



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i1.992>

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

*Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses*

*Analysis of the GMAW welding joint applied in the construction of bus bodies*

*Análise da junta de solda GMAW aplicada na construção de carrocerias de ônibus*

Juan Carlos Rocha-Hoyos <sup>I</sup>  
[juanrochahoyos@gmail.com](mailto:juanrochahoyos@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0003-0660-7199>

Alfredo Adrián Icaza-Lluglla <sup>II</sup>  
[alfredoadrianicaza@gmail.com](mailto:alfredoadrianicaza@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0001-5777-9500>

Javier Martínez <sup>III</sup>  
[javiermartinez@gmail.com](mailto:javiermartinez@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0001-8807-7595>

Carlos Andrés Salazar-Castillo <sup>IV</sup>  
[carloossalazarcastillo@gmail.com](mailto:carloossalazarcastillo@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0002-4013-1748>

\***Recibido:** 09 de Septiembre de 2019 \***Aceptado:** 11 de Octubre de 2019 \* **Publicado:** 12 de Noviembre de 2019

- <sup>I</sup> Magíster en Sistemas Automotrices, Diplomado Superior en Gestión del Aprendizaje Universitario, Diploma Superior en Autotrófica, Ingeniero Automotriz, Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingenierías, Quito, Ecuador.
- <sup>II</sup> Magíster en Seguridad y Prevención de Riesgos del Trabajo, Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Ingeniero Mecánico, Capacitación y Consultoría Asomip Cia. Ltda, Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, Esmeraldas, Ecuador.
- <sup>III</sup> Docente del Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, Esmeraldas, Ecuador.
- <sup>IV</sup> Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Ingeniero Mecánico, Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, Esmeraldas, Ecuador.

## Resumen

El sector carrocerero ecuatoriano utiliza varios tipos de aceros para configurar su sistema estructural, entre ellos el ASTM A36, ASTM A514 Gr. B y A517; aplicación que encuentra fundamentada en cálculos estructurales y diversos criterios de producción; todos estos materiales pueden ser conformados en perfiles rectangulares, cuadrados, omega, pletinas, entre otros; con espesores que oscilan entre los 3mm, mismos que pueden ser soldados según su sección transversal y demás características técnicas, con uniones del tipo escuadra, filete, etc; utilizando posiciones que van desde ranuras Planas “1G” hasta Sobrecabeza “4G”. Cabe señalar que estas juntas soldadas son de vital importancia, ya que a más de permitir la unión de los diferentes perfiles deben satisfacer las exigencias de integridad mecánica establecidas en el diseño estructural, por lo que se torna absolutamente necesario ejecutar un control y aseguramiento de su calidad. En el presente estudio se analizaron características técnicas, comportamiento mecánico y la efectividad de ejecutar cordones de soldadura mediante el proceso GMAW con alambre ER706S- 6 y gas protector CO<sub>2</sub>; incorporado parámetros de diseño, ensayos no destructivos y pruebas mecánicas según lo señalado en las normas AWS e ISO, permitiendo comprobar defectos en cada etapa del proceso, para posteriormente desarrollar una metodología experimental bajo estándares QA/QC para validar su correcta ejecución; la estandarización propuesta contiene componentes de alta relevancia para optimizar de la producción y asegurar la calidad implícita en la construcción de carrocerías metálicas.

**Palabras Claves:** Transporte público; metalurgia; estructuras; control de calidad; carrocería automotriz.

## Abstract

The Ecuadorian body sector uses several types of steels to configure its structural system, including ASTM A36, ASTM A514 Gr. B and A517; application that is based on structural calculations and various production criteria; All these materials can be shaped into rectangular, square, omega, plate, profiles, among others; with thicknesses ranging from 3mm, which can be welded according to their cross section and other technical characteristics, with joints of the square, fillet, etc; using positions ranging from Flat "1G" grooves to "4G" Overhead. It should be noted that these welded joints are of vital importance, since in addition to allowing the union of the different profiles they

## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

must meet the requirements of mechanical integrity established in the structural design, so it becomes absolutely necessary to execute a control and assurance of their quality. In the present study we analyzed technical characteristics, mechanical behavior and the effectiveness of executing weld seams using the GMAW process with ER706S-6 wire and CO<sub>2</sub> protective gas; incorporated design parameters, non-destructive tests and mechanical tests as indicated in the AWS and ISO standards, allowing to check defects at each stage of the process, to subsequently develop an experimental methodology under QA / QC standards to validate its correct execution; The proposed standardization contains high relevance components to optimize production and ensure the implicit quality in the construction of metal bodies.

**Keywords:** Public transport; metallurgy; structures; QA; automotive body.

### Resumo

O setor de carrocerias equatoriano usa vários tipos de aço para configurar seu sistema estrutural, incluindo ASTM A36, ASTM A514 Gr. B e A517; aplicação baseada em cálculos estruturais e em vários critérios de produção; Todos esses materiais podem ser moldados em retangular, quadrado, ômega, chapa, perfis, entre outros; com espessuras variando de 3 mm, que podem ser soldadas de acordo com a seção transversal e outras características técnicas, com juntas de esquadro, filete, etc; usando posições que variam de ranhuras planas "1G" a despesas gerais "4G". Cabe ressaltar que essas juntas soldadas são de vital importância, pois além de permitir a união dos diferentes perfis, elas devem atender aos requisitos de integridade mecânica estabelecidos no projeto estrutural, tornando-se absolutamente necessário executar um controle e garantia de sua qualidade No presente estudo, analisamos características técnicas, comportamento mecânico e a eficácia da execução de cordões de solda usando o processo GMAW com arame ER706S-6 e gás de proteção de CO<sub>2</sub>; incorporou parâmetros de projeto, testes não destrutivos e testes mecânicos, conforme indicado nas normas da AWS e ISO, permitindo verificar defeitos em cada etapa do processo, desenvolvendo posteriormente uma metodologia experimental sob os padrões de QA / QC para validar sua execução correta; A padronização proposta contém componentes de alta relevância para otimizar a produção e garantir a qualidade implícita na construção de corpos metálicos.

**Palavras-chave:** Transporte público; metalurgia; estruturas; controle de qualidade; corpo automotivo.

## Introducción

Según el reporte emitido el 19 de marzo de 2015 por la Dirección de Regulación de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial de la ANT, las empresas autorizadas por este ente con modelo homologado para el servicio de fabricación de bus interprovincial permiten la producción de un promedio 127 buses mensuales (CANFAC. 2015., AEADE. 2015 & MIPRO. 2014).

