicionales de soldadura realizadas después del pase de raíz para llenar la junta y alcanzar la forma y tamaño deseados.
- Posición de Soldadura: Orientación de la junta de soldadura (horizontal, vertical, sobre cabeza) durante el proceso de soldadura.
- Precalentamiento: Calentamiento del material base antes de la soldadura para evitar agrietamiento y mejorar la calidad de la soldadura.
- Resistencia a la Tracción (Fu): Máxima resistencia que un material puede soportar antes de romperse.

- Resistencia a la Cedencia (F_y): Resistencia mínima de un material antes de deformarse permanentemente.
- Temperatura entre Pasadas: Temperatura mínima que se debe mantener entre pasadas de soldadura para evitar defectos y asegurar una buena calidad de soldadura.
- WPS (Welding Procedure Specification): Documento que describe los procedimientos y parámetros de soldadura necesarios para asegurar una soldadura de calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Moreta, «revista líderes,» redacción sierra centro, 2 agosto 2015. [en línea]. Available: <https://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-carroceras-buses-certificacion-agencia.html>. [último acceso: 7 mayo 2024].
- [2] A. Cruz-crespo, j. A. Pozo-morejón, e. Valencia-morales, i. De souza-bott y j. V. Miguel-oria, «comportamiento de la microestructura en la soldadura gmaw de aceros dúplex 2205 para aplicaciones mar adentro,» *minería y geología*, vol. 38, n° 2, 2022.
- [3] O. Castellanos, a. Moreno-uribe, s. Ramón-ramón y j. Jácome, «evaluación de la transferencia metálica y estabilidad del proceso gmaw,» *revista uis ingenierías*, vol. 20, n° 3, pp. 47-60, 2021.
- [4] W. Villarreal albitres, j. Vera pacherre y d. O. Panta carranza, «evaluación de resistencia a tracción y dureza de cordones de soldadura por proceso smaw y mig-mag,» *ucv hacer*, vol. 10, n° 2, pp. 97-80, 2021.
- [5] M. Rojas-nova, l. Calderon-vergel, a. Pertuz-comas y o. Bohorquez-becerra, «efecto de la velocidad de avance en procesos de soldadura por arco eléctrico usando el método de elementos finitos,» *ciencia en desarrollo*, vol. 12, n° 2, 2021.
- [6] C. H. Arroba-arroba y j. D. Pérez-salazar, « estudio del proceso de soldadura smaw con electrodo e4043 aplicado en la aleación de aluminio 6005-t6 y su efecto en las propiedades mecánicas de la junta a tope soldada del marco de la ventana del bus en carrocerías imce,» universidad técnica de ambato, ambato, 2015.
- [7] Maquinas y Herramientas, «¿Qué es la Soldadura SMAW?,» De Maquinas y Herramientas, 7 julio 2013. [En línea]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>.

- [8] J. Pérez-cepeda y j. Olaya-flórez, «influencia del tipo de electrodo sobre la microestructura y el coeficiente de rozamiento obtenido por ensayo de deslizamiento a recubrimientos duros depositados por soldadura smaw,» *ingeniería*, 2018.
- [9] E. Luisa-mashabanda, «gestión de la producción para mejorar la calidad del producto en la empresa de carrocerías leman aplicando las normas nte inen 2205:2010,» universidad técnica de ambato, ambato, 2019.
- [10] A. Moreno-uribe, c. Romanelli-sales, p. Ribeiro-menezes y a. Queiroz-bracarense, «estudio de la corriente de transición en gmaw (mig/mag),» *ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 28, n° 3, pp. 528-539, 2020.
- [11] Soldadura y Estructuras, «SOLDADURA SMAW,» Soldadura y Estructuras, 11 febrero 2024. [En línea]. Available: <https://soldadurayestructuras.com/soldadura-smaw/>.
- [12] J. Rocha-Hoyos, A. Icaza-Lluglla, J. Martínez y C. Salazar-Castillo, «Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses,» *Dominio de las Ciencias*, vol. 5, n° 1, pp. 44-69, 2019.
- [13] M. Granja y V. Hidalgo, «Proceso de soldadura GMAW, para aceros ordinarios al carbón, aceros inoxidable y aluminio,» *Revista Politécnica*, 2013.
- [14] E. P. Jordán-Hidalgo y L. G. Bonilla-Borja, «Reingeniería del proceso de fabricación de carrocerías bus tipo ca.po.li ix tree en la Empresa Mega Santa Cruz,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [15] C. Ramos-Galarza, «Diseños de Investigación Experimental,» *Ciencia América*, vol. 10, n° 1, pp. 1-17, 2021.
- [16] INEN, «Norma Técnica Ecuatoriana,» Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.
- [17] American National Standard, «Specification for Automotive Weld Quality— Arc Welding of Steel/AWS D8.8,» American Welding Society (AWS) D8 Committee on Automotive Welding, 2020.

