

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención en Fabricación De Autopartes De Vehículos

Validación QA/QC (Quality Assurance/ Quality Control) Del Proceso De Soldadura Por Arco De Metal y Gas GMAW, Utilizado en la Construcción De Estructuras Metálicas y/o Auto Partes Estructurales para Carrocerías de Buses en la Industria Ecuatoriana.

Alfredo Adrián Icaza Lluglla

Nota del Autor

Adrián Icaza, Maestría en Diseño Mecánico,
Universidad Internacional SEK.

Director: PhD. Javier Martínez.

Codirector: Ing. Juan Carlos Rocha, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

aicaza.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Alfredo Adrián Icaza Ll, con cedula de identidad 1803631512, declara bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado a calificación profesional; las referencias bibliográficas se incluyeron en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Universidad internacional SEK, según lo establecido por la Ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente. El presente trabajo pertenece al programa de Desarrollo Tecnológico y a la línea de investigación Eficiencia Impacto Ambiental en la industria a fin a la Facultad de Arquitectura e Ingeniería.



Adrián Icaza

CI: 1803631512



Aprobado

Índice de Contenido

Declaración Juramentada.....	2
Índice de Contenido.....	3
Índice de figuras.....	6
Índice de tablas.....	7
Abreviaturas.....	8
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
Antecedentes.....	12
Justificación.....	13
Problema.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivo Especifico.....	15
Hipótesis.....	16
Estado del Arte.....	17
Aceros Utilizados en la Construcción de Carrocerías.....	17
Industria Carrocera en Ecuador.....	17
Aceros utilizados en la Industria Carrocera.....	17
Consideraciones Adicionales para la Selección de Aceros.....	19
Acero ASTM A36.....	20
Acero ASTM A-514 Gr.B.....	21
Acero ASTM A-517 Gr.B.....	23
Ensayos para Analizar la Calidad de los Aceros.....	24
Procesos De Soldadura.....	25
Soldadura.....	25
Tipo de Juntas Soldadas.....	26
Cordón de Soldadura.....	28
Proceso de Soldadura GMAW.....	28
Metal de Aporte AWS ER 70S-6.....	30
Microestructuras en el proceso GMAW.....	31
Ensayos No Destructivos y Pruebas Mecánicas.....	34

Parámetros a seguir para la inspección visual de las juntas soldadas	34
Análisis Macro y Microscópicos	35
Ensayos Metalográficos y de Termofluencia Acero ASTM A 36	36
Requerimientos generales de soldadura.....	39
Pruebas No Destructivas:.....	40
Pruebas Mecánicas.....	42
Sistemas Control y Aseguramiento de la Calidad.....	44
Consideraciones para Implementar un Sistemas QA/QC	44
Funciones de un Inspector QA/QC	45
Reportes de Inspección QA/QC.....	47
Defectos en un cordón de soldadura	48
Especificación del procedimiento de soldadura WPS.....	49
Procedimiento de registro de calificación PQR. (Procedure Qualification Record).....	50
Calificación de rendimiento de soldadura WPQ. Welding Performance Qualification.....	51
Niveles de certificación y credenciales para inspectores AWS	51
Criterios de Falla.....	52
MÉTODO.....	54
Investigación Experimental	54
Investigación De Campo.....	54
Investigación Documental /Bibliográfica	54
Investigación Proyecto de Desarrollo	56
Población y Muestra	56
Procedimiento para Ejecución de la Junta Soldada	57
Tipo de junta a utilizar	57
Posición de la soldadura	58
Nivel de limpieza SSPC.....	59
Tipo y tamaño del Electrodo:.....	59
Condiciones técnicas del equipo.....	61
Precalentamiento.....	61
Aporte térmico y tratamiento térmico.....	63
Cantidad de soldadura.....	64
Plan de Soldadura Inicial	65
Dimensionamiento y Parametrización de las Probetas	67

Especificaciones técnicas Adicionales para probetas:	68
Probetas de la sección frontal de una Carrocería a ser Ensayadas	69
Ejecución de Cordones de Soldadura	71
Especificaciones del Procedimiento de Soldadura (WPS).....	71
Preparación y soldadura de probetas.....	73
Inspección Visual.....	74
Resultados Inspección Visual	76
Probetas aprobadas Inspección Visual.....	79
Inspección por Tintas Penetrantes	79
Ensayo de tintas penetrantes	81
Resultados Ensayo de tintas penetrantes.....	82
Registró de Calificación de Procedimientos (PQR).....	83
Corte de Probetas	85
Ensayos de Tracción	86
Resultados Ensayo de Tracción	86
Ensayos de Macrografía.....	87
Resultados Ensayo de Macrografía.....	88
Ensayos de Dureza Brinell.....	89
Resultados Ensayo de Dureza Brinell.....	90
Ensayos de Flexión	92
Resultados Ensayo Ensayos de Flexión.....	93
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	94
Análisis De Factibilidad.....	100
CONCLUSIONES:	102
Recomendaciones:	104
Bibliografía	107
Anexos.	113
Anexo1. Arreglos Estructurales de Carrocerías Metálicas	113
Anexo 2. Arreglos Estructurales de Carrocerías Metálicas	114
Anexo 3. Estructuras Metálicas y Pruebas Ejecutadas en las Juntas Soldadas.....	115
Anexo 4. Probeta para Ensayos de Tensión Rectangular y Secciones Transversales.....	116
Anexo 5. Certificación de profesionales ASTN NDT NIVEL 2 e inspector SCWI.....	117
Anexo 6. Resultados comparativos de Ensayos No Destructivos.....	118
Anexo 7. Resultados comparativos de Ensayos No Destructivos.....	119

Anexo 8. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Tracción Acero ASTM A36.....	120
Anexo 9. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Tracción Acero ASTM A514.....	122
Anexo 10. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Tracción Acero ASTM A517.....	124
Anexo 11. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Dureza Acero ASTM A36, A514 y A517.....	1

Índice de figuras

Figura 1. Comportamiento estructural de los ASTM A36 y ASTM A514 Gr. B.....	20
Figura 2. Curvas esfuerzo & Deformación de Aceros.....	23
Figura 3. Posiciones de Soldadura.....	26
Figura 4. Partes principales de un cordón de soldadura.....	28
Figura 5. Metalografía ZAC.....	32
Figura 6. Diagramas de Fases de Microestructuras.....	33
Figura 7. Microestructuras Acero ASTM A-36 (X400)..	34
Figura 8. Microestructuras acero ASTM A 36, a 100 μm de la fractura.....	37
Figura 9. Diagrama Esfuerzo & Deformación Acero A36 a 500°C, 550°C, 600° y 650°.....	38
Figura 10. Diagrama de solidificación del material fundido en el charco de soldadura.....	39
Figura 11. Probetas para ensayo de tensión acero ASTM A-36.....	43
Figura 12. Perfiles de soldadura deseables y aceptables.....	48
Figura 13. Aplicación de Tintas Penetrantes.....	49
Figura 14. Posición de soldadura.....	58
Figura 15. Soldadora marca Miller XMT Serie 350 Voltaje 240/400/460/575.....	61
Figura 16. Dimensionamiento de probetas para ensayo de Tracción.....	67
Figura 17. Probetas y Normas para los ensayos del Estudio.....	69
Figura 18. Dimensiones de probeta para pruebas mecánicas y ensayos del Estudio.....	70
Figura 19. Kit de tintas penetrantes marca Chem-pak.....	79
Figura 20. Metodología utilizada para aplicación del Kit.....	80
Figura 21. Rayado y corte de probetas para ensayos del Estudio.....	85
Figura 22. Gráficas de aplicación de cargas en el Ensayo de Tracción.....	87
Figura 23. Ensayo de Macrografía Transversal.....	88
Figura 24. Ensayo de Dureza Transversal.....	89
Figura 25. Curvas de Durezas Brinell del acero ASTM A36, A514 y A517.....	91
Figura 26. Perfil del Ensayo de Dureza Brinell ASTM A36, A514 y A517.....	91
Figura 27. Probetas para Ensayo de Flexión acero ASTM A36, A514 y A517.....	92

Figura 29. Ensayo de Flexión acero ASTM A36, A514 y A517	92
--	----

Índice de tablas

Tabla 1. Abreviatura Técnicas	8
Tabla 2. Parámetros para Construcción de Carrocerías	18
Tabla 3. Cargas aplicadas sobre las carrocerías.....	19
Tabla 4. Propiedades mecánicas acero ASTM A-36	21
Tabla 5. Propiedades mecánicas acero ASTM A-514 Gr. B espesores <12 mm	22
Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A 517 con espesor menor a los 2.5 plg.	24
Tabla 7. Procesos de soldadura.....	25
Tabla 8. Tipo de Juntas Soldadas.....	27
Tabla 9. Tipo de Uniones según la Geometría.....	27
Tabla 10. Características técnicas y propiedades mecánicas ER70S-6.....	31
Tabla 11. Discontinuidades en Ensayos No Destructivos.....	41
Tabla 12. Probetas para ensayo de tensión.	43
Tabla 13. Dimensionamiento del Condón de soldadura y su convexidad admisible.....	48
Tabla 14. Estudio y procesamiento de variables	56
Tabla 15. Matriz de aplicación del Código D1.3, basada en el espesor de la placa.....	57
Tabla 16. Selección de Norma según espesor del Acero	59
Tabla 17. Características del electrodo para procesos de soldadura GMAW	60
Tabla 18. Clasificación de electrodos según la AWS.	60
Tabla 19. Plan de soldadura para los aceros ASTM A 36, A 514 y A 517.....	66
Tabla 20. Dimensiones de espécimen para ensayos de Tracción	68
Tabla 21. WPS. Especificaciones del Procedimiento de Soldadura diseñado para el estudio.....	72
Tabla 22. Equipo de protección para trabajos de área soldadura.....	73
Tabla 23. Etapas para la Fabricación de Probetas.....	74
Tabla 24. Niveles de calidad para imperfecciones de juntas soldadas.....	75
Tabla 25. Kit de inspección de soldadura básico Lincoln Electric CWI.	76
Tabla 26. Probetas rechazadas por múltiple imperfecciones.	77
Tabla 27. Defectos visualizados en Inspección visual de probetas con cordón GMAW.....	78
Tabla 28. Probetas que aprobaron la etapa de Inspección Visual.....	79
Tabla 29. Niveles de aceptación para defectos de soldadura.	81
Tabla 30. Probetas rechazadas por defectos encontrados en ensayo PT.....	82

Tabla 31. Probetas aprobadas en ensayo PT	83
Tabla 32. PQR. Registro de Calificación de Procedimientos diseñado para el estudio	84
Tabla 33. Ensayos de Tracción Acero ASTM A36, A514 y A517, con cordón GMAW	86
Tabla 34. Macrografía de las probetas ASTM A36, A514 y A517	88
Tabla 35. Macrografía de los Ensayos Brinell ASTM A36, A514 y A517	90
Tabla 36. Registros de medición de los ensayos Brinell acero ASTM A36, A514 y A517	90
Tabla 37. Probetas de acero ASTM A36, A514 y A517 sometidas a Flexión.....	93
Tabla 38. Cuadro comparativo entre el Acero ASTM A36, A514 Gr.B y A-517	94
Tabla 39. Plan de soldadura para el Acero ASTM A36.....	96
Tabla 40. Resistencia Mecánica del Acero ASTM A 36, A514 y A517 soldado y su material base. ...	98
Tabla 41. Posibles derivaciones y soluciones para mejorar la calidad de la junta soldada.....	105

Abreviatura Técnicas

Siglas	Significado	Traducción
AISC	American Institute of Steel Construction	Instituto Americano de Aceros de Construcción
AEADE		Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
ANT		Agencia Nacional de Tránsito
ANSI	American National Standards Institute	Instituto Nacional Americano de Normas
API	American Petroleum Institute	Instituto Americano del Petróleo
ASME	American Society of Mechanical Engineers	Sociedad americana de Ingenieros mecánicos
AWS	American Welding Society	Sociedad Americana de Soldadura
ASTN	American Society For Nondestructive Testing	Sociedad Americana para Pruebas No Destructivas
ASTM	The society for Testing and Materials	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
CFPMC		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.
CANFAC		Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías
CWI	Certified Welding Inspector	Inspector de soldadura certificado
CAWI	Certified Associate Welding Inspector	Inspector Asociado de Soldadura Certificado
DCEP		Polaridad corriente continua electrodo al positivo
ED	Destructive Testing	Ensayos Destructivos

ESW	Electrode Slag Welding	Soldadura por Electro Escoria
EGW	Electrodo Gas Welding	Soldadura por Electro Gas
EPP		Equipo de protección personal
FCAW	Flux Cored Arc Welding	Soldadura por Arco con Electrodo Tubular con Núcleo Fundente
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Gas protector
GMAW	Gas Metal Arc Welding	Soldadura de Arco Gas Metal
ICDF	Inertia and Continuous Drive Friction Welding	Soldadura por Fricción e Inercia
ISO	International Organization for Standardization	Organización Internacional para la Normalización
NDT	Nondestructive Testing	Ensayos No destructivos
NTE		Norma técnica Ecuatoriana
MIG/MAG	Metal Inert Gas/ Metal Active Gas	Soldadura de metal con Gas inerte / Soldadura de metal con gas activo
MIPRO		Ministerio de Industria y Productividad
OFW	Oxi-Fuel Welding	Soldadura Oxi-Corte
PAW	Plasma Arc Welding	Soldadura por Arco de Plasma
PQR	Procedure Qualification Record	Registro de calificación del Procedimiento
QA/ QC	Quality Assurance/ Quality Control	Aseguramiento de la Calidad/ Control de Calidad
RTE		Reglamento Técnico Ecuatoriano
SAE	The Society of Automotive Engineers	Sociedad de Ingenieros Automotrices
TRBB	Test Root bending for butt welding	Ensayo de flexión de raíz para una soldadura a tope
TP		ensayos de tintas penetrantes
WPQ	Welding Performance Qualification	Calificación de Habilidades del soldador
WPS	Welding Procedure Specification	Especificación del Procedimiento de Soldadura
SAW	Submerged Arc Welding	Soldadura por Arco Sumergido
SCWI	Senior Certified Welding Inspector	Inspector de Soldadura Senior Certificado
SMAW	Shielded metal Arc Welding	Soldadura por Arco con Electrodo Revestido
SW	Strud Welding	Soldadura por Espárragos

Fuente: Recopilación varios Autores

RESUMEN

El sector carrocerero ecuatoriano utiliza varios tipos de aceros para configurar su sistema estructural, el ASTM A36 es el de mayor aplicación, cabe señalar que varios estudios proponen como opción de mejora a los aceros ASTM A514 Gr. B y A517; recomendación que se 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” o para filetes desde la 1F hasta la 4F. 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 eliminar limitaciones en lo que a control y aseguramiento de la calidad se refiere. 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 CO₂, en los aceros ASTM A36, A514 y A517; incorporado parámetros y ensayos no destructivos como los *AWS D1.1/D1.1M*, *AWS D1.3/D1.3M*, *ISO 5817-2014*, *ISO 3452-2013*, *ISO 23277:2006*, *ISO 9712: 2012*, etc., y pruebas mecánicas como las *ISO 5173*, *ISO 17639:2003*, *ISO 5178-1*, *ISO 9015-1*, etc., permitiendo comprobar defectos en cada etapa del proceso, para posteriormente desarrollar una metodología experimental bajo estándares de Control y Aseguramiento de la Calidad (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, y Control de calidad.

ABSTRACT

The Ecuadorian bodybuilding sector uses several types of steel to configure its structural system, the ASTM A36 is the most applicable, it should be noted that several studies propose as an option for improvement to ASTM A514 Gr. B and A517 steels; recommendation that is based on structural calculations and various production criteria; all these materials can be formed into profiles of various types rectangular, square, omega, flat bars, among others; with thicknesses that oscillate between 3mm, same that can be welded according to their transversal section and other technical characteristics, with joints of the square type, fillet, etc; using positions that go from Flat slots "1G" to Overhead "4G" or for fillets from 1F to 4F. It should be noted that these welding joints are of vital importance, since apart from allowing the union of the different profiles they must satisfy the mechanical integrity requirements established in the structural design, so it becomes absolutely necessary to eliminate limitations in terms of quality control and assurance. In the present study, technical characteristics, mechanical behavior and the effectiveness of executing welding cords were analyzed through the GMAW process with ER70S-6 wire and CO2 protective gas, in the ASTM A36, A514 and A517 steels; incorporated parameters and non-destructive tests such as AWS D1.1 / D1.1M, AWS D1.3 / D1.3M, ISO 5817-2014, ISO 3452-2013, ISO 23277: 2006, ISO 9712: 2012, etc., and mechanical tests such as ISO 5173, ISO 17639: 2003, ISO 5178-1, ISO 9015-1, etc., allowing to check defects in each stage of the process, to later develop an experimental methodology under Quality Control and Assurance standards (QC / QC) to validate its correct execution; The proposed standardization contains highly relevant components to optimize production and ensure the quality implicit in the construction of metal bodies.

Keywords: Public transport, Metallurgy, Structures, and Quality control.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

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 son: CEPEDA, IMCE, IMPA, MARIELBUS, MEGABUSS, METÁLICAS PILLAPA MIRAL, OLÍMPICA CUENCA, PATRICIO CEPEDA y PEREZ, SOLIS, y las Autorizadas en proceso de homologación del modelo de carrocería son ALME, ALVARADO, AUSTRAL, IBIMCO, MANBUSS, MEGABUSS, entre otras empresas que poseen gran representatividad a nivel de nacional y 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).

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 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 (QA/QC) 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.