Las Industrias ecuatorianas para la Construcción de Carrocerías metálicas para buses utilizan principalmente aceros ASTM A36, y se propone como opción de mejora el uso de aceros ASTM 514 Gr. B, dado los cálculos estructurales y validaciones respectivas; conformados en perfiles del tipo rectangulares, cuadrados, ángulos, en “U”, omega, en “T”, pletinas, entre otros. Perfiles que pueden ser soldados según su sección transversal y demás características técnicas mediante uniones tipo escuadra, filete, bordes dobles, etc., (En escuadra, bisel, en V, en J, en U), entre otros; utilizando posiciones para aplicación de soldadura que van en ranuras desde la Plana o a piso (1G) hasta la Sobrecabeza (4G) o para filetes desde la 1F hasta la 4F (Aranda, et al., 2009).

Los parámetros que intervienen en el proceso de soldadura GMAW son: material base, perfiles estructurales, espesores, tipos de juntas, posiciones de soldeo, características técnicas requeridas para la ejecución del proceso, etc., para así relacionar las variables esenciales y complementarias en un Plan de Soldadura y un WPS acorde a los señalamientos del código AWS, cumpliendo con estándares *QW-402*, *QW-403*, *QW-405* y *QW-406*, que podrían ser implementados parcial o totalmente en las diferentes industrias carroceras, como medida para garantizar la correcta ejecución del cordón de soldadura. Para garantizar la correcta ejecución del proceso se requiere que el soldador cuente estampe del WPQ en procesos de soldadura GMAW, debidamente aprobado Inspector SCWI / CWI, y que el proceso sea monitoreado por un Supervisor CWS según los estándares dispuestos en el código *AWS D1.1/D1.1M – AWS D1.3/D1.3M*.

Los lineamientos fundamentales para un efectivo Control de Calidad (QC) de las juntas soldadas inician con la ejecución de los ensayos no destructivos y aplicación de los estándares planteados en la *ISO 5817-2014* misma que señala límites de imperfecciones geometrías y a la *ISO 6520-1* que hace referencia a la etapa de inspección por Tintas Penetrantes, según lo estipulado en la *ISO 3452-2013* considerando los niveles de aceptación señalados en la *ISO 23277:2006*; etapas que

## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

requieren ser validadas mínimo por un profesional *ASTN NDT NIVEL 2* que cuenta con la certificación *ISO 9712: 2012*. Para posteriormente someter a los especímenes a las diferentes pruebas mecánicas previamente seleccionadas; en el presente estudio para la validación, calificación de los cordones de soldadura se realizaron los ensayo de doblado o flexión guiado bajo estándares *ISO 5173*, ensayos de tracción según la norma *ISO 5178-1* y el ensayos para determinar del grado de Dureza con los parámetros *ISO 9015-1*.

Todas las fallas existentes en las juntas evaluadas obligan a ejecutar trabajos de reparación o en caso críticos a desecharla totalmente, en ambos casos hay que considerar la pedida de tiempo y recursos; las principales fallas en este estudio se determinaron en los aceros A514 y A517 esto se deben a la incorrecta selección del proceso de soldadura, ya que se encuentra sub-dimensionado dado que los valores obtenidos en los las pruebas mecánicas según la norma *ISO 5178-1* no cumplen con los estándares de resistencia que podrían alcanzar estos materiales utilizando un proceso SMAW y/o GTAW con un material de aporte que elimine el fenómeno de hidrogenación, logrando reducir fenómenos como el agrietamiento provocados por la combinación de los esfuerzos residuales en la unión soldada y el hidrogeno difusible. El ensayo de Dureza Brinell ejecutado con los parámetros *ISO 9015-1* respalda la teoría de la afectación del material base, debido a la gran reducción de resistencia en las zonas ZAT y MB del acero ASTM A514.

Existen muchas definiciones para la metodología QA/QC, pero en definitiva puede entenderse como el conjunto de procesos y herramientas de gestión y medición utilizadas para asegurar la calidad de un producto y/o servicio en términos de las expectativas de los consumidores. El QA (Quality Assurance) se enfoca en los sistemas de gestión y actividades planificadas preventivas previas a la ejecución de un proceso que aseguren la calidad del producto y/o servicio, y el QC (Quality Control) está asociado a las actividades planificadas de medición y control que indican la efectividad que tiene el QA en el producto o servicio de acuerdo a criterios previamente definidos (Corday, 2010).

Metalúrgicamente una unión soldada no es sólo un cordón con buena apariencia. Para disminuir el riesgo en estos casos y asegurar la calidad metalúrgica final de las uniones hay que velar entre otras cosas por el diseño de las juntas. El procedimiento aplicado (WPS), tecnología implantada para

## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

caracterizar el material a soldar, T° de electrodos, control de humedad; dilución química, calificaciones y habilidades del personal, etc., (García, et al., 2016).

El presente estudio utilizando el QA (Quality Assurance) y el QC (Quality Control) pretende analizar mediante ensayos no destructivos, pruebas mecánicas y análisis metalográficos a las juntas soldadas mediante el proceso GMAW, vinculando al mismo normas como las ISO, ANSI, AWS D1.1, AWS D1.3, ASTM, ASME entre otras, para verificar la existencia de defectos, errores en las diferentes etapas de ejecución del proceso, estructuras metalográficas existentes en el material base, propiedades mecánicas de las juntas soldadas y la correcta aplicabilidad del proceso de soldadura. Para posteriormente desarrollar una metodología experimental bajo estándares que no solo radiquen en el Control de la Calidad, sino también incorporen de fundamentos técnicos para el Aseguramiento de la misma, permitiendo certificar la correcta ejecución del proceso de soldadura, además de mantener las buenas prácticas ejecutadas actualmente en la construcción y reparación de carrocerías metálicas para buses en la industria ecuatoriana, optimización de la productividad y asegurar la calidad implícita en el proceso de manufactura por soldadura.