- [18] American National Standard, «Specification for Automotive Weld Quality— Arc Welding of Aluminum/ AWS D8.14,» American Welding Society (AWS) D8 Committee on Automotive Welding, 2017.
- [19] American National Standard, «Structural Welding Code— Sheet Steel/ AWS D1.3,» American Welding Society (AWS) D1 Committee on Structural Welding, 2007.
- [20] American National Standard, «Structural Welding Code—Aluminum/ AWS D1.2/D1.2M:2008,» American Welding Society (AWS) D1 Committee on Structural Welding, 2008.
- [21] American National Standard, «Structural Welding Code-Stainless Steel,» American Welding Society (AWS) D1 Committee on Structural Welding, 2017.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos NTE INEN 1 323:2009,» INEN, Quito, 2009.
- [23] J. Cona-Guzmán, «Ensayos Destructivos y No Destructivos de Probetas de Acero Soldadas con Electrodo Revestido,» Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2005.
- [24] American Institute of Steel Construction, «Especificación para Construcciones de Acero,» American Institute of Steel Construction, EEUU, 2016.
- [25] American Association of State Highway and Transportation Officials, «Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials,» Highway and Transportation Officials Standard, 2011.
- [26] American National Standards Institute, «Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras AWS B4.0:2007,» Comité B4 de Ensayos Mecánicos de las Soldaduras de la AWS, 2007.
- [27] P. Ringegni, «Mecanismos y Elementos de Máquinas,» UNLP, Argentina, 2013.

- [28] Grupo Infra, «PORTAELECTRODO 300 A,» 2024. [En línea]. Available: <https://grupoinfra.com/pagina/producto/796/PORTAELECTRODO-300-A>.
- [29] Cromtek, «MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYO: ¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE?,» Cromtek, 19 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.cromtek.cl/2020/10/29/maquina-universal-de-ensayo-que-es-y-para-que-sirve/>.
- [30] *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines..* [Art]. ASTM E4-16 INTERNATIONAL., 2020.
- [31] S. Kou, *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, Inc., 2002.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz WPS (SMAW, GMAW)

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) CARROCERIAS				
REINOSO				
Nombre de la Empresa:				
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.:	PCR_105	Fecha:		No. :
Procesos de Soldadura:		Tipo:		

Uniones (QW-402)	
Diseño de la Unión	
Respaldo	
Material de Respaldo	
METAL(ES) BASE (QW - 403)	METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)
No. P: No. de Grupo: Hasta No. P: Espesores: Metal Base Bisel Filete:	No. Espec. (SFA):
	No. AWS (Clase):
	No. de Grupo:
	No. F:
	No. A:
	Tamaño del Electrodo:
	Metal de Soldadura depositado:
	Clasificación espesores:
	Fundente (Clase):
	Marca:
Inserto:	
Otros:	
POSICIONES (QW - 405)	
Posición de Junta	
Avance de la Soldadura:	
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDAURA (QW - 407)
Temperatura Mínima (°C): Máxima entre Pases (°C) Precalentamiento: Rango de Temperatura (°C): Tiempo Tratamiento (hrs):	
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)	
Corriente: DC+ (DCEP)	Polaridad Electrodo:
Heat input:	
Amperes (Rango):	
Voltios (Rango):	
Diám. y Tipo Elec. Tungst.:	
Tipo Transferencia Metal de Soldadura GMAW:	

Vel. Alim. Alamb. Elect.:	
Técnica (QW - 410)	
Cordón Recto o con oscilación:	Tejido estrecho
Limp. Inicial y entre Pases:	
Diám. Orificio o Copa Gas:	
Pase Sencillo o Múltiple:	Múltiple
Elect. Sencillo o Múltiple:	Sencillo
Velocid Recorrido (Límite):	
Martillado:	
Otros:	
Elaborado por:	
Fecha:	

Anexo 2. MATRIZ PQR (SMAW, GMAW)

PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADURA (PQR)		CARROCERIAS REINOSO
Referencia		
Nombre de la Empresa		
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.		
Fecha		
No.		
Procesos de Soldadura		
Tipo		
Uniones (QW-402)	Detalles	
Diseño de la Unión		
Respaldo		
Material de Respaldo		
METAL(ES) BASE (QW - 403)	METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)	
No. P:	No. Espec. (SFA):	
No. de Grupo:	No. AWS (Clase):	
Hasta No. P:	Tamaño del Electrodo:	
Espesores:	Metal de Soldadura depositado:	
Metal Base Bisel:	Clasificación espesores:	
Filete:	Fundente (Clase):	
	Marca:	
	Inserto:	
	Otros:	
POSICIONES (QW - 405)		Detalles
Posición de Junta:		
Avance de la Soldadura:		
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDAURA (QW - 407)	
Temperatura Mínima (°C)	Si es necesario anexe gráfica control de Temperatura:	
Máxima entre Pases (°C):	Rango de Temperatura (°C):	
Precalentamiento:	Tiempo Tratamiento (h):	
GAS (QW - 408)	Detalles	
GAS:		
Mezcla:		
Flujo:		
Cámara:		
Respaldo:		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)		Detalles
Corriente:		
Polaridad Electrodo:		
Heat input:		
Amperes (Rango):		
Voltios (Rango): 28V		
Diám. y Tipo Elec. Tungst.:		

Tipo Transferencia Metal de Soldadura GMAW:		
Vel. Alim. Alamb. Elect.: 300 in/min		
PRUEBAS MECÁNICAS (QW-410)		Detalles
Tensión:		
Doblado:		
Impacto:		
Otros:		
RESULTADOS (QW-411)	Detalles	
Pruebas Químicas:		
Pruebas Mecánicas:		
Pruebas de Doblado:		
Pruebas de Impacto:		
Otros:		

Ensayo de rotura penetración de la raíz __ No _____ Macrografía __ NO

Ensayo dirigido por _____ Informe No _____ Fecha _____

RESULTADOS EN EL ENSAYO DE RADIOGRAFÍA

Identificación película	Resultados	Comentarios	Identificación película	Resultados	Comentarios

Interpretado por NA _____ Informe No NA _____ Fecha _____
 _____ NA _____

CARROCERIAS REINOSO	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR (WPQ) _Cupón de prueba _Soldadura de producción	
--------------------------------	--	--

Nombre del soldador		Sello
No de cedula:	Fecha de Calificación	

WPS Utilizado:	Revisión
Proceso de soldadura	Tipo
Modo de Transferencia para GMAW	

VARIABLES	VALORES ACTUALES	RANGO CALIFICADO
Proceso / Tipo		
Junta		
Tipo de junta		
Tipo de material de respaldo		
Ranura soldada desde Un lado o dos lados		
Material Base (4.7.1.1)		
Especificación - Plancha de acero		
Miembro estructural		
Espesor de la plancha - Ranura		
- Flete		
- Tapón (smaw)		
- Punto (smaw)		

- Costura (smaw)		
Recubrimiento		
- Tipo		
- Espesor		
Posición (4.7.1.5 y 4.7.1.6)		
- Ranura		
- Flete		
- Tapón (smaw)		
- Punto (smaw)		
- Costura (smaw)		
- Progresión		
Gas		
Electrodo		
Tamaño		
Designación de grupo		
RESULTADO DE PRUEBAS		
INSPECCION VISUAL		
Espécimen JC 3G	Espécimen JC2 3G	
Apariencia Uniforme	Apariencia Uniforme	
Fisuras NO	Fisuras NO	
Mordedura NO	Mordedura NO	
Escoria/poros NO	Escoria/poros NO	
Refuerzo 1.0 mm	Refuerzo 1.2 mm	
Dimensión No se rompió	Dimensión No se rompió	

Anexo 4. Procedimiento de soldadura WPS (SMAW, GMAW)

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)				
CARROCERIAS				
REINOSO				
Nombre de la Empresa:	Carrocerías Reinoso			
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.:	PCR_105	Fecha:	16/5/2024	No. :
Procesos de Soldadura:	SMAW	Tipo:	Manual	