Justificación

Según el diagnóstico realizado por la Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocería (CANFAC) a junio del año 2015, existen 54 empresas carroceras homologadas por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) dentro de esta Cámara. Mismas que han sido incluidas en el proyecto para la implementación y obtención de la certificación ISO 9001 y plan de mejora continua, estas empresas dedican el 85% de su producción a fabricar de carrocerías para buses, produciendo en promedio 127 buses mensuales.

Las carrocerías metálicas son las armaduras estructurales de un bus y se encuentran conformadas por perfiles, planchas metálicas, polímeros, etc., entrelazadas entre sí mediante varios procesos, uno de ellos el proceso de soldadura GMAW con alambre ER70S-6 y gas protector CO₂.

Además de normativa como la ISO, ANSI, AWS, ASTM, existe regulación ecuatoriana para la fabricación de estas unidades y/o autopartes estructurales; como la NTE INEN 1323, entre otras; que marcan parámetros de cumplimiento obligatorio para el sector carrocerero.

Según la encuesta realizada en el *Estudio de aceros estructurales para la construcción de estructuras para la construcción de carrocerías para buses (2009)*, los materiales más utilizados parte estructural de las carrocerías son ASTM A36 y ASTM A517, seleccionados principalmente por Características Técnicas, Costo y Facilidad de Adquisición en el Mercado.

Los perfiles usados para la construcción de estas carrocerías son 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 ó a piso (1G), hasta la Sobre-cabeza (4G) ó para Filetes desde la 1F hasta la 4F.

El presente estudio pretende analizar mediante ensayos no destructivos como los señalados en las normas *ISO 5817-2014*, *ISO 3452-2013*, *ISO 23277:2006*, *ISO 9712: 2012*, etc. y pruebas mecánicas como las *ISO 5173*, *ISO 17639:2003*, *ISO 5178-1*, *ISO 9015-1*, etc., en las juntas soldadas bajo el proceso GMAW ejecutado con material de aporte ER70S-6 (tipo alambre) y gas protector CO₂ en materiales base como el acero ASTM A36, A514 y A517; verificado la existencia de fallas en el proceso, defectos, dureza de la microestructuras del material base posterior a la ejecución del procesos de soldadura y las propiedades mecánicas de las juntas soldadas, para posteriormente desarrollar una metodología experimental bajo estándares no solo de Contra de parámetros de Calidad (QC), sino también del Aseguramiento de la Calidad del proceso (QA), permitiendo verificar la correcta ejecución del mismo, manteniendo las buenas prácticas ejecutadas actualmente en los diferentes trabajos de soldadura direccionados a la construcción y reparación de carrocerías metálicas y autopartes para buses en la industria ecuatoriana, fomentando la optimización de la productividad y el aseguramiento de la calidad implícita en la construcción de Carrocerías metálicas.

Problema

Según el diagnóstico realizado por la Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocería (CANFAC) a junio del año 2015, se producen en promedio 127 buses mensuales.

Industrias que dentro de sus principales procesos de construcción utiliza diversas metodologías y procesos para la unión de perfiles y/o partes estructurales, uno de los procesos utilizados frecuentemente es la aplicación de juntas soldadas, debido al alto riesgo asociado a cada cordón ejecutado, mismo que interviene directamente en el arreglo estructural; este trabajo debe estar soportado por un sistema QA/QC adecuado al nivel de riesgo de la estructura.

Para lo cual es necesario analizar materiales, tecnología, mano de obra y demás parámetros tecnológicos que intervienen en la soldadura, para garantizar su correcta ejecución. Para posteriormente, mediante ensayos no destructivos, caracterización del material y pruebas mecánicas ejecutadas bajo estándares señalados en las normas ISO, ANSI, AWS y ASTM, validar el proceso de soldadura GMAW con material base acero ASTM A36, A514 y A517 con alambre ER70S-6 y gas protector CO₂, utilizado para la construcción de estructuras metálicas y/o auto partes estructurales, para carrocerías de buses garantizando parámetros de Calidad y Aseguramiento (QA/QC) de la mismas en futuros procesos.

Objetivo General

Validar los estándares técnicos de proceso de soldadura GMAW, utilizado para la construcción y mantenimiento de estructuras metálicas o auto partes estructurales, bajo parámetros que permitan el permanente Aseguramiento y Control de la Calidad, garantizando el cumplimiento de las exigencias de integridad mecánica establecidas en el diseño estructural, optimizando la producción y asegurando la calidad implícita en la construcción de carrocerías metálicas.

Objetivo Especifico

1. Analizar los diferentes parámetros técnicos que intervienen en el proceso de soldadura GMAW, para juntas ejecutadas en aceros de baja aleación de carbono, sus perfiles estructurales, tipos de juntas, posición de soldeo y demás técnicas utilizadas, mediante el uso de normas ISO, ANSI, AWS y/o ASTM.

2. Ejecutar una metodología para el aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) de las juntas soldadas mediante con el proceso GMAW con ensayos no destructivos; para posteriormente dimensionar las diferentes probetas y evaluar estas juntas soldadas para analizar mediante pruebas mecánicas su incidencia en el diseño estructural.

3. Determinar propiedades mecánicas y defectos existentes en la juntas soldadas mediante los procesos GMAW, con material de aporte ER70S-6 y gas protector CO₂, utilizando normas ISO 5173, ISO 5178, ISO 9015-1, ISO 6892-1 e ISO 7438 y demás manuales para la verificación y evaluación del control de calidad QC.

4. Proponer un proceso experimental bajo estándares QA/QC, para una correcta ejecución de las juntas ejecutadas en el acero ASTM A36, A514 y A517, utilizadas en la construcción de estructuras metálicas de buses y fabricación de autopartes estructurales, utilizando instrumentos códigos y normas como las ISO, AWS y QC1:2007.

Hipótesis

Los procesos de soldadura utilizados en la construcción de carrocerías metálicas y/o autopartes estructurales, actualmente posee un control limitado en lo que a parámetros de calidad se refiere, cabe señalar que las juntas soldadas mediante el proceso GMAW en sistemas estructurales de carrocerías son de vital importancia, ya que a más de permitir la unión de los diferentes perfiles deben satisfacer exigencias de integridad mecánica establecidos en el diseño, mismos que garanticen su correcto funcionamiento, el que debe estar basado en patrones de Aseguramiento y control de calidad (QC/QC) que permitan verificar las condiciones de servicio y determinar su correcta aplicación.

Estado del Arte

Aceros Utilizados en la Construcción de Carrocerías

Industria Carrocera en Ecuador

Actualmente en el País se fabrican 1524 carrocerías para buses terminados, la demanda nacional de buses es de 2500, por lo que aproximadamente es necesario importar 1000 unidades para satisfacer la demanda anual de buses (MIPRO, 2014).

La plaza actual es de 600 unidades lo que aparentemente no afectaría al desarrollo de la producción nacional, sin embargo, hay ciertos acuerdos comerciales internacionales que hacen que ingresen más buses de los que se han establecido mediante contratos extraordinarios. (AEADE. 2014)

Aceros utilizados en la Industria Carrocera

Según el *Estudio de aceros estructurales para la construcción de estructuras para la construcción de carrocerías para buses.*, formulado el año 2009, en el cual se realizó un diagnóstico referten a la construcción de las carrocerías ecuatorianas, según criterios emitidos por los jefes de producción y de planta de las 20 principales empresas carroceras del país, como se expresa en la *Tabla 2*.

Tabla 1.

Parámetros para Construcción de Carrocerías

Investigación	Ítem	Conteo
Aceros utilizados para la estructura de una carrocería metálica	ASTM A36	11
	ASTM A517	2
	ASTM A500	1
Criterios basados para la selección del acero para una carrocería metálica	Experiencia	2
	Costo	4
	Características Técnicas	9
	Recomendación de algún Fabricante	2
	Facilidad de adquisición	3
	Pruebas	1
	Calidad	1

Perfiles de Acero utilizados para una carrocería metálica	Cuadrado	11
	Rectangular	11
	Redondo	4
	T	4
	U	9
	G	5
	Omega	6
	Ángulos	10
	Platinas	9
Planchas	10	
Parámetros para la selección de los perfiles	Cálculo estructural	10
	Conocimiento	4
	Diseño Adoptivo (Trascendencia en el tiempo)	4
	Manual Carrocero, Recomendación del Otros	2
	Fabricantes	
Facilidades en construcción	1	
Norma los ensayos de materiales usados por los proveedores	ASTM	9
	INEN	5
	AISI	2
	SAE	2
	JIS	1
Ensayos ejecutados por los fabricantes de Carrocerías	Fabricas que realizan algún tipo de prueba	4
	Fabricas que no realizan ningún tipo de prueba	7
	-Nota: Ensayos mecánicos realizados: Tracción, Flexión, Doblado, Soldadura.	
Procesos de soldadura Utilizados por estas industrias carroceras	SMAW	9
	GMAW	9
Electrodos utilizados para los procesos de soldadura SMAW y GMAW	Proceso SMAW:	
	E6011	8
	E6013	3
	E7018	1
	Proceso GMAW	
	ER70S-6	6
	-Nota: Si sabe 9, No sabe 2	

Fuente: Aranda, et al., 2009.

Consideraciones Adicionales para la Selección de Aceros.

Según el *Estudio Propuestas de Diseño Estructural para Buses de Carrocería Interprovincial*. (2014), las carrocerías metálicas podrían soportar las siguientes cargas:

Tabla 2.

Cargas aplicadas sobre las carrocerías

Cargas	Valor
Resistencia de la Estructura	69.651.00 N
Esfuerzos por cargas muertas	95.601.39 N
Esfuerzos por cargas vivas	42.829.67 N
Esfuerzos por Giro	25198.67 N
Esfuerzos por frenado y arranque	56.445.04 N
Esfuerzo por choque de aire (Frontal)	2.666.72 N
Esfuerzo por Impacto (Colisión) Velocidad = 90Km/h	705.563.00 N

Fuente: Cárdenas, et al., 2014.

Para la construcción de carrocerías metálicas con el criterio de colisión, el *Estudio de aceros estructurales para la construcción de estructuras para la construcción de carrocerías para buses*, recomienda el uso del acero ASTM A-514 Gr. B como reemplazo del acero ASTM A-36, dado que en la simulación de un choque frontal efectuada con una fuerza de 300.000 N; la estructura conformada con acero ASTM A-36 se deforma severamente incluyendo parte frontal y habitáculo de pasajeros, afectando el espacio de supervivencia del diseño estructural, que por lógica no debe ser invadido por los miembros deformados de la estructura colapsada.

Mientras que al realizar el mismo proceso de simulación con una estructura con acero ASTM A-514 Gr. B, mima que producto de la colisión se deforma la parte delantera, pero el habitáculo de sobrevivencia se mantiene intacto, garantizando así la seguridad de los pasajeros y parte de la tripulación que se encuentren en esta ubicación al momento del impacto, cumpliendo así con el objetivo principal del diseño planteado. Situación que es demostrada en la *Figura 1*.

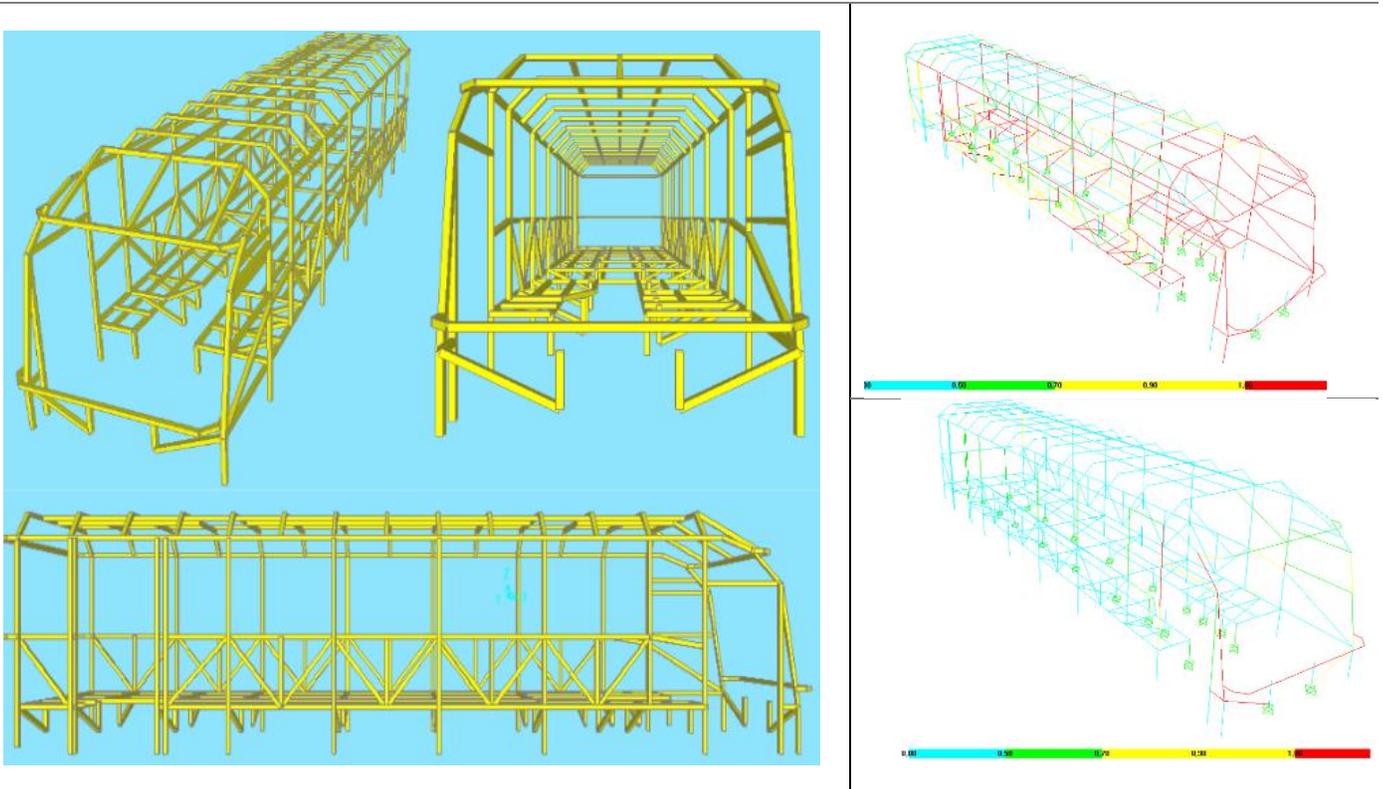


Figura 1. Comportamiento estructural de los ASTM A36 y ASTM A514 (Cárdenas, et al., 2014).

Acero ASTM A36

Según *Manual*, www.ahmsa.com, (2012), esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles laminados en caliente y placas de la misma calidad. Y si su soldabilidad es adecuada las características mecánicas, son:

- Esfuerzo a la fluencia: 5.530 kg/cm² (250 MPa, 36 ksi).
- Esfuerzo mínimo la rotura por tensión 4.080 kg/cm² a 5.620 kg/cm² (58 ksi 80 ksi).

Los perfiles y placas disponibles en acero ASTM A-36 son de todo tipo, excepto los perfiles IR, W o H (Cházaro R 2014).

La predicción de la distribución de la temperatura es un proceso crítico en el estudio de la soldadura campo termal. Por lo tanto, la precisión en la medición de la temperatura es bastante importante para proporcionar resultados significativos y establecer el acoplamiento entre los

resultados del campo térmico y otros estudios en soldadura como análisis mecánicos y microestructurales.

Para los procesos de soldadura GTAW (Arco de gas de Tungsteno), para los experimentos se utilizó juntas con placas de acero estructural (ASTM A 36) y acero inoxidable martensítico (AISI CrMo 12-1). Se estudiaron cuatro parámetros diferentes relacionados con la disposición, separación, profundidad, disposición del termopar y aplicación de pasta térmica. Un diseño óptimo fue capaz de medir las temperaturas máximas en zonas adyacentes al cordón de soldadura, que son importantes para el estudio del comportamiento térmico de soldadura (García, et al., 2016).

Composición química y propiedades mecánicas según los requisitos señalados en la norma ASTM A36:

Tabla 3.

Propiedades mecánicas acero ASTM A-36

	Composición Química (%)				
	C	MN	Si	P	S
	0.26	0.4 – 0.9	0.4	0.04	0.05
ASTM A36	Propiedades Mecánicas				
	Resistencia a la tracción	Límite de elasticidad	% Alargamiento en 2in (50mm)	Que afectan la temperatura de prueba	
	400-650 MPa	250 MPa	20	+20.0, -20	

Fuente: ASTM. 2014.

Acero ASTM A-514 Gr.B

Este acero es el que mejores características técnicas presenta, entre los materiales actualmente empleados en la construcción de estructuras metalizas para carrocerías de unidades de transporte, pero a más de implicar un mayor costo para la construcción, requiere un proceso de soldadura mucho más técnico, por ende, demanda de mejor tecnología y requiere de capacidades específicas del soldador (Operario). Pese a los parámetros antes señaladas cabe

destacar que la incorporación del Acero ASTM A-514 Gr. B en este sistema estructural contribuye en un camino hacia la selección de mejora continua de esta industria, además de la incorporación de medidas que garantizan el desarrollo en conceptos tecnológicos y seguridad de esta industria (Aranda, et al., 2009).

Según el *Estudio High Yield-Strength, Quenched and tempered Alloy Steel (2012)* “Los espesores de placa que se encuentran disponibles son: 3/16 ", 1/4", 3/8 ", 1/2", 3/4 ", 1" y 1-1 / 4 "(4.8, 6.4, 9.5, 12.7, 19.0, 25.4 y 31.8 mm). En planchas de 96" de ancho x 240”.

Composición química y propiedades mecánicas según los requisitos señalados en la norma ASTM 514:

Tabla 4.