### **Materiales y Método**

El estudio se realizó sobre la sección frontal de las carrocerías metálicas y/o auto partes estructurales fabricadas en Acero ASTM A 36, ASTM A514 Gr. B, y ASTM A517; soldados mediante el proceso de soldadura GMAW con material de aporte ER70S-6 y gas protector CO<sub>2</sub>., “según el reporte emitido por la CANFAC del año 2015 existen 54 empresas carroceras homologadas por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) dentro de esta Cámara”.

### **Procedimiento para la Ejecución de Juntas Soldadas**

El registro de calificación del presente procedimiento de soldadura (PQR) será realizado bajo estándares estipulados en el *código* AWS D1.3/D1.3M: 2008. Para un proceso de soldadura GMAW aplicado para láminas de acero de 3mm (1/8 plg) de espesor, que pueden ser unidas mediante soldadura, según tabla 1.

## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

**Tabla 1**

Matriz de aplicación del Código D1.3, basada en el espesor de la placa (AWS D1.3 / D1.3M: 2008)

Esesor del material	$t_2 < 1/8$ plg (3mm)	$1/8 \text{ plg} \leq t_2 \leq 3/16 \text{ plg}$ (3 mm $\leq t_2 \leq 5$ mm)	$t_2 > 3/16 \text{ plg}$ (5mm)
$t_1 < 1/8$ plg (3mm)	D1.3	D1.3 con Anexo A	Anexo A

Nota: Anexo A. Nota 1. Las aplicaciones se pueden usar sin quitar el revestimiento o galvanizado, siempre que la aplicación cumpla con los requisitos de la Nota 1.

### Tipo de junta a utilizar

El tipo de junta que se utiliza con frecuencia en la fabricación de carrocerías para buses es “la Junta a Tope con Ranura Cuadrada”, esto debido a que el espesor de acero promedio utilizado es de 3 mm, cabe señalar que este particular lo recomiendan varios manuales de soldadura entre ellos el Manual de Soldadura & Catálogos de Productos Oerlinkon. (2016).

### Posición de la Soldadura

Para la fabricación de las distintas probetas, según lo contemplado en el AWS D1.a/D1.1M:2010 se selección la posición de calificación 3G, su aprobación sirve para ratificar también las posiciones 1G y 2G; cabe señalar que estas consideraciones son las utilizadas frecuentemente acordes al tipo de arreglo estructural aplicado en la carrocería.

### Nivel de limpieza SSPC

La limpieza se la realizará con el uso de herramientas eléctricas o neumáticas con cepillos metálicos (Gratas), bajo las especificaciones SSPC-SP3, método utilizado en la industria carrocera para remover oxido, cascarilla de laminación desprendida, herrumbre suelta y pintura desprendida

### Tipo y tamaño del Electrodo

Dado que los materiales a ser ensayados pertenecen al grupo de los aceros de bajo contenido de carbono, y el electrodo ER70S-6 es el de uso frecuente en esta industria, el especímenes a ser ensayados utilizara el siguiente material de aporte: De diámetro que actualmente se utiliza en esta industria es de 1.20 mm (0.045 plg) para acero al carbono y rango de amperaje de 125 a 380.

### **Condiciones técnicas del equipo**

Para la ejecución de los diferentes cordones de soldadura según los fabricantes de los diferentes sistemas implementados en los equipos de soldadura y dado que el material base posee un espesor comprendido entre de 1 a 3, se seleccionaron los siguientes parámetros:

- Mezcla de 75% Argón + 25 % CO<sub>2</sub>, con un caudal de 8 a 16 litros por minuto.
- Amperajes de 125 a 380 A; con un rango de voltaje de 16 a 22 V.
- Polaridad corriente continúa electrodo al positivo (DCEP).

Cabe señalar que tanto la mezcla del gas protector, caudal y corriente anteriormente descritos, podrán ser modificados durante el proceso de soldadura, en función al requerimiento del operario, exigencias del cordón de soldadura y/o el equipo.

### **Pre calentamiento**

Según Soldadura y metalurgia de Fernández F. Guillermo (1974). Las reglas básicas para determinar la necesidad de pre calentamiento son:

- No se requiere pre calentamiento en un acero al carbono con menos de 0.2% y con un espesor menor a 1 plg.
- En aceros de 0.2% a 0.4% de carbono es necesario el pre calentamiento en piezas de ½ plg.
- Y para aceros de más de 0.4% de carbón generalmente si se requiere calentamiento en todos los espesores.

En este esquema no se consideran aceros como el ASTM A-517, A543, A654, etc.

Utilizando la fórmula de Seferian contemplada en el artículo Selection of the Most Appropriate Technology of Reparatory Hard Facing Hard Facing of Working Parts on Universal Construction Machinery se determinó que la temperatura óptima de pre calentamiento principalmente en el proceso que involucra a los aceros ASTM 514 Gr. B es de 54.22 °C.

### **Aporte térmico y tratamiento térmico**

Según el Welding HandBook, Vol 1. American Welding Society (1991), el aporte térmico es uno de los factores que influyen significativamente en un proceso de soldadura, por lo cual es



## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

importante conocer la fuente de calor aproximada del arco voltaico. Por lo cual este análisis fue ejecutado en función a los datos experimentales críticos, obtenidos durante la junta soldada con el proceso GMAW en la estructura frontal de un bus de transporte, empleando la Ecuación 1 optemos que:

$$Q = \frac{P}{v} = \frac{E \times I}{v} \quad (1)$$

$$Q = (20V \times 215 A) / 48.6 \text{ mm/s}$$

$$Q = 88.47 \text{ Joules / mm}$$

No considerará un tratamiento post soldadura, puesto que este proceso no se ha sido evidenciado en las industrias carroceras, además cabe señalar que dado el espesor de la probeta el cordón de soldadura será ejecutado en un solo pase; por lo cual no se considera importante reducir el nivel de tensiones residuales producidas.

### **Plan de Soldadura Inicial**

El Plan de soldadura para los aceros incluye varias variables de aplicación de la soldadura para un trabajo óptimo, se presenta en la tabla 2.

### **Parametrización para probetas de la sección frontal de una Carrocería**

Para su fabricación se utilizaran segmentos de varias dimensiones mismas que se encuentran acorde al requerimiento de cada uno de los ensayos a ser ejecutados y según los estándares marcados en las normas respectivas, como base figura 1 y tabla 3.