Uniones (QW-402)	
Diseño de la Unión	Unión a tope y filete
Respaldo	No
Material de Respaldo	ANSNAWS A5.1
METAL(ES) BASE (QW - 403)	METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)
No. P: QSME 340 No. de Grupo: 10140-2 Hasta No. P: 420-510 Mpa Espesores: Metal Base Bisel Filete:	No. Espec. (SFA): AWS A5.1
	No. AWS (Clase): E7018
	No. de Grupo: 1
	No. F: 1
	No. A: 1
	Tamaño del Electrodo: 1/8" (3.2 mm)
	Metal de Soldadura depositado: AWS5.1
	Clasificación espesores: QW-451.1
	Fundente (Clase): AWS A5.17
	Marca: AWS A5.1
Inserto: AWS A5.1	
Otros: ND	
POSICIONES (QW - 405)	
Posición de Junta	1G (Flat)
Avance de la Soldadura:	2 a 3 cm/min
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDAURA (QW - 407)
Temperatura Mínima (°C): 150°C Máxima entre Pases (°C): 150°C a 200°C Pre calentamiento: 50°C a 100°C Rango de Temperatura (°C): 150°C a 300°C Tiempo Tratamiento (hora): 1	
Elaborado por:	
Corriente: DC+ (DCEP)	Polaridad Electrodo:
Heat input:	Kj/mm
Amperes (Rango):	150 ^a
Voltios (Rango):	24V
Diám. y Tipo Elec. Tungst.:	1.5mm

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

CARROCERIAS

REINOSO

Nombre de la Empresa:	Carrocerías Reinoso		
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.:	PCR_106	Fecha:	No .:
Procesos de Soldadura:	GMAW	Tipo:	Manual
Tipo Transferencia Metal de Soldadura GMAW:	Pulso		
Vel. Alim. Alamb. Elect.:	5-15 m/min		
Técnica (QW - 410)	-		
Cordón Recto o con oscilación:	Tejido estrecho		
Limp. Inicial y entre Pases:	Según preparación		
Diám. Orificio o Copa Gas:	15 mm		
Pase Sencillo o Múltiple:	Múltiple		
Elect. Sencillo o Múltiple:	Sencillo		
Velocid Recorrido (Límite):	25 cm/min		
Martillado:	No aplica		
Otros:	-		

Diseño de la Unión	Unión a tope y filete
Respaldo	No
Material de Respaldo	ANSNAWS A5.1
No. P	QSME 340
No. de Grupo	10140-2
Hasta No. P	420-510 Mpa
No. Espec. (SFA)	AWS A5.18
No. AWS (Clase)	ER70S-6
No. F	2 - 3 mm
No. A	3 - 5 mm
Tamaño del Electrodo	0.035" (0.9 mm)
Metal de Soldadura depositado	0.5 -5 kg/h
Clasificación espesores	Variable
Espesores	15 mm
Metal Base Bisel Filete	40-45 °C
Fundente (Clase)	Clase 1
Marca	Lincoln
Inserto	Alambre sólido
Otros	-
Posición de Junta	1G (Flat)
Avance de la Soldadura	ND
Temperatura Mínima (°C)	100
Máxima entre Pases (°C)	150°C
Pre calentamiento	Si
Si es necesario anexe gráfica control de Temperatura	
Rango de Temperatura (°C)	ND
Tiempo Tratamiento (hrs)	ND
GAS	75% Argón, 25% CO ₂

Mezcla	ND
Flujo	ND
Cámara	ND
Respaldo	ND
Corriente	DC+ (DCEP)
Polaridad Electrodo	+
Heat input	Kj/mm
Amperes (Rango)	200 ^a
Voltios (Rango)	28V
Diám. y Tipo Elec. Tungst.	ND
Tipo Transferencia Metal de Soldadura GMAW	
Vel. Alim. Alamb. Elect.	300 in/min
Cordón Recto o con oscilación	Tejido estrecho
Limp. Inicial y entre Pases	ND
Diám. Orificio o Copa Gas	ND
Pase Sencillo o Múltiple	Múltiple
Elect. Sencillo o Múltiple	Sencillo
Velocid Recorrido (Límite)	35 cm/ min
Martillado	-
Otros	-
Elaborado por:	-

Anexo 5. Registro de información en PQR (SMAW, GMAW)

PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADURA (PQR)		
Referencia:		(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME)
Nombre de la Empresa		Carrocerías Reinoso
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.		PCR_105
Fecha		16/5/2024
No.		(Por determinar)
Procesos de Soldadura		SMAW
Tipo		Manual
Uniones (QW-402)		Detalles
Diseño de la Unión		Unión a tope y filete
Respaldo		No
Material de Respaldo		ANSNAWS A5.1
METAL(ES) BASE (QW - 403)	METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)	
No. P: QSME 340	No. Espec. (SFA): AWS A5.1	
No. de Grupo: 10140-2	No. AWS (Clase): E7018	
Hasta No. P: 420-510 Mpa	Tamaño del Electrodo: 1/8" (3.2 mm)	
Espesores: 15mm	Metal de Soldadura depositado: 2.5 - 3.0	
Metal Base Bisel: 30 -45	Clasificación espesores:	
Filete: 4 mm	Fundente (Clase): Clase 1	
	Marca: AWS A5.1	
	Inserto:	
	Otros:	
POSICIONES (QW - 405)		
Posición de Junta: 1G (Flat)		
Avance de la Soldadura: 20cm/min		
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDAURA (QW - 407)	
Temperatura Mínima (°C): 150°C		
Máxima entre Pases (°C): 250°C	Rango de Temperatura (°C): 150°C -300°C	
Pre calentamiento: 100°C	Tiempo Tratamiento (hrs): 1	
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)		
Corriente: DC+ (DCEP)		
Polaridad Electrodo:		
Heat input: Kj/mm		
Amperes (Rango): 150A		
Voltios (Rango): 24V		
Diám. y Tipo Elec. Tungst.:		
Tipo Transferencia Metal de Soldadura GMAW:		
Vel. Alim. Alamb. Elect.:		
PRUEBAS MECÁNICAS (QW-410)		Detalles

Tensión:	18000 N
Doblado:	-
Impacto:	-
Otros:	-

PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADURA (PQR)		
Referencia:	(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME)	
Nombre de la Empresa	Carrocerías Reinoso	
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.	PCR_106	
Fecha	16/5/2024	
No.	(Por determinar)	
Procesos de Soldadura	GMAW	
Tipo	Manual	
Uniones (QW-402)		Detalles
Diseño de la Unión		Unión a tope y filete
Respaldo		No
Material de Respaldo		ANSNAWS A5.1
METAL(ES) BASE (QW - 403)	METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)	
No. P: QSME 340	No. Espec. (SFA): AWS A5.18	
No. de Grupo: 10140-2	No. AWS (Clase): ER70S-6	
Hasta No. P: 420-510 Mpa	Tamaño del Electrodo: 0.035" (0.9 mm)	
Espesores:	Metal de Soldadura depositado:	
Metal Base Bisel:	Clasificación espesores:	
Filete:	Fundente (Clase):	
	Marca:	
	Inserto:	
	Otros:	
POSICIONES (QW - 405)		Detalles
Posición de Junta: 1G (Flat)		
Avance de la Soldadura:		
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDAURA (QW - 407)	
Temperatura Mínima (°C): 100°C	Si es necesario anexe gráfica control de Temperatura:	
Máxima entre Pases (°C):	Rango de Temperatura (°C):	
Precalentamiento:	Tiempo Tratamiento (hrs):	
GAS (QW - 408)		Detalles
GAS: 75% Argón, 25% CO ₂		
Mezcla: ND		
Flujo: ND		
Cámara: ND		
Respaldo: ND		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)		Detalles
Corriente: DC+ (DCEP)		

Polaridad Electrodo:	
Heat input: Kj/mm	
Amperes (Rango): 200A	
Voltios (Rango): 28V	
Diám. y Tipo Elec. Tungst.:	
Tipo Transferencia Metal de Soldadura GMAW:	
Vel. Alim. Alamb. Elect.: 300 in/min	
PRUEBAS MECÁNICAS (QW-410)	Detalles
Tensión:	18500 N
Doblado:	-
Impacto:	-
Otros:	-

Anexo 6. Registro de calificación de soldador WPQ (SMAW, GMAW)

CARROCERIAS REINOSO	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR (WPQ) _Cupón de prueba _Soldadura de producción	
--------------------------------	--	--

Compañía: Carrocerías Reinoso	Nombre del Soldador:	Estampe SWQ
Proyecto: Soldadura de F	Cedula No.	
WPS No.: WCR06	Fecha:	

VARIABLES	VALORES ACTUALES	RANGO CALIFICADO
Proceso / Tipo	SMAW/MANUAL	SMAW/MANUAL
Posición	3G	Ranura: Plana, horizontal y vertical Flete: Plana, horizontal y vertical
Respaldo (Si o No)	SI	Con requisito
Material Base Especificación	Q St 340 (S340 MC)	Cualquier permitido por AWS D1.1
Tipo	Placas	Placas y tubos de más de 600 mm de diámetro
Espesor	5.9 mm	Máximo 11.8 mm
Material de Aporte 1 Clase	E 7018 RH	Electrodos del grupo F4, F3, F2 y F1
Especificación	AWX A.5.1	AWX A.5.1 o 5.5
Espesor depositado	5.8 mm	Máximo 11.6 mm
Progresión	Ascendente	Ascendente
Gas / Fundente Gas de protección	N. A	N. A