Propiedades mecánicas acero ASTM A-514 Gr. B espesores <12 mm

	Composición Química (%)				
	C	MN	Si	P	S
ASTM A514	0.26-032	0.4 – 0.9	0.4	0.035	0.04
GrB	Propiedades Mecánicas				
	Resistencia a la tracción	Límite de elasticidad	% Alargamiento en 2in (50mm)	Que afectan la temperatura de prueba	
	460-650 MPa	490 MPa	20	+20.0, -20	

Fuente: ASTM. 2012.

Nota: Para placas de hasta 0.375 ", una prueba de dureza Brinell puede ser utilizado en lugar de una tensión prueba para esas placas no prueba de tracción en un lote de 15 toneladas. La norma ASTM A6 hace referencia a Requisitos Generales para Aceros Laminados en Planchas, Perfiles, pletinas y Barras de acero estructural.

Nota: Considerar que el nivel S de SSAB es más restrictivo que los requisitos de especificación ASTM para A514 Grado B

Según el Estudio *Ensayos TEKKEN en un acero ASTM 514 Gr.B para determinar la temperatura de Recalentamiento* (2004), se concluye que al precalentar la junta a 150°C en un tiempo superior a los 17 segundos, se garantiza una soldadura sin fisuras.

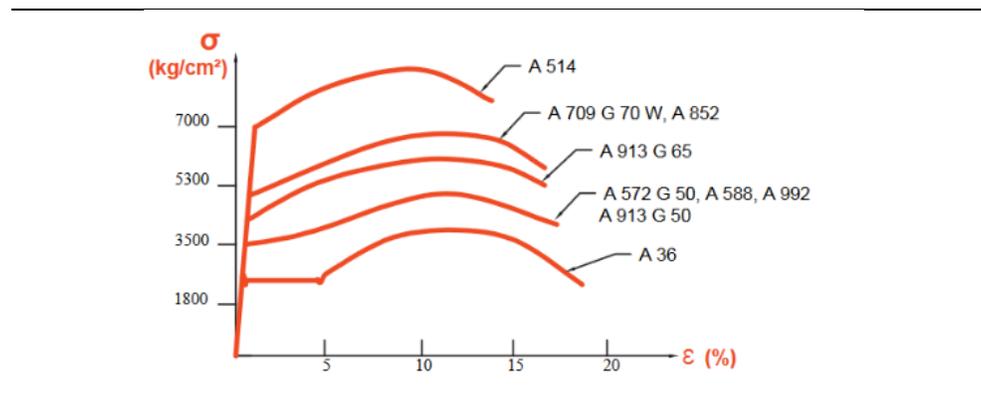


Figura 2. Curvas esfuerzo & Deformación de Aceros (Cházaro, 2014).

Cabe señalar el acero ASTM A514 es un acero aleado de alto límite de fluencia, templado y revenido, utilizado especialmente para soldadura con parámetros especiales. Ver Figura 2.

Acero ASTM A-517 Gr.B

Este acero catalogado como un acero para la construcción de recipientes de alta presión, todas estas planchas están catalogadas en forma general por la especificación ASTM A20, requisitos generales para planchas de Acero para recipientes a presión.

La especificación ASTM A517 es estándar para placas de recipientes a presión, ya que es un acero de aleación de alta resistencia, templado y templado utilizado en la aplicación de calderas soldadas por fusión y recipientes a presión.

Bajo esta especificación, el espesor de la placa determinan la selección del grado y las propiedades mecánicas, por ejemplo las placas de 2.5 "de espesor y bajo, tendrán una resistencia de rendimiento mínima de 100 ksi; mientras que placas de más de 2.5" de espesor tendrán una resistencia de rendimiento mínima de 90 ksi. Las aplicaciones típicas incluyen recipientes y tanques sin cocer

Tabla 5.

Propiedades mecánicas del acero ASTM A 517 con espesor menor a los 2.5 plg.

		Composición Química (%)				
		C	MN	Si	P	S
ASTM A517		0.13-0.23	0.64-1.10	0.13 - 0.37	0.035	0.035
GrB		Propiedades Mecánicas				
		Resistencia a la tracción	Límite de elasticidad	% Alargamiento en 2in (50mm)	Que afectan la temperatura de prueba	
		795-930 MPa	692 MPa	16	-20,40,-60	
		115-135 Ksi	100 PSI			

Fuente: Norma ASTM-517.

Las aplicaciones principales para el acero A 517 son la constitución de tuberías forzadas para transporte de líquidos y recipientes para altas presiones

Ensayos para Analizar la Calidad de los Aceros

Un ensayo es la forma práctica utilizada para determinar las diferentes propiedades mecánicas de un material, en función a estas pruebas se valida su aplicabilidad y la correcta selección del proceso de unión o tratamiento aplicado.

Dentro de los ensayos más utilizados, se encuentran los siguientes:

- Ensayo de Tracción: permite medir la ductilidad y resistencia.
- Ensayo de Dureza: mide la resistencia del material existen Dureza Brinell, Vickers, y Rokwell.
- Ensayo de Impacto: permite determinar la tenacidad de la probeta.
- Ensayo de Doblado: Establece comportamientos ante esfuerzos de doblado y flexión de la probeta
- Análisis microestructural: Analiza la conformación y cambio de micro estructuras, establecido diferencias entre las zonas afectadas y el material base
- Análisis Químico: permite medir concentración o cualquier propiedad química.

Procesos De Soldadura

Soldadura.

“La Sociedad Americana de soldadura AWS, define a la soldadura como una coalescencia localizada del metal, en donde la misma se produce por el calentamiento a las condiciones óptimas, con las aplicaciones de la presión y la utilización del metal de aporte para la unión, localizada a través de la fusión o recristalización a lo largo de la intercarra” (Pastor, 2004)

“La base de metal es aquella que constituye a las piezas a ser soldadas. El metal de aporte es el material que se usa como mecanismo de relleno y/o unión entre las piezas a soldar” (Pastor, 2011).

La soldadura es un proceso utilizado para unir o juntar metales. Existen diversos procesos de soldadura, entre los cuales se encuentran los señalados en la *Tabla 7*, mismos que consiste en calentar 2 o más piezas hasta alcanzar un punto inferior al de fusión, para unirlos con un material de aporte fundido.

Tabla 6.

Procesos de soldadura.

Siglas	Significado	Traducción
ESW	Electrode Slag Welding	Soldadura por Electro Escoria
EGW	Electrodo Gas Welding	Soldadura por Electro Gas
FCAW	Flux Cored Arc Welding	Soldadura por Arco con Electrodo Tubular con Núcleo Fundente
GMAW	Gas Metal Arc Welding	Soldadura de Arco Gas Metal
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Gas protector
ICDF	Inertia and Continuous Drive Friction Welding	Soldadura por Fricción e Inercia
OFW	Oxi-Fuel Welding	Soldadura Oxi-Corte
PAW	Plasma Arc Welding	Soldadura por Arco de Plasma
SAW	Submerged Arc Welding	Soldadura por Arco Sumergido
SMAW	Shielded metal Arc Welding	Soldadura por Arco con Electrodo Revestido
SW	Strud Welding	Soldadura por Espárragos

Fuente: Llano, 2009.

Cabe señalar que cada uno de los procesos de soldadura señalados en la *Tabla 7*, tienen características técnicas, propiedades químicas y aspectos técnicos particulares. Eso sin mencionar los costos implícitos en cada proceso.

Posiciones para soldadura

Dado el amplio alcance que posee una junta soldada en un arreglo estructural, normas como las *ANSI/ AWS A 3.0-94, Posiciones de soldadura*, han regularizado parte de su procesos de ejecución. Como se detalla en la *Figura 3*.

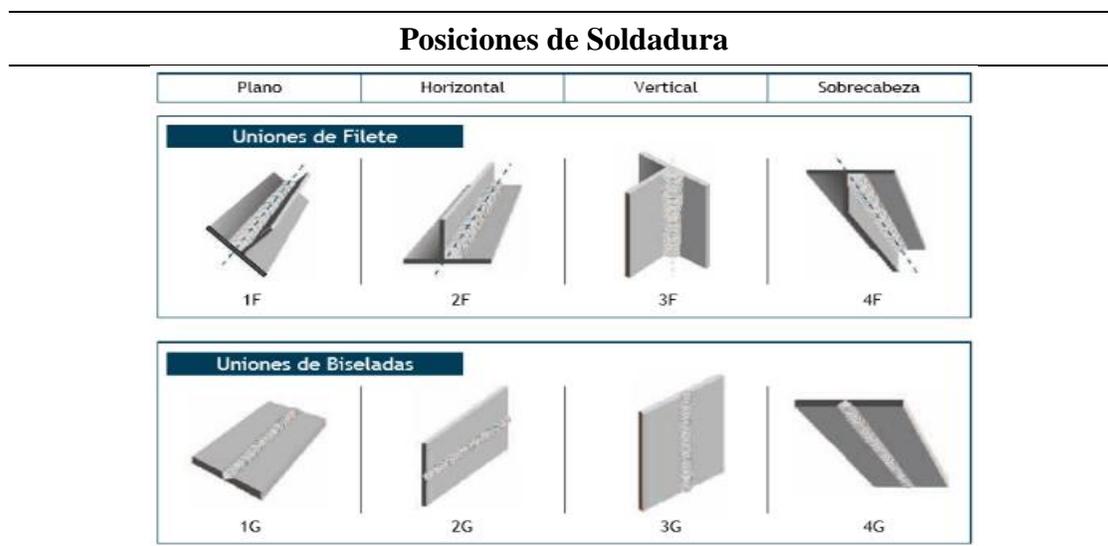


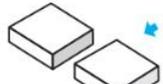
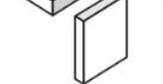
Figura 3. Posición de soldadura (INDURA. S.A. 2007).

Tipo de Juntas Soldadas.

Para la ejecución de la soldadura de juntas estructurales, existen cinco (05) tipos básicos de juntas mismos que son descritos a detalle en la *Tabla 8*, mismas que son aplicables a todo tipo de proceso de soldadura direccionado a fabricar y/o brindar mantenibilidad a todo tipo de estructura metálica.

Tabla 7.

Tipo de Juntas Soldadas.

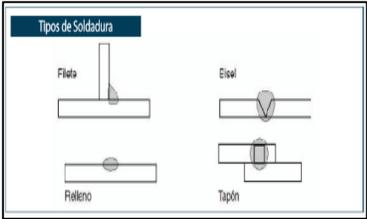
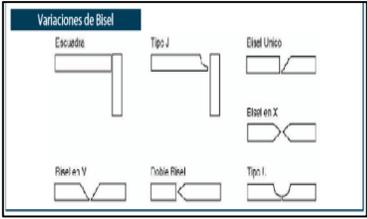
Juntas Soldadas de uso Frecuente		
	A TOPE	Butt joint
	EN ESQUINA	Corner joint
	EN T	T
	DE TRASLAPE	Lap joint
	POR EL BORDE	Edge joint

Fuente: INDURA. S.A. 2007.

Según lo demostrado en la *Tabla 9*. Estas Juntas pueden combinarse y dar paso a la ejecución de cordones de mayor complejidad según el requerimiento señalado en el diseño

Tabla 8.

Tipo de Uniones según la Geometría

Dependiendo de la Geometría de los bordes		Según su forma de sección transversal		Detalle
Significado	Traducción	Significado	Traducción	
Escuadra o Cuadrada	Scuare	De Ranura	Groove	
Bisel	Bevel	De Filete	Filled	
En "V"	"V" Grove Weld	De Pernos	Stud	
En "U"	"U" Grove Weld	De tapón	Plug	
Abocinado en Bisel	Flare Bevel Groove Weld	De Botón	Slot	
Abocinado en "V"	Flare "V" Grove Weld	De Puntos o Proyección	Spot or Projeccion	
		De Respaldo	Back Weld	
		De Costura	Seam	
		De Recubrimiento	Surfacing	
			Flange	

Fuente: INDURA. S.A. 2007.

Cordón de Soldadura

La parte más importantes o de mayor relevancia para el análisis de un cordón de soldadura se detalla en el siguiente gráfico:

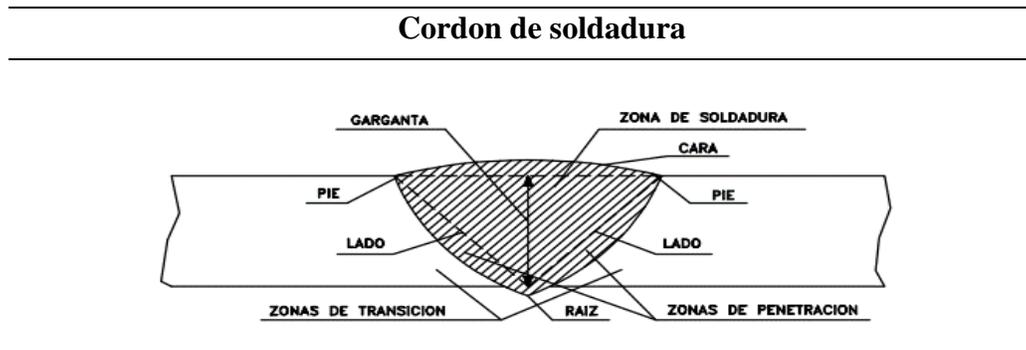


Figura 4. Partes principales de un cordón de soldadura (INDURA. S.A. 2007).

Cabe señalar que la geometría de los cordones de soldadura se caracteriza por el sobreespesor, anchura y penetración, mismos que se encuentra normalizados y con parámetros de ajuste y calibre preestablecido de acuerdo al procesos de soldadura, tipo de material base y espesos del mismos, factores que requieren de un control específico para garantizar el correcto funcionamiento de la junta soldada, sumando estos factores a la correcta o incorrecta aplicación del método se determinaría los parámetros de productividad y el coste de la unión de la estructura metálica

Proceso de Soldadura GMAW

El proceso GMAW se caracteriza por contar con un arco de metal y gas totalmente controlado, además de corriente continua con polaridad invertida, utiliza alambre consumible sólido y desnudo, mismo que al ingresar en el proceso de soldabilidad es protegido por una atmosfera generada por CO₂ inducida externamente.

Existen dos medios para la aplicación este proceso:

- Método Manual, con Pistola movida a mano: para soldar en todas las posiciones,

- Método Automático, con cabezal autónomo: con utilidad principalmente en soldaduras de posición plana.

El aporte de material base en el proceso MIG; se logra por el método del arco de rocío que utiliza electrodos de diámetro, 0.045 a 0.125 plg, o el método del corto circuito que establece un arco todo el tiempo y utiliza electrodos de menor diámetro como los de 0.020 a 0.45 plg.

“La soldadura de arco protegido con fundente es una variante de este proceso, en el cual se utiliza un electrodo recubierto de fundente alimentado en forma continua, a la vez que una protección de bióxido de carbono, esta doble protección permite lograr soldaduras más resistente en las aplicaciones semiautomáticas y automáticas”. (Horwitz, 2002)

Por ende, podemos describir al proceso de soldadura GMAW, como un proceso semiautomático, automático o robotizado de soldadura, que utiliza electrodo consumible, como material de aporte, mismo que es alimentado de forma continua a la pistola para su despacho y producción del arco voltaico; tanto el arco, como el baño de soldadura es inmediatamente protegido con gas, mismo que puede ser inerte o activo. (Llano, 2009).

El proceso GTAW puede utilizar corriente continua y alterna, la elección de la polaridad se la realiza función del material a soldar, proporcionado con ello dos terceras partes de la energía total en forma de calor en el metal base. Las intensidades de corriente son del orden de 50 a 500 Amperios (A). Las relaciones entre el tipo de corriente y de polaridad que pueden ser usadas en este proceso son:

Según el *Manual de Soldadura del INCHISOL* (2007), las ventajas de este proceso GTAW, comparadas con los procesos SMAW, FCAW y SAW:

- Los cordones de soldadura pueden ser ejecutados en todas las posiciones (dependiendo siempre del modo de transferencia metálica)
- No siempre requiere la remoción de escoria.
- La velocidad de depósito es relativamente elevada
- Los tiempos requeridos para la ejecución de un cordón de soldadura, son aproximadamente la mitad de los requeridos por los procesos SMAW.
- Existe una menor distorsión en partes o piezas intervenidas

- Alta calidad de la unión de piezas
- Mediante este proceso puede soldarse juntas con aberturas de raíz relativamente grandes, lo cual viabiliza ciertas tareas de reparación.
- El material de aporte es aprovechado en su totalidad, lo que reduce el coto total del cordón de soldadura. (Olivia, 2007).

Las desventajas del proceso de soldadura GMAW, radican en sus equipos son más complejos, más costoso y requieren de una mayor logística para su transporte. El arco de soldadura debe protegerse contra corrientes de aire que puedan dispersar el gas protector. Limitando sus aplicaciones en exteriores, etc., (AWS. 1996).

Las uniones soldadas utilizando el proceso GMAW en el *Estudio Identificación Metalográfica de las Fases en una Junta Soldada de Acero Estructural Microaleado y su Influencia en el Mecanismo de Fractura (2013)*, constan las siguientes características:

- El modo de operación o tipo de transferencia es por corto circuito.
- La soldadura fue ejecutada en posición plana 1G.
- El electrodo escogido fue el ER70S-6 marca West & Arc, con 0.9 mm de diámetro (material de aporte apto para trabajar con mezcla de gases y capaz de resistir amperajes altos).
- Se utilizó una mezcla de argón y CO₂ en cantidades del 75 % y 25% respectivamente a 4500 Kpa.
- Velocidad de aporte 4,5 m/min para Acero ASTM A 36 (3 pases máximo).