- Probeta para ensayo de tracción, según norma ISO 5178-1.
- Probeta para ensayo de doblado o flexión guiado, según norma ISO 5173.
- Probeta para ensayo de dureza, según norma ISO 9015-1.
- Probeta para Análisis microestructura, según norma ISO 17639 e ISO 17640.

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

Según las referencias suscritas en la norma ISO 6892-1:2009 Anexo B, las especificaciones técnicas para chapas, flejes y productos planos de espesor entre 0.1mm y 3 mm señala los valores normados para probetas que serán sometidos a los diferentes ensayos de tracción.

**Tabla 2**

VARIABLE	ASTM A36	ASTM 514 Gr. B	ASTM 517
Espesor del material Base	3m	3m	3m
Limpieza superficial	SSPC-SPC3	SSPC-SPC3	SSPC-SPC3
Tipo de junta	Junta a tope con ranura cuadrada	Junta a tope con ranura cuadrada	Junta a tope con ranura cuadrada
Material de aporte	ER70S-6 Ø1.20 mm	ER70S-6 Ø1.20 mm	ER70S-6 Ø1.20 mm
Posición de la soldadura	3G, Vertical Descendente		
Gas de protección	Mezcla 75% Argon + 25 % CO <sub>2</sub>	Mezcla 75% Argon + 25 % CO <sub>2</sub>	Mezcla 75% Argon + 25 % CO <sub>2</sub>
Equipo	XMT 350 CC / CV Auto-Line, marca MILLER y 420 Lincoln Electric	XMT 350 CC / CV Auto-Line, marca MILLER y 420 Lincoln Electric	XMT 350 CC / CV Auto-Line, marca MILLER y 420 Lincoln Electric
Características eléctricas	Amperaje 125 a 380 A.	Amperaje 125 a 380 A.	Amperaje 125 a 380 A.
	Voltaje de arco (16 a 22 V)	Voltaje de arco (16 a 22 V)	Voltaje de arco (16 a 22 V)
Polaridad	DCEP	DCEP	DCEP
Pre calentamiento	No aplica	54.22 °C	54.22 °C
Tratamiento Térmico	No aplica	No aplica	No aplica

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

Plan de soldadura para los A 517	Cantidad de calor aportado en el proceso	88.47 Joules mm	/	88.47 Joules mm	/	88.47 Joules / mm	aceros ASTM A 36, A 514 y
	Cantidad de soldadura	4.71 kg/m		4.71 kg/m		4.71 kg/m	

---

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

**Tabla 3**

Dimensiones de espécimen para ensayos de Tracción

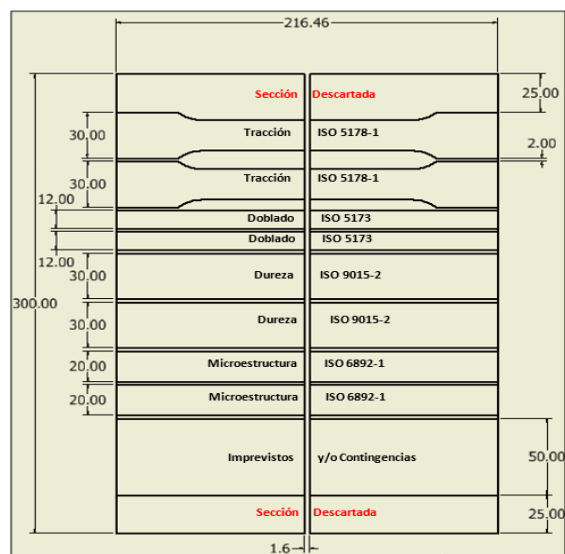
Tipo de probeta	Anchura	Longitud inicial entre puntos	Longitud de la parte calibrada		Longitud libre entre las mordazas (probetas de lados paralelos)	Tolerancia del mecanizado	Tolerancia en la forma
			L <sub>c</sub> (Mínima)	L <sub>c</sub> (Máxima)			
<b>N#</b>	<b>b<sub>o</sub></b>	<b>L<sub>o</sub></b>	<b>L<sub>c</sub> (Mínima)</b>	<b>L<sub>c</sub> (Máxima)</b>	<b>L<sub>b</sub></b>		
<b>2</b>	20 (+/- 1)	80	90	120	140	+/- 0.10	0.12

Toda ensayo a ejecutarse, iniciara con una Inspección visual del cordón de soldadura y el respectivo análisis por tintas penetrantes, para descartar confluencia de posibles discontinuidades; posteriormente se procederá al trazado, corte e identificación (alfa numérica) de los especímenes para los ensayos mecánicos y pruebas metalográficos.

**Figura 1**

Dimensiones de probeta para pruebas mecánicas y ensayos del Estudio (Normas ISO)

## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses



Las pruebas de soldadura serán ejecutadas bajo el “Plan de Soldadura” preestablecido en una probeta de 300.00 mm x 216.46 mm, lo que proveerá de un mínimo de 8 especímenes para ensayos, además de las respectivas secciones a no ser ensayadas y la sección para imprevistos y/o contingencias. Se omiten los ensayos de Impacto de Soldadura según la ISO 9016. Dado que el espesor del material base utilizado no cumple con las dimensiones solicitadas en la norma mencionada.

### Ejecución de Cordones de Soldadura

Dados los parámetros establecidos en el “Plan de Soldadura”, para su ejecución es necesario considerar la siguiente secuencia requerida para la calificación y control de calidad de la junta soldada:

- WPS
- Ejecución del cordón de soldadura
- Inspección Visual
- Ejecución de Ensayo No Destructivos
- Ubicación, identificación, rayado y estampe de probetas
- Ejecución de Ensayos Destructivos
- Análisis de Resultados (Criterio del código considerado)
- Informe de rechazo o Certificación (PQR y WPQ)

### **Especificaciones del Procedimiento de Soldadura (WPS)**

El requisito básico para ejecutar un proceso de soldadura GMAW es contar con un WPS y calificar el mismo según los requisitos señalados en la norma AWS D1.1/D1.1M: 2015 y AWS D1.3/D1.3M: 2018 – Structural Welding Code-Steel, por ende el mismo debe encontrarse acorde los parámetros QW-402, QW-403, QW-405 y QW-406.