**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS
INSPECCIÓN VISUAL (4.8.1) RANURA**

Apariencia _ Uniforme _____ Ancho cara ___ 14 mm. _____ Altura refuerzo _ 15-2.5 mm _____
 Fisuras ___ No _____ Mordeduras ___ Menores a 1,0 mm _____ Porosidad ___ No _____

RESULTADOS DEL ENSAYO EN EL FILETE

Apariencia _ NA _____ Tamaño del filete _ NO _____
 Ensayo de rotura penetración de la raíz _ No _____ Macrografía _ NO _____
 Ensayo dirigido por _____ Informe No _____ Fecha _____

Espécimen..... JC 3G	Espécimen.....JC2 3G
Apariencia.....Uniforme	Apariencia.....Uniforme
Fisuras..... NO	Fisuras..... NO
Mordedura..... NO	Mordedura..... NO
Escoria/poros..... NO	Escoria/poros NO
Refuerzo..... 1.0 mm	Refuerzo..... 1.2 mm
Dimensión..... No se rompió	Dimensión..... No se rompió

CARROCERIAS REINOSO	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR (WPQ) _Cupón de prueba _Soldadura de producción	
--------------------------------	--	--

Nombre del soldador:	Sello
No de cedula: Fecha de Calificación	

WPS Utilizado: WCR-03-CRNG	Revisión: 26/06/2015
Proceso de soldadura: GMAW	Tipo: Semiautomático
Modo de Transferencia para GMAW	

VARIABLES	VALORES ACTUALES	RANGO CALIFICADO
Proceso / Tipo	Gmaw / Semiautomático	Gmaw / Semiautomático
Junta		
Tipo de junta	Junta a tope con ranura cuadrada, plancha a plancha	Junta a tope ranura cuadrada, plancha a plancha
Tipo de material de respaldo	Sin respaldo	Sin respaldo y con respaldo
Ranura soldada desde Un lado o dos lados	Un lado	Un lado o dos lados
Material Base (4.7.1.1)		
Especificación - Plancha de acero	ASTM A 36 ASTM A36	ASTM A570, A606, A607, A6011
Miembro estructural	N. A	NO
Espesor de la plancha - Ranura	2 mm	1 a 4 mm
- Flete	N. A	NO
- Tapón (smaw)	N. A	NO
- Punto (smaw)	N. A	NO
- Costura (smaw)	N. A	NO
Recubrimiento		
- Tipo	Sin recubrimiento	Sin recubrimiento
- Espesor	N. A	N. A
Posición (4.7.1.5 y 4.7.1.6)		
- Ranura	Vertical	Vertical, Horizontal y plana
- Flete	N. A	NO
- Tapón (smaw)	N. A	NO
- Punto (smaw)	N. A	NO
- Costura (smaw)	N. A	NO
- Progresión	Descendente	Descendente
Gas	CO2	Cualquier gas aprobado
Electrodo		
Tamaño	0.8 mm	Cualquier tamaño AWS 5.18

Designación de grupo	N. A	N. A
RESULTADO DE PRUEBAS		
INSPECCION VISUAL		
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS		
INSPECCIÓN VISUAL (4.8.1) RANURA		
Apariencia _ Uniforme _____	Ancho cara ___14 mm. _____	Altura refuerzo _15-2.5 mm _____
Fisuras ___No _____	Mordeduras ___Menores a 1,0 mm _____	Porosidad ___No _____
RESULTADOS DEL ENSAYO EN EL FILETE		
Apariencia _ NA _____ Tamaño del filete _ NO _____		
Ensayo de rotura penetración de la raíz _ No _____ Macrografía _ NO _____		
Ensayo dirigido por _____ Informe No _____ Fecha _____		
Espécimen JS 3G	Espécimen JS2 3G	
Apariencia Uniforme	Apariencia Uniforme	
Fisuras NO	Fisuras NO	
Mordedura NO	Mordedura NO	
Escoria/poros NO	Escoria/poros NO	
Refuerzo 1.06mm	Refuerzo 1.2 mm	
Dimensión No se rompió	Dimensión No se rompió	