Metal de Aporte AWS ER 70S-6

Según el catálogo *Welding Wire 70S-6, Microalambre Sólido de INFRA (2015)*, “Son los alambres de mayor rendimiento y menor costo para la soldabilidad de estructuras metálicas”. Como características contienen manganeso y silicio, generando soldaduras con menor cantidad de defectos, como: porosidades y agrietamientos, al igual que una gran eficiencia en la aplicación debido a que genera residuos mínimos de escoria y tiene una buena penetración; Estos alambres son adecuados para casi todo tipo de acero (Ver *Tabla 10*), desde aceros al carbono calibre 14

hasta placas de ½”; case señalar que tiene una gran versatilidad al funcionar con diversas mezclas de gases que producen un charco con buena fluidez.

A través del *código AWS D1.1: 2010*, se puede determinar qué tipo de acero es el más conveniente según sus características:

Tabla 9.

Características técnicas y propiedades mecánicas ER70S-6.

E	R	70	S	-	6
Electrodo proceso Arco Eléctrico varilla	Presentación en hilo (rollo)	Mínima tensión 70.000 Ps	de Hilo macizo o sólido.	-	Niveles altos de Manganeso y Silicio. Función polaridad positiva.
Limite elástico	Resistencia a la tensión		Elongación (%)		Impacto de AKV
≥ 420 MPa	≥ 500 MPa		≥ 22		≥ 27 (-29°C)

Fuente: Fuente: Ramírez, et al., 2009 e INFRA Welding Wire 2015.

Microestructuras en el proceso GMAW

El Estudio de la zona afectada por el calor y el metal de soldadura de cordones soldados con diferentes proceso sobre *las tapas de acero de grano ultrafino (2008)*, realiza un análisis de platinas de acero microaleado con Nb y Ti después de haber sido sometidos a diferentes tratamientos térmicos y deformaciones en el tibio para purificar su tamaño de grano. Este estudio se basa en efectos que tienen los procesos GMAW en sus tres modos:

- Corto circuito (SC).
- Doble pulso (SC), y
- Transferencia por tensión superficial (STT).

Para este tipo de estudios se requiere preparar tres probetas con los materiales que han sido tratados en los diferentes intervalos de tiempo con los cordones de soldadura de cada uno de los procesos, ya que estos ciclos o tratamientos alteran el equilibrio de las propiedades requeridas por el pre-proceso de soldadura. Para validad el proyecto se caracterizaron los parámetros de los

procesos PAW y GMAW, realizando un análisis dimensional de los cordones, y ponderando los micro-constituyentes de las diferentes zonas del cordón. Midiendo el tamaño del grano y su microdureza.

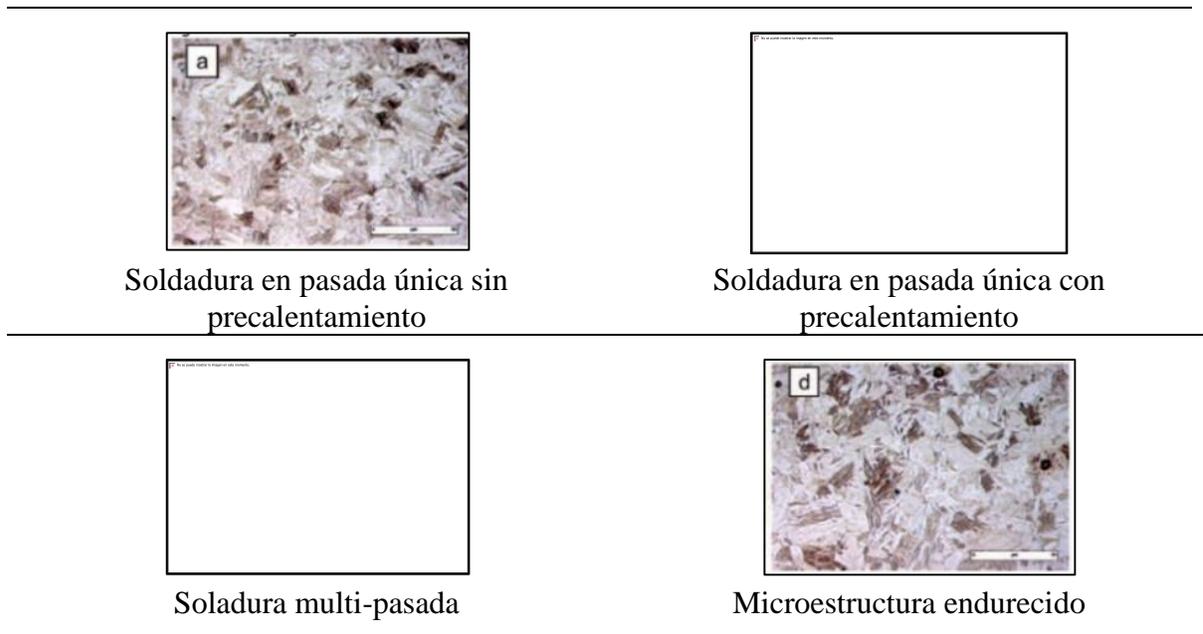


Figura 5. Metalografía ZAC (Martínez, et al., 2011).

Un análisis de la microestructura de cordones de soldadura, consiste en observar por medio de un microscopio el cordón de soldadura, con el que se pueden evidenciar: irregularidades, discontinuidades y cambios metalográficos que esté presente, también podemos visualizar: Precipitados, mono cristales ó granos, formas y dimensión de los granos, fases u orientación cristalina (Martínez, et al., 2011).

Según *Analysis of Mechanical Behavior and Microstructural Characteristics Change of ASTM A-36 Steel Applying Various Heat Treatmen (2016)*, la predicción de transformaciones de microestructura es un requisito previo que garantiza la total confiabilidad de las propiedades mecánicas después de un tratamiento térmico, generación de tensiones y demás esfuerzos durante un tratamiento térmico. El posterior modelado de la transformación de la microestructura es uno de los principales desafíos (Ver *Figura 6*). Durante la etapa de recocido, los procesos de ablandamiento están en marcha la deformación de la microestructura y, en algunos casos, su

recuperación y recrystalización toma lugar en gran proporción, naturalmente, la morfología de los carburos cambia.

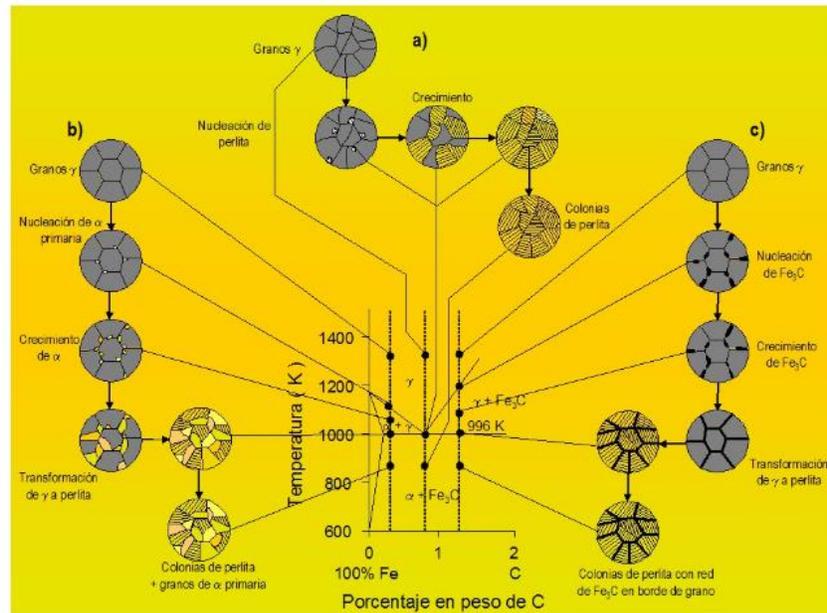


Figura 6. Diagramas de Fases de Microestructuras (Martínez, et al., 2011).

El examen de una microestructura de muestras tratadas y no tratadas se llevó a cabo, con cada muestra según lo detallado en la *Figura 7*, cabe señalar que fue cuidadosamente reparada mediante el esmerilado para la disminución de la tosquedad. Las superficies de las muestras se pulieron usando Al_2O_3 portado en una micro vestimenta. Las estructuras cristalinas de los ejemplares se hicieron visibles mediante grabado usando una solución que contiene 5% de cloruro cúprico, 8% de ácido HCl y 87% espíritu mutilado en las superficies pulidas. Para el análisis microscópico de la superficie grabada de varias muestras se utilizó un microscopio metalúrgico con una cámara incorporada a través del cual la microestructura resultante de las muestras fue fotográficamente y grabado con aumento de 400 (Hasan, 2016).

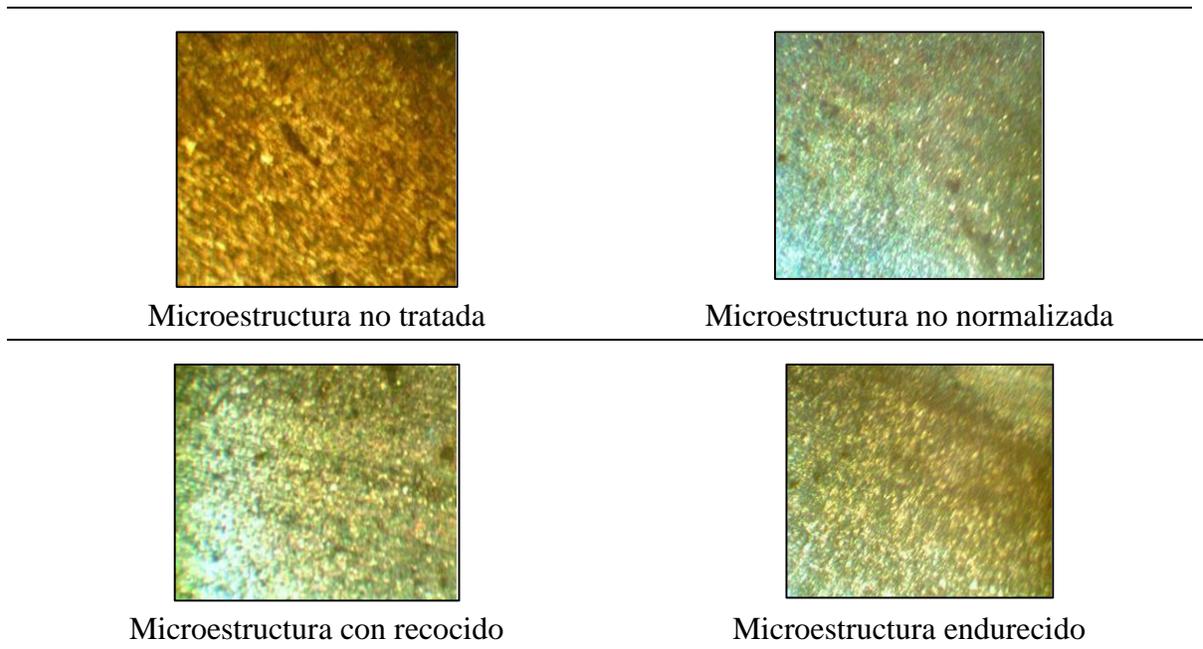


Figura 7. Microestructuras Acero ASTM A-36 (X400). (Fuente: Hasan, 2016).

Ensayos No Destructivos y Pruebas Mecánicas

Parámetros a seguir para la inspección visual de juntas soldadas

Según el *Libro de Evaluación de Especificaciones American Welding Society. Part B, Apéndice VII (2006)*, es necesario remover toda la escoria existente en las soldaduras terminadas, para posteriormente con el uso de un cepillo metálico o un medio semejante se realice una exhaustiva limpieza, para así garantizar la total viabilidad de la inspección visual

Toda soldadura ejecutada en el presente estudio deberá cumplir con los criterios de aceptación geométrica y visual, previa a la ejecución de cualquier prueba de ensayo destructivo o no destructivo. Los criterios de aceptación mínimos son:

1. El cordón de soldadura debe carecer de fisura alguna.
2. Debe existir una fusión completa entre capas adyacentes del metal soldado, la soldadura y el metal base.
3. Todos los cráteres deben ser llenados en la sección transversal de la soldadura

4. Los perfiles de la soldadura deben estar acorde a los apéndices V y VI del *Libro de Evaluación de Especificaciones American*
5. Cuando la soldadura es transversal al esfuerzo principal en la parte que se encuentra la socavación, la misma no debe ser mayor que 0.25mm (0.010 plg) de profundidad.
6. Cuando la soldadura es paralela al refuerzo principal en la parte que esta la socavación, esta no debe ser mayor a 0.80mm (1/32 plg) de profundidad.
7. La suma de los diámetros de porosidad visibles no debe sobre pasar los 9.50 mm (3/8 plg) en cualquier pulgada lineal de soldadura. Ni la suma debe exceder los 19.00 mm (3/4 plg) en 305 mm (12 plg) de longitud de soldadura.
8. En cualquier soldadura de filete continua, se permite en todo el largo de una disminución de 1.6mm (1/16 plg) del tamaño del filete nominal específico.
9. La inspección visual puede iniciar posterior a que la soldadura haya sido ejecutada en su totalidad y la misma se encuentre a temperatura ambiente. Para los aceros ASTM A 514 y A517 la inspección visual no será ejecutada antes de 48 horas después de haberse completado la soldadura y remoción del precalentamiento.

Cabe señalar que todo golpe de arco fuera de la ranura de la soldadura están prohibidos.

Otra norma que será aplicable para este tipo de ensayos es la *ISO 3452-2013 Pruebas - No destructivas – Tintas Penetrantes*, misma que vendría directamente logada con los estándares señalados en la norma *ISO 5817-2014 Soldadura –Fusión- Uniones soldadas en acero, níquel, titanio y sus aleaciones. Niveles de calidad para imperfecciones.*

Análisis Macro y Microscópicos

Implementado este tipo de ensayos probetas en sentido transversal a la unión y ejecutando análisis en zonas parciales, se utilizaron dos técnicos de ataque para fijar adecuadamente las fases de interés:

- Un ataque químico con Nital 2% seguido del reactivo.
- Un doble ataque electrolítico

Estos reactivos darán una adecuada definición de las zonas locales frágiles en el microscopio óptico, permitiendo su cuantificación. Evidenciando microestructuras susceptibles en la soldadura, mismas que son analizadas para determinar el efecto revenido.

Cabe señalar que a pesar del bajo aporte térmico y de la cantidad de pasadas no se puede evitar la aparición de fases frágiles, ya que son generadas por un mecanismo que involucra a los ciclos térmicos y efectos de composición; por ende se concluye que un precalentamiento favorece la disminución de efectos, lo que incrementa el tiempo de enfriamiento y por tanto la permanecía en el rango inter-crítico de las temperaturas (Zalazar, et al., 1998).

La prueba de *Inspección Phased Array* permitió detectar un defecto en la soldadura, lo que desencadenó en una acción inmediata para el retiro del tubo en servicio y su posterior evaluación; las deducciones obtenidas con espectrometría de emisión, para el metal base y la ZAC, no revelaron cambios significativos, e indicaron que durante el proceso de soldadura se presentó una redistribución de la microestructura sin cambios químicos. Cabe señalar que las pruebas de macro-ataque revelaron la presencia de una grieta ubicada en la zona de sobrecalentamiento muy cerca de la línea de fusión de la soldadura, lo cual puede ser atentatorio para durante los sobreesfuerzos del arreglo estructural (Melgarejo, 2013)

Ensayos Metalográficos y de Termofluencia Acero ASTM A 36

El Ensayo metalográfico a 400x señalado en la *Figura 8*, realizado en el acero ASTM A36 a 100 micrones de fractura, con probetas atacadas con Nital 4% Para la estimación de curvas de tensión-deformación a temperatura elevada, fue necesario una curva completa de tensión-deformación en función de la temperatura como entrada para el elemento finito modelado. Porque no es factible caracterizar los todos los diferentes aceros WTC por su alta temperatura.



Microestructuras a 500°C



Microestructuras a 550°C



Microestructuras a 600°C



Microestructuras a 650°C

Figura 8. Microestructuras acero ASTM A 36 (Caicedo, et al., 2017).

Para evaluar el comportamiento tensión-deformación, es necesario una metodología para estimar las curvas de tensión-deformación para cada acero (Ver *Figura 9*). Las curvas de tensión-deformación (a-s) de los más de veinte aceros estructurales WTC, pueden ser agrupados en dos clases según su forma y el límite de elasticidad mínimo especificado. Las 8 curvas de baja resistencia a la fluencia (A 36, $F_y = 36$ ksi) aceros difieren de las de mayor resistencia a la fluencia ($F_y > 36$ ksi) aceros. Los aceros de baja resistencia se endurecen en un rango de deformación mayor, incluso cuando desarrolle la misma resistencia a la tracción (TS) que los aceros de mayor resistencia f. endurecido (Luecke, et al., 2005).

Según el *Artículo Resistencia de Materiales de Ingeniería Mecánica, donde se Estudió el Grado de Degradación del Acero ASTM A 36, sometido a Termofluencia* (2017), “La termo fluencia es la combinación simultánea de carga y temperatura elevada a la que se expone un material por un periodo de tiempo, en el cual su comportamiento mecánico constituye un nuevo campo de investigación. En esta investigación se determinó los resultados experimentales de la degradación del acero ASTM A 36 por efecto del refuerzo moderado aplicando 1223.14 kg/cm^2 en un rango de temperatura de 500 a 650 °C”. Según lo señalado en la *Figura 9*.

Para la ejecución de los ensayos de termofluencia analizadas en la *Figura 9*, las temperaturas consideradas se emplearon muestras planas de sección reducida, obtenida en sentido paralelo a la laminación de la plancha y dimensionada según la Norma ISO 6892:1998.