### **Preparación y soldadura de probetas**

Las etapas principales para la fabricación de probetas son:

- Seccionamiento (ranura cuadrada) y limpieza de partes a ser soldadas
- Fijación de placa a soldar; verificación de medidas y apertura para soldeo
- Ejecución de cordón de soldadura en posición 3G (Recomendado descendente)
- Limpieza previa a la ejecución cordón de soldadura SSPC- SPC3
- Ejecución de cordón según Plan de soldadura y WPS

### **Inspección Visual**

La inspección de los cordones de soldadura se ejecutó en los 20 cordones de las diferentes probetas conformadas en los aceros ASTM A 36, ASTM A514 y ASTM A517, soldadas mediante el proceso GMAW se presenta en la tabla 4; realizada bajo los estándares señalados en la norma ISO 5817-2014 Welding – Fusion – Welded Joints in Steel, nickel, titanium and their alloys Quality for imperfections.

**Tabla 4**

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

Defectos visualizados de probetas con cordón GMAW

Probeta	Defecto visualizado	Posible Consecuencia	Imperfección según Norma ISO 6520-1 (Niveles de calidad de imperfecciones tipo B).	
A36-GMAW-001A A36-GMAW-010L A36-GMAW-014R A36-GMAW-016C A517-GMAW-012A	Cordón estrecho y poca penetración	Bajo amperaje Falta de pericia	Poros de superficie, Falta de fusión, Incompleta penetración de la raíz	
A36-GMAW-004D A514-GMAW-005C A514-GMAW-012A	Condón muy ancho con mucha salpicadura	Alto amperaje	Fisura de cráter, Superposición	
A517-GMAW-008F A517-GMAW-012A	Poca penetración	Arco corto Falta de pericia	Falta de fusión, Incompleta penetración de la raíz	
A36-GMAW-007X A517-GMAW-012A A514-GMAW-005C A514-GMAW-012A	Poca penetración y mordeduras en ambos lados	Arco largo Falta de pericia	Corte continuo	<b>Múltiple imperfecciones en cualquier cruz sección</b>
A36-GMAW-010L A514-GMAW-012A A514-GMAW-003S A517-GMAW-008F	Cordón ancho y muy acumulado con ondas casi rectas	Baja velocidad de avance Falta de pericia	Exceso de soldadura metal (tope-soldar), Concavidad de la raíz	
A36-GMAW-001A A36-GMAW-014R A36-GMAW-016C A514-GMAW-003S A517-GMAW-012A	Cordón estrecho con ondas puntiagudas	Baja velocidad de avance Falta de pericia	Exceso de penetración	

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

### Inspección por Tintas Penetrantes

Trascurrido el tiempo de revelado (No menor a 10 min) y removido el exceso de líquidos, los niveles de aceptación en caso de existir defectos en las soldaduras, fueron ejecutados según los estándares señalados en la Tabla 5. De la Norma ISO 23277:2006 Non-Destructive Testing of Welds – Acceptance Levels.

**Tabla 5**

Probetas rechazadas por defectos encontrados en ensayo PT

N. Probetas Rechazadas	Material base	Proceso de soldadura	Códigos de Probetas Rechazadas	Imperfección según norma ISO 23277:2006
2	Acero A36	GMAW	A36-GMAW-002J A36-GMAW-003S	$L \leq 8$
1	Acero A514 GrB	GMAW	A514-GMAW-010L	$L \leq 8$
1	Acero 517	GMAW	A517-GMAW-008F	$L \leq 8$

**Figura 2**

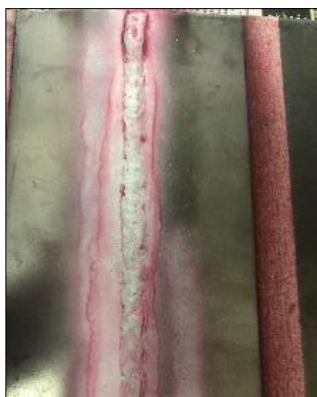
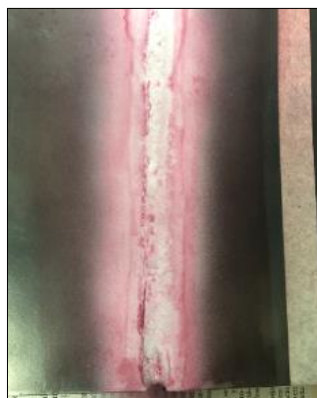
Probetas rechazadas por defectos encontrados en ensayo PT





## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---



Estos análisis fueron avalados por un profesional ASTN NDT NIVEL 2, mismo que contaban con la certificación ISO 9712: 2012 Pruebas no destructivas – Calificación y certificación del personal de NDT, y parte de los defectos se muestra en la figura 2.

### **Registró de Calificación de Procedimientos (PQR)**

El PQR será diseñado según los parámetros previamente analizados en el plan de soldadura y WPS; ceñido bajo los estándares estipulados en las normas ISO, AWS D1.1, D1.3 y QC1. Adaptados al requerimiento formulado para la construcción de estructuras para carrocerías metálicas para buses en Acero ASTM A36, A514 y A517

## Ejecución de Ensayos y Resultados

### Resultados Ensayo de Tracción

Estos ensayos fueron ejecutados bajo los criterios señaladas en la norma ISO 6892-1. Ensayo de tracción Material base, y sus resultados se presenta en la tabla 6.

**Tabla 62**

Ensayos de Tracción Acero ASTM A36, A514 y A517, con cordón GMAW


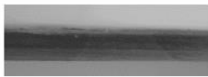

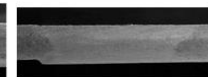
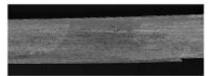

	ASTM A36		ASTM A514		ASTM A517	
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
<b>Carga Máxima (MPa)</b>	363.33	559.17	400.83	456.67	514.71	550.00
<b>Carga Rotura (MPa)</b>	280.83	275.00	310.00	371.67	420.83	427.50
<b>Fuerza Máxima (KN)</b>	21.80	33.55	24.05	22.30	30.85	33.00

### Resultados Ensayos de Macrografía

Estos ensayos se efectuaron según la metodología implantada en la norma ISO 17639:2003 Destructive Test on Welds in Metallic Materials – Macroscopic and Microscopic Examination of Welds, donde se muestra en la tabla 7 su resultado.