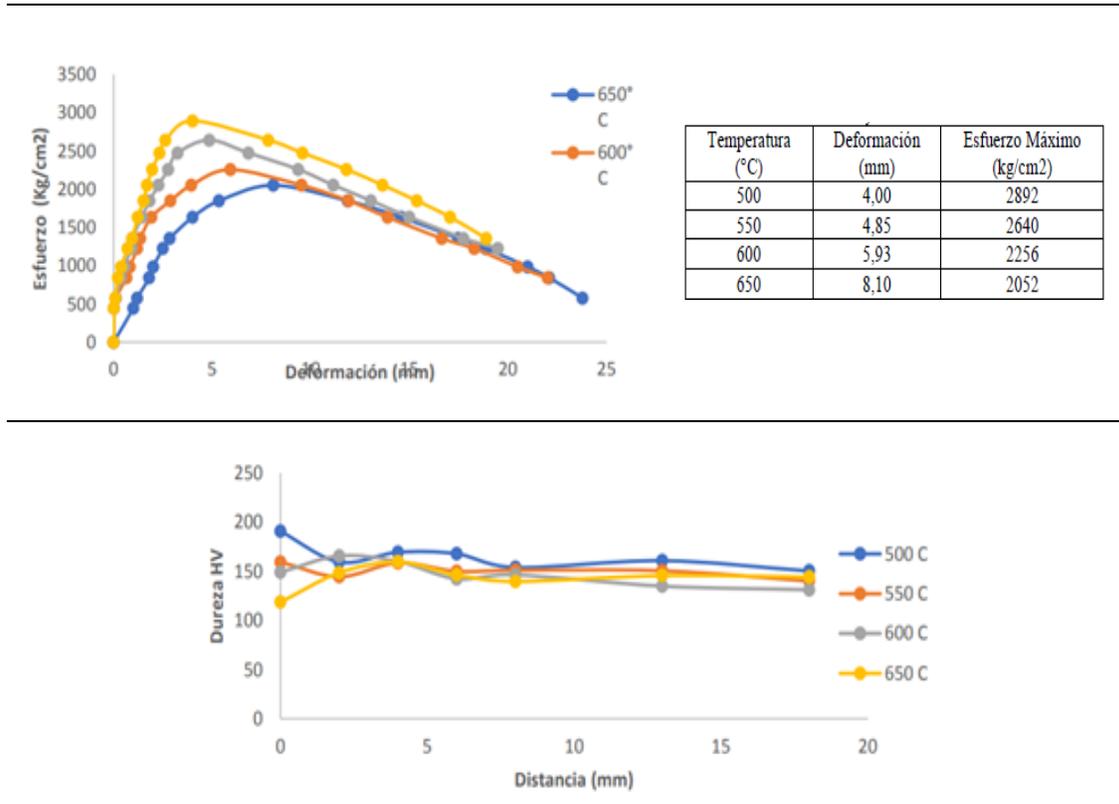


Figura 9. Diagrama Esfuerzo & Deformación Acero A36 a 500°C, 550°C, 600° y 650° (Caicedo, et al., 2017)

La zona de fragilidad creada por una modificación de la estructura cristalográfica del acero (zona azul), es producto de las temperaturas alcanzadas y su brusco enfriamiento, lo que en la práctica se traduce en las reacciones químicas no alcanzan a cerrar su ciclo.

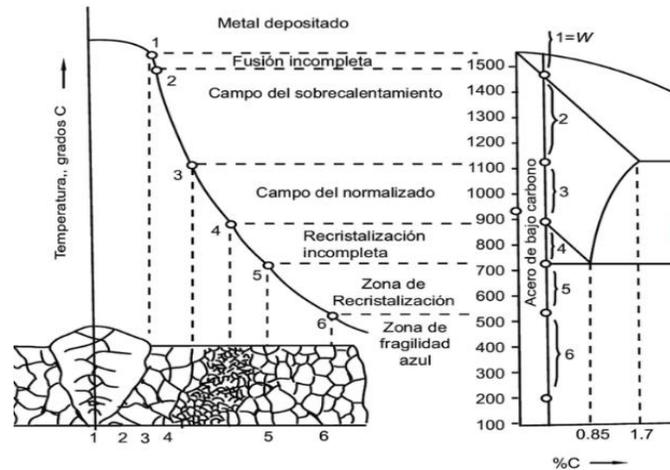


Figura 10. Diagrama de solidificación del material fundido en el charco de soldadura (Soldadura, aplicaciones y práctica)

Requerimientos generales de soldadura

El propósito de detallar las especificaciones de la soldadura (WPS) y elaborar el registro de calificación de procedimiento (PQR), el registro de calificación de procedimiento (PQR), es determinar que la soldadura propuesta para la fabricación de los diferentes elementos pueda dar las propiedades requeridas para la aplicación diseñada.

Según el *Código ASME IX Part QW Welding. (1998)*, Las pruebas o ensayos mecánicos, destructivos como no destructivos, más importantes para establecer parámetros que la soldadura a evaluar tenga las propiedades requeridas para su uso y aplicación según la parte QW de la sección IX son:

- QW-190. Pruebas No Destructivas
- QW-141. Pruebas Mecánicas

Para la ejecución de los diferentes ensayos mecánicos requeridos en el presente estudio, también existen metodologías enmarcadas en las normas ISO que podrían ser de gran utilidad, empleando:

- ISO 5173. Ensayo de doblado o flexión guiado
- ISO 5178-1. Ensayos de tracción

- ISO 9015-1. Ensayos para Determinación del grado de Dureza
- ISO 9016. Ensayos de Impacto de Soldadura
- ISO 6892-1. Ensayo de tracción Material base
- ISO 7438. Ensayo flexión Material Base

Para lo referente a ensayos metalográficos, tanto para ataque químico como para el procesamiento de la muestra mediante el microscopio se en varios estudios se utiliza las normas

- ISO 17639. Preparación y análisis macroestructural
- ISO 17640. Preparación y análisis microestructural

Pruebas No Destructivas:

En esta etapa se pueden incluir la ejecución de todos los ensayos no destructivos usados para una acertada calificación de la junta soldada y por ende del procedimiento de soldadura utilizado, para determinar así las diferentes habilidades del soldador, las principales pruebas a ejecutarse son:

- Inspección visual (RV)
- Exámenes por líquidos penetrantes (PT)
- Examen radiográfico (RT) Aplica para casos y procedimientos especiales

Durante la etapa de Inspección visual de una junta soldada se aplican varios procedimientos para garantizar que las mismas se encuentre bajo estándares de conformidad preestablecidos; A partir de los resultados de dichas pruebas se debe realizar el criterio de aceptación.

Equipos utilizados:

- Kit de galgas de medición con longitudes y geometrías acordes a los cordones soldadura a evaluar.
- Kit de tintas penetrantes visibles coloreadas (Kit de tintas penetrantes marca Chem-pak
- Paños de limpieza, cámara digital, flexómetro e implementos de seguridad.

Connotaciones adicionales para inspecciones de soldadura:

- Cada proceso de ensayo tiene por objetivo determinar un tipo específico de defectos a detectar, y su ejecución se encuentra ligada al criterio de diseño y/o objetivo operativos de cada uno de los cordones inspeccionados:

Tabla 10.

Discontinuidades en Ensayos No Destructivos.

Tipo de ensayo no destructivo	Siglas	Discontinuidad a ser detectada
Inspección visual	VT	Sobremonta, salpicadura, concavidad, grietas, traslape
Partículas magnéticas	MT	Socavaduras y grietas
Líquidos penetrantes	PT	Socavaduras y grietas
Rayos x	RT	Falta de fusión, penetración excesiva, grietas, inclusiones
Ultrasonido	UT	Falta de fusión, grietas, porosidad, inclusiones, laminación

Fuente: TC Tecnicontrol & Bureau Veritas. 2015.)

El ensayo de tintas penetrantes (PT) es considerado como una técnica que a través del transporte de material busca revelar discontinuidades abiertas en la superficie, para mostrar la presencia de grietas pasantes en la soldadura. Según lo contemplado en las normas ISO los requerimientos básicos a considerarse para la etapa de inspección inicial son:

- *ISO 5817-2014* Soldadura – Fusión- Uniones soldadas en acero, níquel, titanio y sus aleaciones. Niveles de calidad para imperfecciones
- *ISO 3452-2013* Pruebas no destructivas. Tintas Penetrantes

Pruebas Mecánicas

Esta sección incluye los ensayos mecánicos destructivos (ED) que deben ser realizados para la determinar características técnicas de la junta soldada y del material de aporte; mismos que serán comparados con los estándares enmarcados en las diferentes normas para calificar o rechazar la soldadura, los principales ensayos a ejecutarse son:

1. Ensayo de tracción.
 - Resistencia a la tensión máxima
 - Esfuerzo de cedencia
 - Porcentaje de elongación
 - Porcentaje de reducción del área
2. Ensayo de doblez guiado. (Resistencia al doblez)
3. Ensayo de impacto
4. Ensayo para soldadura de filetes (Pruebas de fractura y Macro Ataque)

Equipos utilizados:

- Máquina de Ensayos Universal 1500 KN para materiales metálicos. de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- Cámara digital

Dimensiones de Probetas:

Las probetas pueden ser fabricadas bajo estándares señalados en el código AWS D 1.1, AWS D 1.3, en la norma *ISO 6892-1:2009* y demás estándares que permitan un correcto dimensionamiento en función de las pruebas a ejecutar.

El dimensionamiento de las probetas para el ensayo de tensión de acuerdo con el código AWS D 1.1, se detallan en la *Figura 11*.

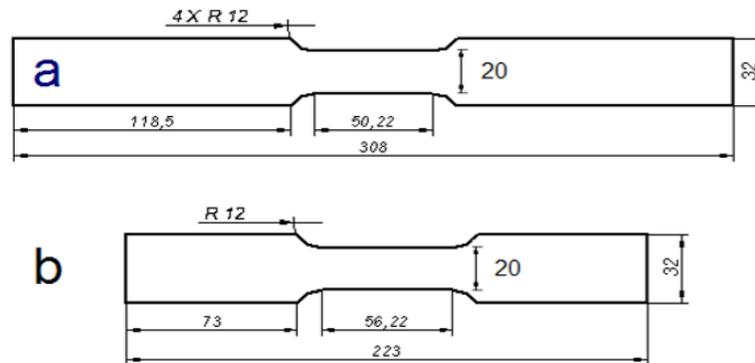


Figura 11. Probetas para ensayo de tensión acero ASTM A-36 (Código AWS D 1.1).

En la tabla 12 se detalla el dimensionamiento de las probetas para el ensayo de Tensión de acuerdo a norma ISO 6892-1:2009; *Tabla 1 B. Dimensionamiento de probetas para espesores de 0.1mm y 3mm.*

Tabla 11.

Probetas para ensayo de tensión.

Tipo de probeta	Anchura b_0	Longitud inicial entre puntos L_0	Longitud de la parte calibrada L_c	Longitud libre ente las mordazas para probetas de lados paralelos
			Mínima Recomendada	
1	12.5	50	57 75	87.5
2	20	80	90 120	140
3	25	50 ^a	60 ^a -	No definida

^a El radio L_0/b_0 y L_c/b_0 de las probetas del tipo 3 es muy bajo en comparación con el tipo 1 y 2. Esto se supone que las propiedades, en especial el alargamiento de rotula (Valor absoluto y rango de dispersión), medidas con esta probeta difieran las de otros tipos de probeta

Fuente: Tabla 1. B de la norma ISO 6892-1:2009.

Sistemas de Control y Aseguramiento de la Calidad

Consideraciones para Implementar un Sistema QA/QC

El poder asegurar la calidad y establecer directrices para su control parte esencial de toda sociedad que diseña y produce, tanto en las aplicaciones básicas de Ingeniería, así como en las de detalle. Los ingenieros QA/QC son los responsables de mantener el nivel de calidad de un producto o servicio entregado. Una fortaleza de este personal es la de por medio de parametrizaciones, procedimientos y/o estadísticos, distinguir errores en la Ingeniería y cada una de sus etapas de Ingeniería, Compras, Construcción, Gerencia, etc. Permitiendo realizar correcciones de posibles errores, interferencias y/o fallas en especificaciones técnicas, procesos, maniobras, etc.; ya que todo error de ingeniería se encuentra asociado a gastos adicionales o pérdidas de tiempo por lo que es necesario sean corregidos oportunamente. (Corday, 2010).

La primera consideración es que una implementación de procedimientos de QA/QC requiere recursos, experiencia y tiempo. Además es necesario mantener en cuenta los siguientes ítems:

- Recursos requeridos para QC.
- Tiempo asignado para realizar los controles y revisiones.
- Disponibilidad y acceso a información sobre procesos y procedimientos QA.
- Requisitos para calificación de los procedimientos.
- Frecuencia de las verificaciones de QA/QC para verificación de la implementación.
- Un mayor esfuerzo en QC dará como resultado mejores estimaciones y menor incertidumbre.
- Experiencia suficiente para realizar las revisiones y verificaciones

Según los *Requisitos para el aseguramiento y control de la calidad (QA/QC)* implantados por YFPF en el año 2016: mediante la documentación expuesta a continuación se puede verificar la correcta aplicación de un proceso de soldadura:

- Planes de inspección y ensayos firmados por el fabricante y personal de inspección procedimientos de fabricación.
- Planos, As Built, etc.
- Hojas de Datos, especificaciones, etc.
- Memorias de cálculo, etc.
- Informes de estudios de ruido, vibración, etc.
- Certificados de calidad del suministro
- Certificado de conformidad del Fabricante.
- Certificados de estampas y marcados y su inscripción en los organismos oficiales según corresponde ASME, ISO, ASTM, CE, etc.
- Certificado de los materiales, incluyendo ensayos mecánicos, físicos y químicos de todos los materiales involucrados en el proceso. Con su respectiva trazabilidad.
- Registros de tratamiento térmico y alivio de tensiones. (Incluyendo laudos).
- Registro de No Conformidades (NC) ocurridas durante el proceso de fabricación y las acciones correctivas aplicadas.
- Certificados de calibración de todos los instrumentos utilizados para la inspección y ensayos ejecutados.
- Procedimiento para ejecución de reparaciones (Cuando aplique)
- Informe de inspección visual y exámenes dimensionales. (Welding Map)
- Procedimiento de soldadura (WPS)
- Registro de clasificación de Procedimientos de soldadura (PQR).
- Registros de calificación de soldadores y operadores de soldadura, etc.
- Certificados de consumibles de soldadura.
- Registro de calificación del personal encargado de los ensayos no destructivos
- Pruebas funcionamiento, etc.

Funciones de un Inspector QA/QC

“Aseguramiento de la calidad (QA): las actividades inmersas en esta fase incluyen un sistema planificado de procedimientos realizados por el personal directa e indirectamente involucrado en la actividad, esta actividad tiene por objetivo verificar que se cumplan los objetivos de calidad trazados, además de respaldar la efectividad del programa de control de

Calidad (QC). Estas actividades incluyen auditorías y revisiones por pares expertos.” (Lòpez, et al., 2015).

Control de Calidad (QC): Este filtro incorpora al sistema actividades técnicas como una rutina para verificar, medir y controlar la calidad del entregable, proceso y/o tarea en ejecución. El Control de calidad está diseñado para:

- Proporcionar comprobaciones rutinarias y constantes para garantizar la integridad, y/o su corrección.
- Identificar y abordar errores u omisiones.
- Documentar y archivar documentos para un reproceso o garantizar la aplicación de mejoras continuas

Un gerente de control de calidad evalúa el uso esperado de los materiales y equipos e identifica los tipos de materiales y equipos que pueden afectar la calidad del proyecto. Para cada elemento, el Administrador de QC establece las especificaciones para su uso previsto, que incluyen:

- Cumplimiento de los requisitos del contrato
- Cumplimiento de los estándares del código y la industria y requisitos de listado
- Aspecto
- Identificación del producto para trazabilidad.

Un QC Manager asegura que los procesos de trabajo estén controlados para garantizar que se cumplan los requisitos especificados. Cuando corresponda, el Administrador de QC especificará los estándares de calidad del proyecto para procesos de trabajo que pueden incluir:

- Referencias de procedimientos documentados tales como instrucciones de instalación del fabricante
- Procedimientos para llevar a cabo pasos de proceso
- Métodos para monitorear y controlar procesos y características
- Criterios de aceptabilidad para mano de obra Herramientas, técnicas y métodos

Un gerente de Control de Calidad prepara un formulario de inspección para cada tarea a ser ejecutada, mientras el administrador de control de calidad enumera en los puntos de control de formulario para mayor conciencia, incluyendo:

- Requisitos iniciales de inspección listos para el trabajo
- Inspección y pruebas
- Requisitos de inspección de trabajo en proceso
- Inspecciones de calidad de finalización
- Otros requisitos de calidad necesarios para reducir los riesgos de calidad

La persona responsable de la inspección, registra los resultados de la inspección.

Reportes de Inspección QA/QC

Para poder ejecutar un acertado control durante los trabajos de inspección, todas las juntas deberán encontrarse numeradas, en caso de que no contengan la numeración respectiva el inspector realizara la misma conforme a las prácticas comúnmente utilizadas.

Según la *Guía del inspector de soldadura de Mikayáh (2011)*. El inspector de soldadura verificara principalmente, la existencia y correcta administración de los siguientes registros y/o reporte:

- Todos los reportes de inspección generados. (Incluye registros estipulados dentro de las funciones contractuales del inspector.
- Certificados de los materiales base y de aporte
- Lista de soldadores
- Reporte de cada soldador, sus calificaciones y referencias de soldaduras ejecutadas.
- Lista de todos los WPS utilizados
- Copias de los WPS, PQR y WPQ usados en la obra
- Reporte de inspección no destructiva (incluye soportes imágenes, etc.).

Defectos en un cordón de soldadura

Los diferentes perfiles de soldadura pueden ser subdivididos en aceptables y no aceptables

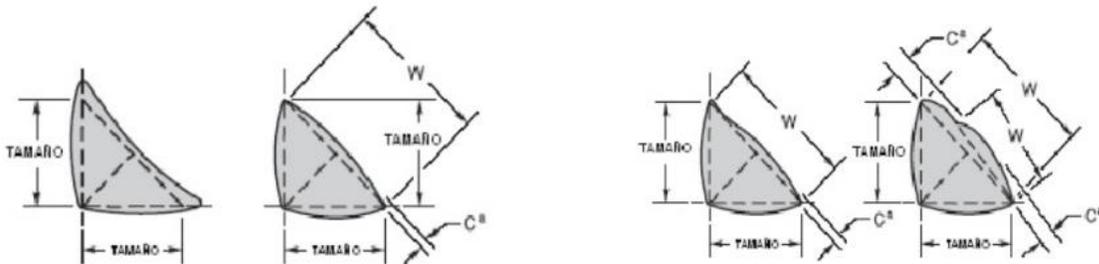


Figura 12. Perfiles de soldadura deseables y aceptables (AWS- Part B- Apéndice V).

En la *Tabla 13*, se señala el dimensionamiento de la superficie del cordón de soldadura (W) y la convexidad (C) permitida para un cordón de soldadura según las especificaciones solicitadas por la AWS.

Tabla 12.

Dimensionamiento del Condón de soldadura y su convexidad admisible.

Superficie individual del cordón (W)	Convexidad máxima (C)
$W < 5/16$ plg	1/16 plg
$W > 5/16$ plg hasta $W < 1$ plg	1/8 plg
$W \geq 1$ plg	3/16 plg

Fuente: Libro de evaluación de especificaciones AWS - Part B- Apéndice V

Una acertada manera de identificar defectos en una inspección manual es mediante la ejecución de “Ensayos No Destructivos de junta soldados” (Ver Figura 13), por medio del uso de líquidos. Penetrantes, mismo que evidencian de una manera más clara los defectos que podrían alterar parcialmente el resultado de las pruebas mecánicas a ser ejecutadas.



Figura 13. Aplicación de Tintas Penetrantes (ASTM E165 / E165M).

Especificación del procedimiento de soldadura WPS.

El WPS, es el documento que provee instrucción para que un operador pueda realizar la soldadura de acuerdo a los requerimientos y exigencias ceñidas en códigos y normas; además de especificar las condiciones bajo las cuales se ejecutara la soldadura, formalizando el proceso a utilizarse, tipo de material base, material de aporte, precalentamiento, tratamiento térmico y demás aspectos considerados en el diseño de la junta soldado.

El propósito del WPS es determinar si la soldadura propuesta es capaz de proveer las propiedades de resistencia y las características mecánicas requeridas por el diseñador. Cabe señalar que este instrumento describe todas las variables esenciales, no esenciales e incluso las suplementarias para cada proceso de soldadura. (Código ASME Sección IX. 2013).

Según la *Guía del Inspector de Soldadura*. (2011), durante la operación de soldeo el inspector comparará contra los WPS calificados (Según su aplicación), la siguiente información:

- Procedimiento de soldadura GMAW.
- Ficha técnica de alambre de aporte (Identificación, tamaño y características).
- Precalentamiento de la Unión.
- Posición utilizada para soldar.
- Tipo de gas, tipo de tobera y demás aditamentos.
- Tipo de corriente, polaridad, amperaje, voltaje en cada paso de soldadura, etc.
- Temperaturas existentes entre pases.

- Tipo de transferencia del metal para GMAW
- Velocidad del alambre
- Tipo de cordón ejecutado (recto u oscilante), dimensiones geométricas, etc.
- Cantidad de pases utilizados y nivel de limpieza utilizado (para acabado o entre pases).
- Metodología utilizada para sanear la raíz
- Distancia entre la tobera y la pieza
- Cordones ejecutados por un lado o por ambos
- Velocidad de avance
- Tratamiento térmico ejecutado posterior a la soldadura
- Cualquier otro aspecto que a consideración del inspector pudiese afectar a la calidad de la junta soldada

Procedimiento de registro de calificación PQR. (Procedure Qualification Record)

La ejecución de un PQR, es el segundo paso para poder calificar un procedimiento de soldadura, este documento registra variables esenciales e información específica para la fabricación de la probeta de soldadura bajo estándares normados. En este documento también se incluyen las variables suplementarias cuando la situación así lo amerite.

Cabe señalar que el WPS es referencia para el PQR, y viceversa, por ende, se sugiere utilizara formatos donde se puede observar parámetros como:

- Diseño de la junta.
- Espacio de raíz
- Uso de refuerzo
- Material base y de aporte (propiedades de los materiales si se requiere)
- Posición de la soldadura
- Tratamientos térmicos post soldadura y de precalentamiento
- Características técnicas
- Composición del gas
- Técnica utilizada, etc.

Para el caso PQR, también es necesario añadir todas las pruebas destructivas que se realicen (Resultados de los ensayos de tracción y doblado). Además se requiere la intervención de un inspector calificado en Nivel II, que evalúe en este documento el desarrollo del procedimiento de soldadura, permitiendo contrastar los datos registrados en el WPS (Código ASME Sección IX. 2013).

Calificación de rendimiento de soldadura WPQ. Welding Performance Qualification

El WPQ es el instrumento utilizado para la calificación de un soldador, este documento permite determinar las habilidades del soldador para ejecutar trabajos de soldadura, calificando su destreza en la operación del equipo de soldadura para ejecutar cordones que cumplan con los diferentes estándares de aceptabilidad. Esta calificación es limitada por variables esenciales determinadas para cada uno de los diferentes procesos de soldadura (Código ASME Sección IX. 2013).

Los parámetros que un WPQ contiene para un proceso GMAW son: proceso de soldadura, tipo de soldadura, uso de refuerzo, propiedades del metal base, propiedades del material de aporte, posición de calificación y resultados de pruebas destructivas.

Niveles de certificación y credenciales para inspectores AWS

Según los *Standard for AWS Certification of Welding Inspector (2007)*, Existen 3 niveles de certificación AWS y credenciales específicas, para los técnicos responsables de la inspección de soldaduras. Estos niveles se definen de la siguiente forma:

- 1.- Inspector de Soldadura Senior Certificado (SCWI- Senior Certified Welding Inspector)
- 2.- Inspector de Soldadura Certificado (CWI – Certified Welding Inspector)
- 3.- Inspector Asociado de Soldadura Certificado (CAWI Certified Associate Welding Inspector).

El AWS emitirá a cada solicitante de SCWI, CWI y CAWI que cumplan con los requisitos de la *AWS B5.1. Especificación para la clasificación de inspectores de soldadura*, de

un número serializado (número único) Certificado y una tarjeta monedero que indique, que el solicitante ha cumplido con los requisitos de certificación AWS, habilitándolo para realizar inspecciones o para verificar que el trabajo de inspección y los registros obtenidos, se encuentran conformes a los requisitos de las normas aplicables.

Según la *norma AWS QC1:2007*, Una persona certificada por la AWS debe cumplir con los requisitos de calificación establecidos en los literales 5.3, 6.1 y 6.2 de la AWS B5.1 y también parte de la AWS B5.2.

Criterios de Falla

Según la investigación planteada en el *Estudio de Tolerancia de Daños en Uniones Soldadas de Acero ASTM A 36*. (1998), la falla FMAL en una estructura con una discontinuidad tipo grieta se puede presentar por fractura o por colapso plástico. La fractura se da por un crecimiento de grieta con una deformación plástica pequeña en el frente de ésta, cuando el factor de intensidad de esfuerzo aplicado se hace igual a un valor crítico conocido como tenacidad de fractura. Por otra parte; la falla por colapso plástico, que tiene lugar con una deformación plástica extensa en el frente de grieta, se supone que se presenta cuando el esfuerzo en la sección residual resistente alcanza un valor crítico de flujo plástico.

Es decir, la falla por fractura se presenta cuando:

$$K_I(S, a, D) = K_C(M, T, \delta S / \delta t) \quad (1)$$

Donde:

K_I : factor de intensidad de esfuerzo que depende del esfuerzo, nominal aplicado S , del tamaño de grieta a y de las dimensiones del componente D .

K_C : tenacidad de fractura del material que es influenciada por la microestructura M , la temperatura T y la rapidez de aplicación de carga $\delta S / \delta t$, K_C tienden a disminuir con el aumento del espesor; al valor mínimo se le denomina K_{IC} .

Por lo general $K_I(S, a, D)$ es de la forma:

$$K_I = \beta S \sqrt{\pi * a} \quad (2)$$

Donde:

$\beta = f(a/w)$ factor adimensional,

S = esfuerzo nominal remoto aplicado

a = dimensión característica del tamaño de grieta,

El esfuerzo nominal remoto de falla por colapso plástico SCOL para el caso de placa con una grieta central pasante es:

$$S_{col} = [1 - a/w] S_f \quad (3)$$

Donde S , es el esfuerzo crítico de falla por flujo plástico en la sección residual resistente.

Como una primera aproximación, el esfuerzo de falla por flujo plástico se supone que es el promedio de la resistencia a fluencia y la resistencia a tensión:

$$S_f = \frac{S_{ys} + S_u}{2} \quad (4)$$

Nota: El esfuerzo de flujo plástico calculado con la relación anterior se limita a un valor de 1,2 S_{ys}

MÉTODO

Investigación Experimental

Es el empleo de métodos empíricos, aplicación de normas técnicas, procedimientos estandarizados y buenas prácticas, mismas que consentirán una evaluación completa de las juntas soldadas con el proceso GMAW en estudio, mediante de ensayos destructivos, ensayos no destructivos, y análisis metalográfico. Permitiendo la elaboración de proceso de soldadura GMAW totalmente confiables para la construcción de estructuras metálicas para carrocerías de buses o sus auto partes estructurales, mejorado los procesos de construcción y mantenimiento de carrocerías metálicas con validación QA/QC

- La inspección: tiene como objetivo principal verificar los estándares de calidad implementados en los procesos de soldadura GMAW.
- El experimento: esta etapa se encarga en la ejecución de ensayo, calificación y enmarcación de los diferentes estándares en normas y metodologías preestablecidas para el presente estudio.
- Mediciones: verificación del cumplimiento y no cumplimiento de estándares requeridos en los procesos de soldadura GMAW.

Investigación De Campo

Para la correcta aplicación del presente estudio se requiere realizar un trabajo constante en campo para la inspección y verificación de varios parámetros que intervienen el proceso de soldadura GMAW como;

- Los materiales utilizados (Material Base, material y gas de aporte).
- Tipo de equipos y técnicas utilizadas.
- Formación profesional de los soldadores
- Formación profesional del equipo técnico que intervienen en el proceso y su supervisión

Investigación Documental /Bibliográfica

Extracto para el direccionamiento del estudio y procesamiento de variables utilizadas.

Tabla 13.

Estudio y procesamiento de variables

Variable	Niveles		
	Selección de los materiales a ser estudiados	Estándares y prestaciones del procesos de Soldadura GMAW	
	Código o Norma aplicable:	Código AWS D1,1: 2010 Código AWS D1,3: 1998 ASTM A36, A514 y A517 NTE INEN 1323	ANSI/AWS A3, 0-94 AWS D1.1:2010
Aceros estructurales y sus procesos de soldadura	Referencia Bibliográfica:	<ul style="list-style-type: none"> - Aranda P. (2009). Estudio de Aceros estructurales..... - AEADE (2014) Anuario del Sector Automotor..... - Cárdenas, et al., (2014). Propuesta de Diseño Estructural..... - Cházaro, R. (2014). Elección del tipo de acero para..... - Manual de Diseño para la construcción con acero (2012)..... - MIPRO. (2014.) Registro de Importadores-Exportadores..... - Ramírez, M. (2009). Diseño para la fabricación..... - Cepeda, L. (1998). Estudio de Tolerancia de Daño..... - Groover, M. (2007). Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials - Horwitz, H. (2002). Soldadura, Aplicaciones y Práctica..... - INDURA. S.A (2007). Manual de Sistemas y Materiales..... - INFRA Welding Wire 70S-6, Microalambre Solido..... - Llano, U. Carolina (2009). Soldadura GMAW-MIG/MAG..... - Olivia, M. Carlos (2007) Manual de Soldadura..... - Pastor, M. (2004). Introducción a la Metalurgia..... 	
	Ensayos no Destructivos	Pruebas Mecánicas	Análisis Metalográfico
	Código o Norma aplicable:	Norma ISO 6892-1: 2009 QW-141. Código ASTM IX ISO 5173 ISO 5178-1. ISO 9015-1. ISO 9016. ISO 6892-1. ISO 7438. ASTM E9-09 Especificaciones propias del Laboratorio	ASTM E3-01 ASTM E407 - 07 ISO 17639. ISO 17640
	Certificación	CWI / CAW ASTN NDT NIVEL II	SCWI / CWI ASTN NDT NIVEL II
Control de la Calidad para Validación QC	Referencia Bibliográfica:	<ul style="list-style-type: none"> - AWS. (1996). Manual de soldadura Tomo II..... - AWS. (2006). Libro de Evaluación de Especificaciones American..... - AWS. (2013). Welding Handbook. Welding Processes..... - Ordoñez, M. (2013). Análisis del Comportamiento Mecánico..... - TC Tecniconrol. (2015). Ensayos No Destructivos (END)..... - AWS. (1996). Manual de soldadura Tomo II..... - AWS. (2006). Libro de Evaluación de Especificaciones American..... - AWS. (2013). Welding Handbook. Welding Processes..... - Cepeda, L. (1998). Estudio de Tolerancia de Daño de Uniones - Luecke, W. (2005). Mechanical Properties of structural - Ordoñez, M. (2013). Análisis del Comportamiento Mecánico..... - Quesada, H. (2004). Ensayos TEKKEN en un Acero "ASTM A514 Gr B" - Segura, T. Juan, D. (2015). Caracterización Morfológica 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTM. (2012). A514 Grade B. High-Yield-Strength..... - Bloem, C. (2000) Estudio microestructural y de Resistencia de uniones - Bonello Tomás (2013) Efecto del modo de transferencia en el proceso GMAW... - García, G. (2016). Optimization of Experimental Temperature GTAW..... - Hasan, J. (2016). Analysis of Mechanical Behavior - Hurtado, A. (2014). Análisis Morfológico en uniones - Melgarejo, M. (2013). Determinación de las causas de falla - Ordoñez, M. (2013). Análisis del Comportamiento Mecánico..... - Porras, G. (2005) Identificación metalográfica de fases en una junta - Quesada, H. (2004) Ensayos TEKKEN en un Acero "ASTM A514 Gr B"

	Especificaciones para Calificación del Proceso	Especificaciones para Inspección de juntas soldadas GMAW	Acreditación /aceptación del Proceso y Juntas soldadas GMAW
Aseguramiento y Control de la Calidad QA/QC Proceso GMAW	Código o Norma aplicable:	QC1: 2007 Norma ISO 5817:2014 AWS B5.1. (literales 5.1 5.2, 5.3, 6.1 y 6.2 WPS, ASME Sección IX. 2013 PQR, ASME Sección IX. 2013	QC17: 2002 ISO 9001
	Certificación	SCWI / CWI / CAWI	SCWI / CWI / CAWI
	Referencia Bibliográfica:	- Código ASME Sección IX . (2013). Soldadura: Desarrollo y calificación..... - AWS. (2006). Libro de Evaluación de Especificaciones - Corday, H.(2010). El rol de la función Q/C.. - Pastor, M. (2011). Curso-Taller de Inspección de Soldadura	- Código ASME Sección IX . (2013). Soldadura: Desarrollo y calificación..... - AWS. (2006). Libro de Evaluación de Especificaciones - AWS QC1. (2007) Standard for AWS Certification - Mikayáh, Lévi. (2011). Guía del Inspector de Soldadura..... - Pastor, M. (2011). Curso-Taller de Inspección de Soldadura

Fuente: Varios Autores, Autoría Propia.

Investigación Proyecto de Desarrollo

El presente estudio es parte de la necesidad de una correcta aplicación del proceso de soldadura GMAW con material de aporte ER70S-6 y gas protector CO₂ validado por Aseguramiento y Control de la calidad, y parametrizado en un procedimiento para la para la construcción de estructuras metálicas y/o auto partes estructurales para carrocerías de buses en la industria ecuatoriana

Población y Muestra

Población: Estructuras metálicas y/o auto partes estructurales, fabricado por las industrias Carroceras Ecuatorianas, “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”.

Muestra: seccion 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 CO₂.

Procedimiento para Ejecución de la Junta Soldada

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.

Tabla 14.

Matriz de aplicación del Código D1.3, basada en el espesor de la placa.

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

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.

Fuente: Código AWS D1.3 / D1.3M: 2008

Cabe señalar que la especificación del procedimiento de soldadura o WPS (Welding Procedure Specification), están diseñadas para dar instrucciones específicas al personal responsable de la ejecución de las juntas soldadas (Soldadores) y a los encargados de inspeccionar la misma (Inspectores). El WPS contiene:

- Todas las variables esenciales y no esenciales, relativas al proceso de soldadura.
- Información adicional considerada necesaria para obtener las uniones soldadas deseadas

Tipo de junta a utilizar

El tipo de junta que se utiliza con frecuencia en la fabricación de carrocerías y estructuras metálicas para buses es “la Junta a Tope con Ranura Cuadrada”, esto debido a que el espesor de

acero promedio utilizado para este fin 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)*, *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG). (2008)*, mismos que sustentan esta recomendación por los siguientes factores:

- Una preparación sencilla,
- Mantener un bajo costo en el proceso
- Garantizar una fusión completa y total.