**Tabla 7**

Macrografía de las probetas ASTM A36, A514 y A517

Acero	Macrografía	
	Probeta 1	Probeta 2
ASTM A 36		
ASTM A 514 <u>GrB</u>		
ASTM A 517		

Este ensayo se ejecutó con una composición del atacante Nital 4% de ácido nítrico para visualizar las zonas a ser utilizadas para el ensayo de dureza Brinell.

### Ensayos de Dureza Brinell

La metodología utilizada para el presente ensayo ha sido desarrollada según lo estipulado en la norma NTE INEN ISO 6506-1. Materiales metálicos – Ensayos de dureza brinell – Parte 1. En el

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

Laboratorio de análisis metalográfico del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del HGPT. Y se presenta en la tabla 8.

**Tabla 8**

Macrografía de los Ensayos Brinell ASTM A36, A514 y A517

ACERO	Macrografía							
	Probeta 1				Probeta 2			
	MB	ZAT	ZF/ZAT	ZF	MB	ZAT	ZF/ZAT	ZF
ASTM A 36								
ASTM A 514								
ASTM A 517								

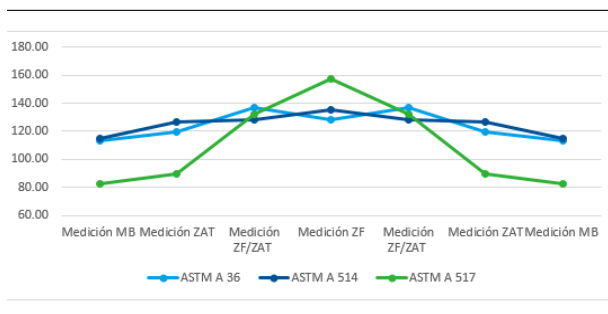
  

Acero	Probetas	Mediciones			
		ZF	ZF/ZAT	ZAT	MB
ASTM A 36	1	127.00	136.00	121.00	112.00
	2	129.00	137.00	118.00	115.00
	Promedio	128.00	136.50	119.50	113.50
ASTM A 514	1	136.00	128.00	126.00	114.00
	2	135.00	129.00	127.00	115.00
	Promedio	135.50	128.50	126.50	114.50
ASTM A 517	1.00	158.00	133.00	89.00	82.00
	2	156.00	132.00	90.00	83.00
	Promedio	157.00	132.50	89.50	82.50

Posterior a obtener los resultados del ensayo de dureza, se realizaron las gráficas de dureza por las zonas de estudio, comparando la aplicación del proceso GMAW en los aceros ASTM A 36, A 514 y A 517, obteniendo los siguientes valores en la figura 3.

**Figura 3**

Perfil del Ensayo de Dureza Brinell ASTM A36, A514 y A517 (CFPMC)






## Ensayos de Flexión

El presente ensayo fue desarrollado con la metodología detallada en la norma ISO 5173:2009; Ensayos Destructivos de Soldaduras de Materiales Metálicos Ensayos de Flexión. Por medio de una maquina universal Metrotext de 1500KN a 50mm/min de velocidad y 2000N de precarga, con probetas macropulidas y redondeadas en las aristas. Presente en la tabla 9

**Tabla 93**

Probetas de acero ASTM A36, A514 y A517 sometidas a Flexión

Ensayo de Flexión		Evidencia del Ensayo	Defecto Abierto encontrado	Evaluación del ensayo
ASTM A 36	TRBB 180°		Ninguno	Conforme
	Probeta 2		Ninguno	Conforme
ASTM A 514	TRBB 180°		1.40mm	Conforme
	Probeta 2		Ninguno	Conforme
ASTM A 517	TRBB 180°		Ninguno	Conforme
	Probeta 2		Ninguno	Conforme

## Discusión y Análisis de Resultados

Los aceros sujetos a estudio en el presente artículo son el ASTM A36, ASTM A514 y ASTM A517 mismos que son utilizados en la industria carrocera nacional en espesores de 3 mm regularmente; puesto que ofrecen propiedades mecánicas que suplen diferentes requerimientos de diseño, cabe señalar que estos aceros también son aplicados en la construcción de autopartes, un ejemplo presente en la tabla 10.

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

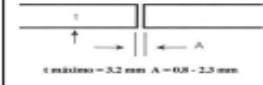
**Tabla 10**

Cuadro comparativo entre el Acero ASTM A36, A514 Gr.B y A-517

	ASTM A36	ASTM A514	ASTM A517
Resistencia a la tracción	58 - 80 ksi		115 - 135 ksi
	400 - 500 MPa	450 - 650 MPa	795 - 930 MPa
Límites de elasticidad	36 ksi		100 ksi
	250 MPa	490 MPa	690 MPa

**Tabla 11**

Procedimiento de soldadura WPS registrado

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) PARA PROCESOS GMAW							
Nombre de la Institución: <b>Univeridad SEK</b>			PQR No. _____ Rev. No. _____ Fecha _____ WPSs Relacionados _____				
<b>Metal Base</b>							
	Especificación	Tipo de Grado	AWS Group No	Espesor	Tamaño	Cedula	Diametro
Material de base				3mm		N/A	N/A
Soldado a:				3mm		N/A	N/A
Material de respaldo							
Otro							
<b>Detalles de la junta</b>			<b>Detalles de la junta</b>				
Tipo de ranura: <b>Soldadura a tope con ranura en</b> Ángulo de ranura: <b>N/A</b> Apertura de la raíz: Cara de la raíz							
<b>Tratamiento termico</b>							
Temperatura							
Tiempo a temperatura							
Otro							
<b>Procedimiento</b>							
Capa (s) de soldadura	N/A						
Paso de soldadura (es)	1						
<b>Proceso</b>	GMAW						
Tipo (Manual, Semiautomático y automático.)	Manual						
<b>Posición</b>	3G						
Progresión vertical	N/A						
Especificación del relleno (AWS)	AWS A5.18						
Clasificación AWS	ER70S-6						
Diametro	1,2 mm						
Fabricación / Nombre Comercial	N/A						
<b>Composición del Gas protector</b>	75% Argon + 25 % CO2						
Tasa de flujo							
Tamaño de la boquilla							
Temperatura de precalentamiento							
Temperatura de paso							
<b>Características electricas</b>							
Tipo de corriente y polaridad	DCEP						
Modo de transferencia (GMAW)							
Tipo de fuente de alimentación							
Amperios							
Voltajes							
Velocidad de alimentación de alambre							
Velocidad de avance							
Entrada de calor máxima							
<b>Técnica</b>							
Ensanchador o tejido	Largero						
Pase Multi o Único (por lado)	Único, 1 solo dado						
Oscilación (Manual / Automático.)	Manual						
Número de electrodos	1						
Limpieza entre pase	N/A						
Otros							

## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

Uno de los documentos ausentes para contrastar los resultados antes expuestos fue el Reporte certificado de prueba del material CMRT, sobre todo en lo referente a los aceros ASTM A514 y ASTM A517

Para implementar un proceso estándar para la calificación y certificación de Inspector de Soldadura ANSI/AWS QC1 en el sector carrocerero, se deberá asumir los siguientes criterios:

- La posición de soldadura según los estándares AWS D1.1/D1.1M:2015 AWS D1.3/D1.3M:2018 que cubre la mayor cantidad de trabajos ejecutados en este sector es la 3G, con ranura cuadrada a tope; por ende todo soldador deberán contar con esta calificación.
- El dimensionamiento de las probetas fue ejecutado de acuerdo a los estándares señalados en la norma ISO y las exigencias del equipamiento certificado del CFPMC.
- La temperatura de post calentamiento debe ser ejecutada principalmente en los aceros ASTM A514 GrB y A517 para evitar que el material concentre tensiones internas y/o alcance un nivel de templabilidad al ser soldado.
- El procedimiento de soldadura WPS registrado en la Tabla 11 ha sido realizado en función del código AWS y los parámetros de diseño de la junta QW-402 Diseño de junta, QW-403 Material base, QW-405 Posición de soldeo y QW-406 Precalentamiento del ASME IX, y a la información colectada en el Plan de Soldadura propuesto.
- Lo referente a la calificación del proceso de soldadura PQR formulado en el Anexo 2, fue ejecutado en base al WPS (Anexo 1), enlazando rangos de calificación e incorporando ensayos mecánicos requeridos.

Mediante una correcta ejecución de ensayos NDT se han descartado a 17 probetas de las 20 construidas es decir 85% de especímenes fabricados, reduciendo así el espectro a estudiar y por ende los costos inherentes; este filtro incorporado en un proceso de construcción de buses, fomentaría una reducción sustancial en tiempo e inversión, ya que la junta soldada podría ser reparada o fabricada nuevamente antes de sufrir tratamiento alguno.

Con la ejecución de los ensayos de Dureza Brinell ejecutados según la norma ISO 9015-1, se evidencia que en los aceros ASTM A 514 y A517 la mayor dureza se concentra en la Zona fundida (ZF) y va decrementando en la zona afectada por el calor (ZAC) y el material Base (MB), este fenómeno se encuentra directamente relacionado con la deformación de la estructura del grano

## Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

producto de la fusión por soldadura y la velocidad de enfriamiento; lo que permite una formación de estructuras dendríticas las cuales poseen mayor grado de dureza que el resto de las zonas analizadas.

Cabe señalar que en la zona ZF la mayor dureza se registra en el acero ASTM A 517, producto de esta modificación estructural y la ausencia de un correcto proceso de soldadura también se registró la menor zona afectada Térmicamente (ZAT), y la del material base con posibles afectaciones (MB); esto puede darse debido a los elementos aleantes del material de aporte, mismo que no ayudaría a eliminar el fenómeno de hidrogenización, cabe señalar que un electrodos E11018-M, E7018-1 H4R, E11018M-H4R, E11018-G H4, etc., brindan mayor dureza debido a que elementos como el manganeso (Mn), que está alrededor del 1 a 1.4%, lo que permite la eliminación del azufre de hierro y al mismo tiempo mejora la resistencia.

### Conclusión

Para obtener la estandarización y el mejoramiento deseado de los procesos de soldadura, la norma ISO es un referente de calidad que permitirá al sector carrocerero incorporar sistemas QA/QC, iniciado esta implementación con los factores planteados en la presente investigación para la ejecución de juntas soldadas en los aceros ASTM A36, mismas que en los ensayos no destructivos y pruebas mecánicas ejecutas obtuvieron resultados satisfactorios. Cabe señalar que ningún sistema de Aseguramiento de la Calidad (QA) podrá eludir los errores de aplicación que puedan darse por una incorrecta selección del proceso de soldadura GMAW, sobre todo en lo concerniente a la ejecución de cordones en aceros estructuras como los A514 y A517 que poseen arreglos microestructurales y características mecánicas que difieren con las del material de aporte AWS ER 70S-6 utilizado para la construcción de probetas; este tipo de aceros poseen un alta resistencia mecánica, que a más de un precalentamiento requiere de un proceso de soldadura con bajo contenido de hidrogeno difusible y electrodos de baja aleación con clasificación AWS A5.5/ASME-SFA 5.5 como los E-11018-M, E7018-1 H4R, E11018M-H4R, etc., que utilizan arcos cortos; este proceso aplicado correctamente en los materiales ASTM A 514 y ASTM A 517 puede brindar una resistencia a la tracción de 700Mpa, un límite de fluencia de 717 Mpa y un alargamiento en 2 plg del 23%. Superando notablemente los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas realizadas al proceso GMAW con material de aporte AWS ER 70S-6.