Posición de la Soldadura:

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

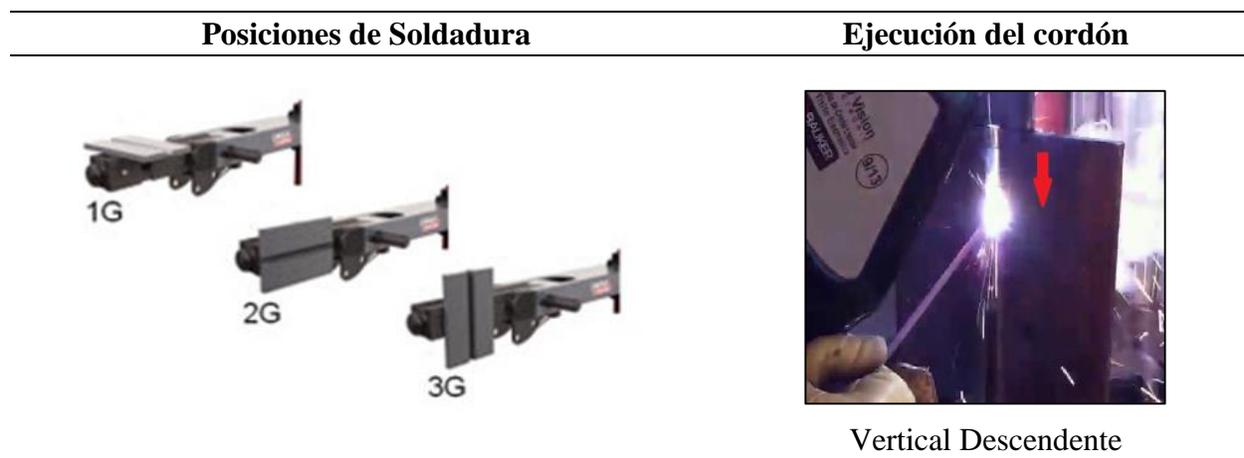


Figura 14. Posición de soldadura (Catalogo Lincoln Electric www.lincolnelectric.com/es)

Según lo establecido en el código AWS *D3.0/ D3.0M:2010* detallado en la *Tabla 16*, al utilizar especímenes de lámina estructural $< 1/8$ plg, la ejecución del cordón será vertical descendente ya que mediante esta posición el calor es distribuido de mejor manera, el charco de

material fundido se expande guardando el efecto de la tensión superficial, existe una mejor velocidad.

Tabla 15.

Selección de Norma según espesor del Acero

Norma	Aplicación
ANSI / AWS D 1.1	Código de soldadura para Acero estructural > 1/8 plg.
ANSI / AWS D 1.2	Código de soldadura para Aluminio estructural 1/8 plg.
ANSI / AWS D 1.3	Código de soldadura para lamina estructural < 1/8 plg.
ANSI / AWS D 1.4	Código de soldadura para acero estructural de refuerzo

Fuente: Códigos de ANSI / AWS de Soldadura

Nivel de limpieza SSPC

La limpieza de las muestras 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. Esta limpieza asegura que la junta a tope se encuentre libre de impurezas y/o adherencias que podrían afectar la soldadura y por ende alterar los resultados de los ensayos.

Tipo y tamaño del Electrodo:

Dado que los materiales a ser ensayados pertenecen al grupo de los Acero de Bajo de Contenido de Carbono, y el electrodo ER70S-6 (AWS A5.18-93) utilizado en los diferentes procesos de construcción de carrocerías brindar características técnicas similares a las del material base y una resistencia mínima a la tracción de 70 Ksi, se utilizara como material de aporte durante la fabricación de especímenes a ser ensayados

La Selección del amperaje, según el *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG). 2008*, mismo que concatena el tipo de material base, los diámetros del material de aporte y los rangos de amperaje se puede determinar que los rangos ideales para este proceso son:

Tabla 16.

Características del electrodo para procesos de soldadura GMAW

Metal base	Diámetro del electrodo		Amperaje
	Pulgadas	Milímetros	Rango (A)
Acero al Carbono	0.035	0.90	80-220
	0.045	1.20	125-380
	1/16	1.60	75-40

Fuente: Manual de soldadura GMAW.

Por las diferentes aplicaciones y especificaciones utilizadas en el diseño de las uniones soldadas para la construcción de las estructuras de las carrocerías metálicas, el WPS del presente estudio selecciono el diámetro que actualmente se utiliza en esta industria diámetro de 1.20 mm (0.045 plg).

Según el *Manual de Soldadura & Catálogos de Productos Oerlinkon. (2016)*, Los electrodo ER70S-6, son alambres con alto contenido de manganeso (Mn) y silicio (Si). Según los catálogos este material de aporte permite soldar sobre aceros con suciedad y cascarilla de laminación en cantidad moderada. La AWS clasifica a los electrodos para el sistema de soldadura por arco manual según las especificaciones expuestas en la *Tabla 1.1 del Manual de soldadura AWS*.

Tabla 17.

Clasificación de electrodos según la AWS.

Norma	Aplicación
AWS-A.5.1	Electrodo para acero al carbono
AWS-A.5.5	Electrodo para acero de baja aleación
AWS-A.5.4	Electrodo para aceros inoxidables

Fuente: Manual de soldadura AWS.

Condiciones técnicas del equipo

Para la ejecución de los diferentes cordones de soldadura con los equipos GMAW y posterior calificación del proceso, 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 % CO₂, 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 continua 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.



Figura 15. Soldadora marca Miller XMT Serie 350 (Taller de Soldadura Master TAC)

Pre calentamiento

Según *Soldadura y metalurgia de Fernandez 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 precalentamiento en piezas de ½ plg.
- Y para aceros de más de 0.4% de carbón generalmente si se requiere calentamiento en todos los espesores

Esta tabla no se considera para 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 establecerá la temperatura óptima para el precalentamiento

$$C_{seferine} = C_e \times (1 + (0.005 \times S)) \quad (5)$$

Donde:

Ce = Carbono Equivalente

S = Espesor de la pieza en mm

Carbono Equivalente:

$$C_e = \%C + \frac{\%Mn}{4} + \frac{\%Si}{6} \quad (6)$$

Aplicando las Ecuaciones 6 y 5 obtenemos:

$$C_e = 0.17 + \frac{0.23}{4} + \frac{0.28}{6}$$

$$C_e = 0.27$$

$$C_{seferine} = 0.27 \times (1 + (0.005 \times 3))$$

$$C_{seferine} = 0.274$$

Temperatura de precalentamiento:

$$T_{pr} = 350 * \sqrt{C_{Seferian} - 0.25} \quad (7)$$

Aplicando la Ecuación 7 obtenemos:

$$T_{pr} = 350 * \sqrt{0.274 - 0.25}$$

$$T_{pr} = 54.22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura de precalentamiento a ser utilizada principalmente en el proceso que involucra a la fabricación de probetas en acero ASTM 514 Gr. B es de 54.22 °C, puesto que en el *Estudio de aceros estructurales para la construcción de estructuras para la construcción de carrocerías para buses*, el autor manifiesta que en el proceso de soldadura incluye el precalentamiento del material.

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 importante conocer la fuente de calor aproximada del arco voltaico.

$$Q = \frac{P}{V} = \frac{E \times I}{V} \quad (8)$$

Donde:

Q = Aporte Térmico (Joules/mm)

P = Potencia de la fuente de calor de entrada total (W)

V= velocidad de desplazamiento de la fuente de calor (mm/s)

E = Voltaje (V)

I = Intensidad de Corriente (A)

El presente análisis fue ejecutado en función a los datos experimentales críticos, obtenidos durante la soldadura GMAW ejecutada en la estructura frontal de un bus de transporte, empleando la Ecuación 8 optemos que:

$$Q = \frac{20 V \times 215 A}{48.6 mm/s}$$

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

El presente estudio 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 durante la ejecución del mismo.

Al ejecutar un tratamiento térmico se tiende a mejorar las propiedades y características de la zona ZAT lo que podría alterar los resultados del presente estudio. Este factor podría considerarse dentro de las opciones de mejora futuras en el diseño de la unión soldada, con un acertado análisis de Costo & Beneficio.

Cantidad de soldadura

Este parámetro tiene tendencia a ampliarse, ya que depende de factores que no siempre son controlados directamente. Para esta estimación se utilizara cálculos geométricos.

$$CSA = AR \times E \tag{9}$$

Donde:

CSA; Area de la sección transversal (cm²)

AR: Abertura de raíz (cm)

E: Espesor (cm)

Utilizando la Ecuación 9, anteriormente señalada el área de la sección transversal es estudio es:

$$CSA = 0.20 \text{ cm} \times 0.30 \text{ cm}$$

$$CSA = 0.06 \text{ cm}^2$$

Con los datos anteriormente obtenidos se plantea la fórmula para analizar el peso del depósito de soldadura y proceder al cálculo respectivo.

$$\text{Peso del depósito} = CSA \times \text{Peso en kg de } 100\text{cm}^3 \text{ de acero} \quad (10)$$

Para determinar la cantidad de material de aporte requerido, aplicamos la Ecuación 10:

$$\text{Peso del depósito} = 0.06 \text{ cm}^2 \times 0.785 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} * 100$$

$$\text{Peso del depósito} = 4.71 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Plan de Soldadura Inicial

En el plan detallado en la *Tabla 9*, se consolida la información requerida para ejecutar cordones de soldadura bajo las especificaciones demandadas por el proceso GMAW, utilizado para soldar frontales de las estructuras metálicas de las carrocerías de buses y/o la fabricación de autopartes en acero ASTM A 36, A 514 y A 517.

Cabe señalar que la información se encuentra corroborada con el proceso teórico – práctico según se describe en las secciones anteriores; permitiendo así encontrar fundamentos técnicos para garantizar una junta soldada bajo parámetros estandarizados de Control y Aseguramiento de la Calidad (QA/QC).

Tabla 18.

Plan de soldadura para los aceros ASTM A 36, A 514 y A 517.

Variabes	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 (0.045 plg).	ER70S-6 Ø1.20 mm (0.045 plg).	ER70S-6 Ø1.20 mm (0.045 plg).
Posición de la soldadura	3G, Vertical Descendente		
Gas de protección	Mezcla 75% Argón + 25 % CO ₂	Mezcla 75% Argón + 25 % CO ₂	Mezcla 75% Argón + 25 % CO ₂
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
Cantidad de calor aportado en el proceso	88.47 Joules / mm	88.47 Joules / mm	88.47 Joules / mm
Cantidad de soldadura	4.71 kg/m	4.71 kg/m	4.71 kg/m

Fuente: Cálculos del presente estudio.

Dimensionamiento y Parametrización de las Probetas

Según lo considerado en la etapa inicial de la investigación los aceros a utilizarse para este análisis son: El acero ASTM A36, mismo que es considerado como material de uso frecuente (en espesores principalmente de 3mm en función del arreglo estructural establecido por las diferentes industrias carroceras); el acero ASTM 514 Gr. B propuesto como opción de mejora en la investigación “*Estudio de aceros estructurales para la construcción de estructuras para la construcción de carrocerías para buses*”, formulado el año 2009.

Para el dimensionamiento y formas de las probetas requeridas especialmente para las pruebas de tracción se utilizaron las especificaciones técnicas registrados en la norma ISO 6892-1:2009

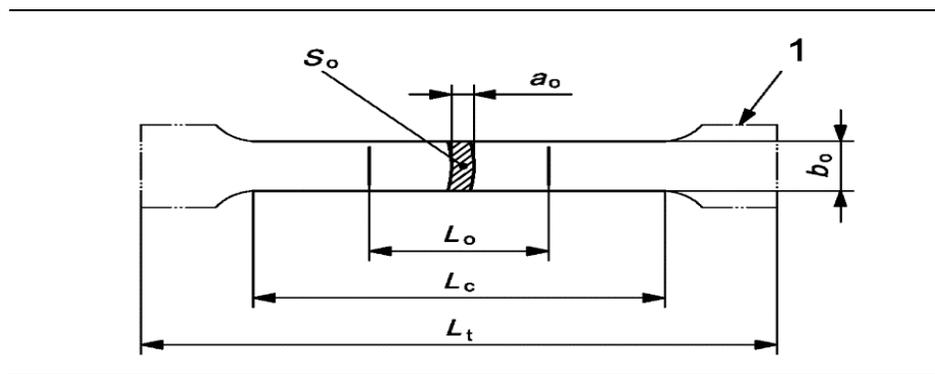


Figura 16. Dimensionamiento de probetas para ensayo de Tracción (ISO 6892-1:2009).

Simbología:

a_o = espesor de pared inicial de un tubo

b_o = anchura media inicial de una banda longitud

L_c = longitud de la parte calibrada

L_o = longitud inicial entre puntos

L_t = longitud total de la probeta

L_u = longitud final entre puntos después de la rotura

S_o = área de la sección transversal inicial de la parte calibrada

S_u = área mínima de la sección transversal después de la rotura

1 = cabezas de amarre

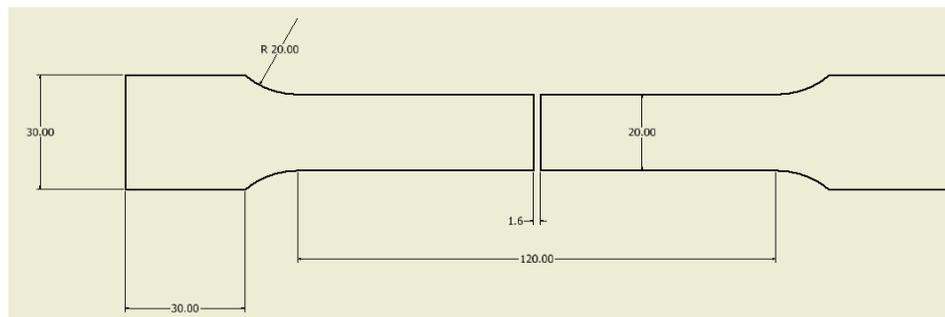
*La forma de las cabezas de amarre de las probetas, dependerán del tipo de equipo a ser utilizado para los ensayos y las mordazas o mecanismo de sujeción que este posea.

Según lo descrito en la norma *ISO 6892-1:2009 Anexo B*, mismo que hace referencia a las especificaciones técnicas para chapas, flejes y productos planos de espesor entre 0.1mm y 3mm descrito en la *Tabla 20*; se señala los valores normados para probetas que serán sometidos a los diferentes ensayos de tracción.

Tabla 19.

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
N#	b_0	L_0	L_c (Mínima)	L_c (Máxima)	L_b		
2	20 (+/- 1)	80	90	120	140	+/- 0.10	0.12



Sección rectangular con espesor de 3mm

Fuente: Norma ISO 6892-1:2009 Anexo B, probeta tipo 2.

Especificaciones técnicas Adicionales para probetas:

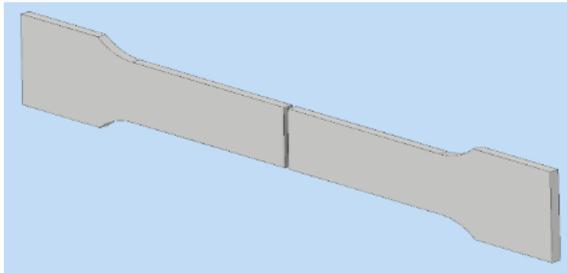
Debido a que en la norma *ISO 6892-1:2009 Anexo B*, no existe detalle de los radios de transición entre la superficie de estrangulación de la probeta y las cabezas de amarre, razón por la cual se consideraron estos valores de la norma *DIN EN ISO 6892-1*. Cabe señalar que este radio de transición y las tolerancias han sido armonizadas entre las normas *ISO 6892-1:2009*.

Originalmente, varios procedimientos que involucran la ejecución de procesos GMAW plantean una abertura de raíz de 1,2mm (0.045 plg aprox), dado el diámetro del electrodo disponible, pero los mismos manifiestan que al preparar la unión cada operario podrá aplicar su propio criterio, proveniente de experiencias anteriores y facilidad de soldeo.

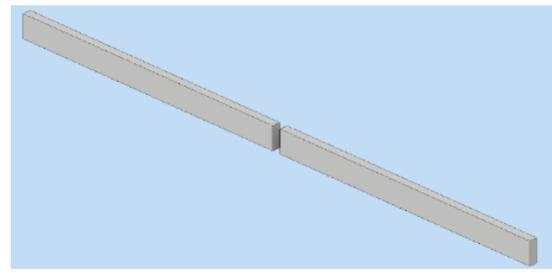
Las dimensiones de las cabezas de amarre son 30mm, sección que se encuentra acorde con el requerimiento del equipo de ensayos del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero

Probetas de la sección frontal de una Carrocería a ser Ensayadas

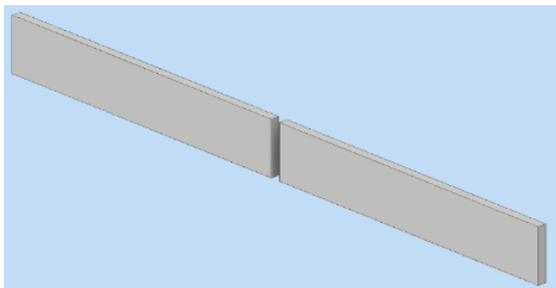
Para la fabricación de las probetas se utilizaran segmentos de varias dimensiones mismas que se encuentran acorde al requerimiento de cada uno de los ensayos a ser ejecutados y según los estándares marcados en las normas respectivas, ensayos a ejecutarse:



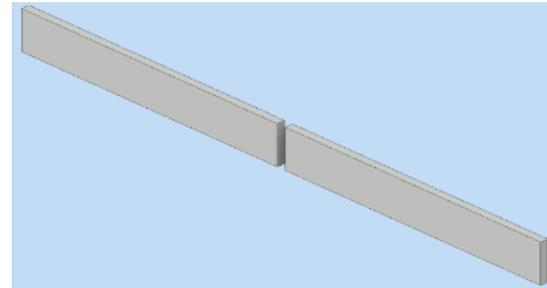
Probeta para ensayo de tracción,
Según norma ISO 5178-1.