## Referencias

1. AEADE (2014). Anuario del sector automotriz 20141. Asociación de empresas automotrices del Ecuador.
2. Alzate, N., Botero, T. y Correa, D. Título de la ponencia. Memorias, XIX Congreso Latinoamericano de Ponencias Científicas. Córdoba, Argentina, Tomo II, 219-228, octubre 2008.
3. Aranda P. Diego y Dután, A Verónica. (2009). Estudio de aceros estructurales para la construcción de estructuras para la construcción de carrocerías para buses. Tesis Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica.
4. AWS QC1. (2007). Standard for AWS Certification of Welding Inspectors. American Welding Society.
5. AWS. (1996). Manual de soldadura Tomo II; Octava edición. American Welding Society. Traducción Welding Handbook/ Welding Processes.
6. Cárdenas et al./ (2014). Propuesta de Diseño Estructural para Buses de Carrocería Interprovincial. (INGENIUS N.º11). Revista de Ciencia y Tecnología. Politécnica Salesiana Ecuador.
7. Corday, H. Cristian, (2010). El rol de la función Q/C. Revista MetaPro
8. ject, Ingeniería e innovación SA. Convencionales: [www.metaproject.cl/img/](http://www.metaproject.cl/img/).
9. García, G. Víctor. Reyes, C. Francisc, et al., (2016). Optimization of Experimental Temperature Measurement in GTAW Process by means of DoE Technique and Computational Modeling. Metal-Mechanical Engineering Department, Technological Institute of Morelia. Mexico.
10. [https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/education/boletines\\_tecnicos/upload/boletin112-desarrollo-de-nuevos-electrodos-b%3%A1sicos-de-extra-bajo-hidr%3%B3genio-e7018-1-h4r-e11018-g-h4.pdf](https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/education/boletines_tecnicos/upload/boletin112-desarrollo-de-nuevos-electrodos-b%3%A1sicos-de-extra-bajo-hidr%3%B3genio-e7018-1-h4r-e11018-g-h4.pdf)
11. ISO 17639 2003 Destructive Test on Welds in Metallic Materials – Macroscopic and Microscopic Examination of Welds.
12. ISO 23277:2006 Non-Destructive Testing of Welds – Acceptance Levels. Tabla 1.



Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

13. ISO 5173:2009; Ensayos Destructivos de Soldaduras de Materiales Metálicos Ensayos de Flexión.
14. ISO 5178-1: 2014 Welding –Fusion-Welded Joints In Steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) Quality Levels For Imperfections
15. ISO 5817-2014 Welding – Fusion – Welded Joints in Steel, nickel, titanium and their alloys Quality for imperfections.
16. ISO 6892-1:2009 Metallic materials-Tensile testing Par 1. Anexo B,
17. ISO 9016:2012 Destructive test son welds in metallic materials – Impact tests – Test specimen location, notch orientation an examination
18. Melgarejo, M. Ramírez, C. y Aperado, W. (2013). Determinación de las causas de falla en la ZAC de un Acero ASTM A36 soldado por proceso SMAW Revista Inge (CUC volumen 9)
19. NTE INEN ISO 6506-1. Materiales metálicos – Ensayos de dureza brinell – Parte 1.
20. Rowel, R. Jeffus L., (2008). Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG), Ed. Paraninfo, España.
21. SOLDEXA., (2010). Desarrollo de Nuevos Electrodo Básicos de Extra Bajo Hidrogeno E7018-1 H4R / E11018-G H4. Boletín técnico de soldadura N112.
22. V. Lazić, M. Mutavdži, et al., (2011). Selection of the Most Appropriate Technology of Reparatory Hard Facing Hard Facing of Working Parts on Universal Construction Mechinery. Volumen 33. Tribology in industry

## References

1. AEADE (2014). Yearbook of the automotive sector 20141. Association of automotive companies of Ecuador.
2. Alzate, N., Botero, T. and Correa, D. Title of the paper. Memories, XIX Latin American Congress of Scientific Papers. Córdoba, Argentina, Volume II, 219-228, October 2008.
3. Aranda P. Diego and Dután. Veronica (2009). Study of structural steels for the construction of structures for the construction of bodies for buses. Thesis National Polytechnic School. Faculty of Mechanical Engineering.

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

4. AWS QC1. (2007). Standard for AWS Certification of Welding Inspectors. American Welding Society
5. AWS (nineteen ninety six). Welding Manual Volume II; Eighth edition. American Welding Society Translation Welding Handbook / Welding Processes.
6. Cárdenas et al/ (2014). Structural Design Proposal for Interprovincial Body Buses. (INGENIUS No. 11). Science and Technology Magazine. Salesian Polytechnic Ecuador.
7. Corday, H. Cristian, (2010). The role of the Q / C function. MetaPro Magazine
8. ject, Ingeniería e innovation SA. Conventional: [www.metaproject.cl/img/](http://www.metaproject.cl/img/).
9. Garcia, G. Victor. Reyes, C. Francisc, et al., (2016). Optimization of Experimental Temperature Measurement in GTAW Process by means of DoE Technique and Computational Modeling. Metal-Mechanical Engineering Department, Technological Institute of Morelia. Mexico.
10. [https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/education/boletines\\_tecnicos/upload/boletin112-desarrollo-de-nuevos-electrodos-b%C3%A1sicos-de-extra-bajo-hidr%C3%B3geno-e7018-1-h4r-e11018-g-h4.pdf](https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/education/boletines_tecnicos/upload/boletin112-desarrollo-de-nuevos-electrodos-b%C3%A1sicos-de-extra-bajo-hidr%C3%B3geno-e7018-1-h4r-e11018-g-h4.pdf)
11. ISO 17639 2003 Destructive Test on Welds in Metallic Materials - Macroscopic and Microscopic Examination of Welds.
12. ISO 23277: 2006 Non-Destructive Testing of Welds - Acceptance Levels. Table 1.
13. ISO 5173: 2009; Destructive Testing of Welding of Metallic Materials Flexion Testing.
14. ISO 5178-1: 2014 Welding –Fusion-Welded Joints In Steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) Quality Levels For Imperfections
15. ISO 5817-2014 Welding - Fusion - Welded Joints in Steel, nickel, titanium and their alloys Quality for imperfectiones.
16. ISO 6892-1: 2009 Metallic materials-Tesile testing Par 1. Annex B,
17. ISO 9016: 2012 Destructive test are welds in metallic materials - Impact tests - Test specimen location, notch orientation an examination
18. Melgarejo, M. Ramírez, C. and Aperado, W. (2013). Determination of the causes of failure in the ZAC of an ASTM A36 Steel welded by SMAW Process Inge Magazine (CUC volume 9)

Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses

---

19. NTE INEN ISO 6506-1. Metal materials - brinell hardness tests - Part 1.
20. Rowel, R. Jeffus L., (2008). Welding manual GMAW (MIG-MAG), Ed. Paraninfo, Spain.
21. SOLDEXA., (2010). Development of New Basic Electrodes of Extra Low Hydrogen E7018-1 H4R / E11018-G H4. Welding technical bulletin N112.
22. V. Lazić, M. Mutavdži, et al., (2011). Selection of the Most Appropriate Technology of Reparatory Hard Facing Hard Facing of Working Parts on Universal Construction Machinery. Volume 33. Tribology in industry

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).