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.

Figura 17. Probetas y Normas para los ensayos del Estudio. (Normas ISO)

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.

Cabe señalar que toda prueba y ensayo mecánico a ejecutar, iniciara con la “Inspección visual del cordón de soldadura”, y puede continuar con el análisis por “tintas penetrantes” para analizar la mayor confluencia de discontinuidades posibles. Posteriormente se procederá al trazado, corte e identificación (alfa numérica) de los especímenes para los ensayos mecánicos y pruebas metalográficos.

Las pruebas de soldadura bajo el “Plan de Soldadura” preestablecido se ejecutarán en una probeta de 300.00 mm x 216.46 mm, lo que proveerá de un mínimo 8 especímenes para la ejecución de las ensayos contemplados con el dimensionamiento y estándares de calidad requeridos, además de las respectivas secciones a no ser ensayadas (descartadas) y la sección para imprevistos y/o contingencias.

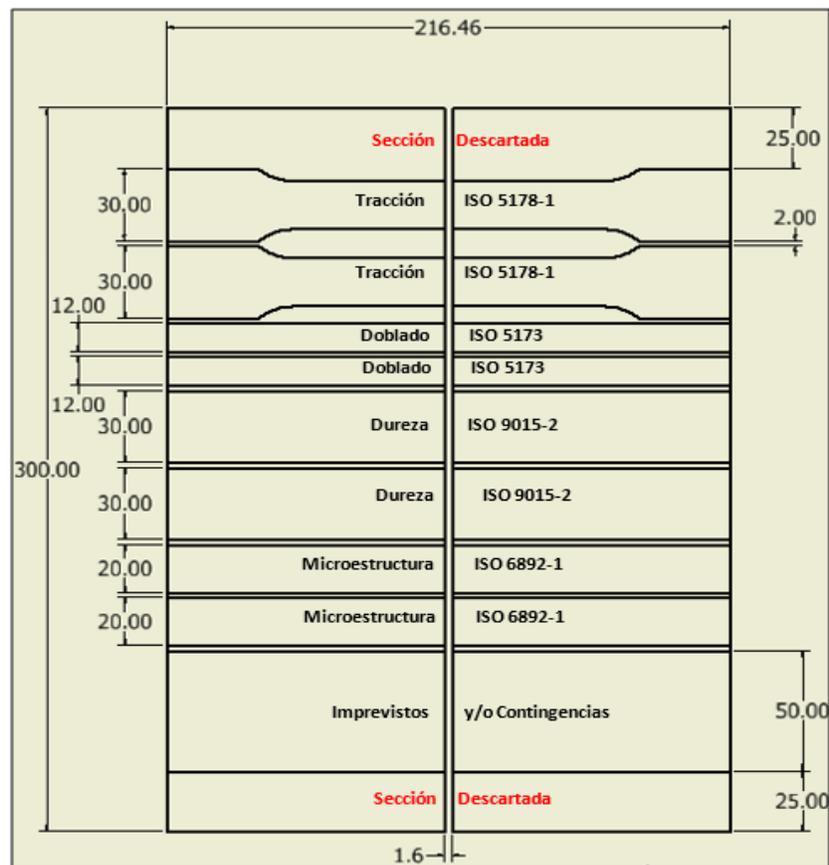


Figura 18. Dimensiones de probeta para pruebas mecánicas y ensayos del Estudio (Normas ISO)

Los resultados que se pretenden conseguir son valores de resistencia última, fluencia, ductilidad, dureza y afectación de por cambios de microestructuras y concentración de esfuerzos

Ejecución de Cordones de Soldadura

Dados los parámetros establecidos previamente 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 Ensayos 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:2010 – Structural Welding Code-Steel*, mismo que debe contar con información mínima, ya que, es considerado como un documento que provee las directrices para realizar un cordón de soldadura con base en los requerimientos de un Código y/o norma. Esta información sirve para orientar al soldador y asegura el cumplimiento de los requerimientos solicitados por el Diseñador.

Cabe señalar que este documento requiere de la firma de un ente o especialista calificado como “Inspector de soldadura”. Cabe señalar que el código *AWS* tiene una serie de procedimientos planificados y previamente establecidos que podrían ser utilizados en caso de ser requeridos.

Tabla 20.

WPS. Especificaciones del Procedimiento de Soldadura diseñado para el estudio

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) PARA PROCESOS GMAW											
Nombre de la Institución: Univeridad SEK				No. Identificación:							
Precalificación Según: AWS D1.1 2015				Revisión: #		Fecha:		Revisado por:		Autorizado por:	
1. Junta Utilizada				2. Técnica de Soldadura							
Tipo de Junta: A tope con separación				Soldadura de: Ranura							
Separación de la junta: 1,6 mm				Proceso de Soldadura: GMAW							
Placa de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				Tipo de electrodo: ER70S-6							
Preparación de bisel: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/>							
3. Material Base:				5. Posición de Soldadura							
Tipo: Acero de bajo Carbono				Posición de soldadura: 3G							
Especificación: Acero de bajo Carbono				Progresión: Arrastre de derecha a izquierda de Empuje							
Tipo o grado: Surco				Técnica: Un Pase <input type="checkbox"/> Varios Pass <input type="checkbox"/>							
Espesor: Surco				7. Pre calentamiento							
4. Metal de Aporte				Pre calentamiento: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>							
Proceso de Soldadura: GMAW				Tiempo entre pases: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>							
Denominación AWS: ER70S-6				Tiempo de soldadura: _____ Seg.							
Diámetro: 1,2 mm											
Denominación: Acero de bajo Carbono											
6. Gas de Protección				8. Notas;							
Tipo: Gas de protección activo MAG				Verificar alineación de alineación de la junta antes de soldar							
Denominación: CO2				Realizar puntos de soldadura para fijar las placas							
Flujo de Gas: 20 PSI				Regular las variables de la maquina soldadora de acuerdo a las especificaciones del cordón							
9. Detalle de la Junta				9. Detalle de la Junta							
				Escala 1 : 1							
Ancho del cordón: mm											
Sobre monta: mm											
Ancho de la penetración: mm											
Penetración: mm											
No. de Pases		Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm / s)	Vel. De avance (mm / s)	Técnica de Soldadura		
		Clase	Diámetro mm	Tipo de polaridad	Amperaje A				Oscilante	Recta	
1		ER70S-6	1,2	DC+	125-380						

Fuente: diseñado para este estudio con estándares ISO y AWS

Preparación y soldadura de probetas

Para precautelar la salud ocupacional del personal que intervendrá en el procesos y garantizar la correcta ejecución de las actividades, el personal deberá contar siempre con el equipo de protección personal (EPP) mínimo requerido

Tabla 21.

Equipo de protección para trabajos de área soldadura

Esmerilador	Soldador
	
<p>Calzado de seguridad, polainas, pantalón jean, mandil, buso de manga larga, mangas y gafas</p>	<p>Calzado de seguridad, polainas, pantalón jean, mandil, buso de manga larga, mangas, gafas casco de soldar</p>

Fuente: Laboratorios de Soldadura del TEC Landívar

Los cordones de soldadura serán ejecutados según el Plan de Soldadura propuesto en la *Tabla 22*, utilizando las placas de acero ASTM A 36, ASTM A514 y ASTM A517.

En la tabla 23, se señala la metodología a ser utilizada para la ejecución de los diferentes cordones de soldadura, mismos que serán sometidos a la cadena de ensayos considerados en el presente estudio.

Tabla 23.

Etapas para la Fabricación de Probetas



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 Descendente



Ejecución de cordón de soldadura en posición 3G Descendente



Limpieza del cordón de soldadura SSPC- SPC3

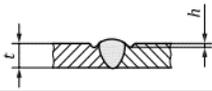
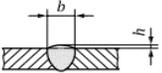
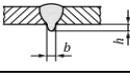
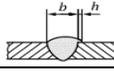
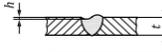
Fuente: Plan de soldadura y WPS diseñado para el estudio.

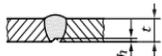
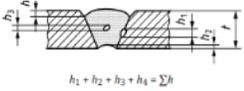
Inspección Visual

La inspección de los cordones de soldadura en los aceros ASTM A 36, ASTM A514 y ASTM A517, soldadas mediante el proceso GMAW; será 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 24.

Niveles de calidad para imperfecciones de juntas soldadas

No	Referencia ISO 6520-1	Designación de imperfección	Observaciones	t mm	Límites por imperfecciones por niveles de calidad.		
					D	C	B
1.1	100	Fisura		≥ 0.5	No permitido		
1.2	104	Fisura de cráter		≥ 0.5	No permitido		
1.3	2017	Poros de superficie	Dimensión máxima de un solo poro para - soldaduras a tope - soldaduras de filete	0.5 a 3	$d \leq 0.3s$ $d \leq 0.3a$	No permitido	
1.4	401	Falta de fusión		≥ 0.5	No permitido		
		Micro falta de fusión		≥ 0.5	No permitido		
1.6	4021	Penetración de la raíz Incompleta	Solo para soldaduras a tope de lado	≥ 0.5	Pequeñas imperfecciones: $h \leq 0,2 t$ pero máx. 2 mm	No permitido	
1.7	5011	Corte continuo	Se requiere una transición suave. Esto no es considerado como una imperfección sistemática. 	0.5 a 3	Cortes imperfecciones: $h \leq 0,2 t$	Cortes imperfecciones: $s: h \leq 0,1 t$	No permitido
1.8	5013	Contracción ranura	Se requiere una transición suave. 	0.5 a 3	Pequeñas imperfecciones: $h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$	Pequeñas imperfecciones: $s: h \leq 0,1 t$	No permitido
1.9	502	Exceso de soldadura metal (tope soldar)	Se requiere una transición suave. 	≥ 0.5	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$, pero máx. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$, pero máx. 7 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, pero máx. 5 mm
1.11	504	Exceso de penetración		0.5 a 3	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,6 b$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,3 b$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$
1.13	506	Superposición		≥ 0.5	$h \leq 0,2 b$	No permitido	
1.14	509	Hundimiento	Se requiere una transición suave 	0.5 a 3	Pequeñas imperfecciones: $h \leq 0,25 t$	Pequeñas imperfecciones: $s: h \leq 0,1 t$	No permitido

1.15	515	Concavidad de la raíz	Se requiere una transición suave. 	0.5 a 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$	Pequeñas imperfecciones: $h \leq 0,1 t$	No permitido
		Microfisuras	Una grieta usualmente solo visible bajo el microscopio (50 ×)	≥ 0.5	permitido	La aceptación depende del tipo de metal principal con referencia particular a sensibilidad de la fisura ⁴	La aceptación depende de tipo de metal padre con referencia particular a agrietar la sensibilidad
4.1		Múltiple imperfecciones en cualquier cruz sección		0.5 a 3	No permitido	No permitido	No permitido

Fuente: Norma ISO 5817:2014.

El equipo mínimo complementario, utilizado para los trabajos de inspección visual y valoración de los defectos encontrados en los cordones de soldadura son:

Tabla 25.

Kit de inspección de soldadura básico Lincoln Electric CWI.

Maletín	Detalle de equipos
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Galga de soldadura Completa 2. Galga Practica de Soldadura 3. Galga Hi-Lo /Desalineación 4. Espejo Telescópico de inspección 5. Calibrador (Pie de rey) 6. Linterna 7. Lupa 8. Boli marcador de tiza 9. Cinta métrica

Fuente: Equipo Lincoln Electric utilizado para el Estudio

Resultados Inspección Visual

La inspección de las diferentes juntas soldadas fue realizada según las consideraciones detalladas en la norma ISO 6520-1.

Cabe señalar que según se detalla en las *Tabla 26* y *Tabla 27*, durante la etapa de inspección visual 12 probetas construidas fueron rechazadas debido a múltiple imperfecciones.

Tabla 26.

Probetas rechazadas por múltiple imperfecciones.

Probetas rechazadas	Material base	Proceso de soldadura	Códigos de probetas rechazadas	Imperfección según Norma ISO 6520-1
7	Acero A36	GMAW	A36-GMAW-001A A36-GMAW-004D A36-GMAW-005C A36-GMAW-007X A36-GMAW-010L A36-GMAW-014R A36-GMAW-016C	Múltiple imperfecciones
4	Acero A514 GrB	GMAW	A514-GMAW-003S A514-GMAW-005C A514-GMAW-012A A514-GMAW-016C	Múltiple imperfecciones
2	Acero 517	GMAW	A517-GMAW-008F A517-GMAW-012A	Múltiple imperfecciones

Fuente: Criterios señalados Norma ISO 6520-1

Este análisis fue realizado con la participación de un profesional ASTN NDT NIVEL 2, mismo que contaba con la certificación *ISO 9712: 2012* Pruebas no destructivas – Calificación y certificación del personal de NDT

Cabe señalar que esta certificación cubre competencias como: pruebas por tintas penetrantes, pruebas de galga extensiométrica, pruebas visuales (excluyendo las pruebas visuales directas y las pruebas visuales realizadas durante la aplicación de otro método NDT).

Tabla 27.

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	Cordón 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
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

Múltiple imperfecciones en cualquier cruz sección

Registro Fotográfico:



Fuente: Manual de Soldadura Wheldin Skill. B. J Moniz-R.T Miller.

Probetas aprobadas Inspección Visual

Las probetas construidas para el presente estudio, que sobrepasaron los filtros de control de calidad estipulados en la Norma ISO 6520-1 son:

Tabla 28.

Probetas que aprobaron la etapa de Inspección Visual

Probetas Aprobadas	Material base	Proceso de soldadura	Códigos de Probetas Aprobadas	Imperfección según Norma ISO 6520-1
3	Acero A36	GMAW	A36-GMAW- 002J A36-GMAW- 003S A36-GMAW-012A	No aplica
2	Acero A514 GrB	GMAW	A514-GMAW- 008F A514-GMAW- 010L	No aplica
2	Acero 517	GMAW	A517-GMAW-008F A517-GMAW-016C	No aplica

Fuente: Criterios señalados Norma ISO 6520-1

Inspección por Tintas Penetrantes

Este ensayo fue ejecutado según los estándares estipulados en la norma *ISO 3452-2013 Non- Destructive Testing – Penetrant Testin,*



Kit de tintas penetrantes marca Chem-pak:

Limpiador (Azul),
Penetrante (Rojo) y
Relevante (Verde)

Figura 19. Kit de tintas penetrantes (DMC Asistencias Técnicas Industriales).

La inspección por tintas penetrantes responderá a las siguientes etapas:

1. Preparación de la superficie
2. Aplicación del penetrante
3. Remoción del exceso de penetrante
4. Remoción del exceso de penetrante
5. Aplicación del revelador
6. Inspección
7. Limpieza final

Cabe señalar que los productos utilizados son totalmente solubles con el agua, para evitar generar contaminación alguna, y las capas de los diferentes líquidos fueron aplicados en mantos finos, procurando siempre hacerlo en forma uniforme y cubrir la totalidad del área a ensayar.

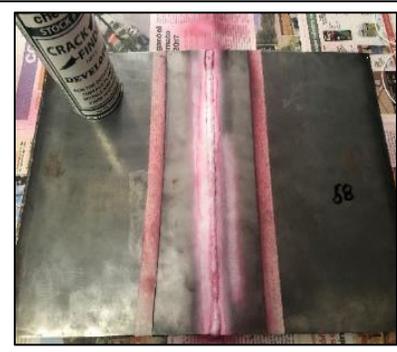
Ensayo de Tintas Penetrantes



Aplicación del limpiador
(Cleaner 1201A)



Aplicación del Penetrante
(Dye/Penetrant 1202A)



Aplicación del Revelador
(Developer 1203A)

Figura 20. Metodología utilizada para aplicación de tintas penetrantes (ISO 3452-2013)

El tiempo de secado entre capa no fue inferior a los 10 min y los excesos en la aplicación de líquidos de ensayo fueron removidos con paños para no dejar rastros de fibras sobre la superficie

Trascurrido el tiempo de revelado los niveles de aceptación para soldaduras, fueron ejecutados según los estándares señalados en la *Tabla 1. De la Norma ISO 23277:2006 Non-Destructive Testing of Welds – Acceptance Levels* (Ver *Tabla 29*).

Tabla 29.

Niveles de aceptación para defectos de soldadura.

Tipo de indicación	Nivel de aceptación ^a		
	1	2	3
Indicación lineal L = longitud de la indicación	$L \leq 2$	$L \leq 4$	$L \leq 8$
Indicación no lineal D = dimensión del eje mayor	$D \leq 2$	$D \leq 4$	$D \leq 8$

^a Los niveles de aceptación 2 y 3 se pueden especificar con un sufijo "X" que indica que todas las indicaciones lineales detectadas se evaluarán para nivel 1. Sin embargo, la probabilidad de detección de indicaciones más pequeñas que las indicadas por el nivel de aceptación original puede ser baja.

Fuente: ISO 23277:2006

Ensayo de tintas penetrantes

Los defectos encontrados en las probetas construidas para el presente estudio fueron analizadas según los niveles de aceptación 3 señalados en la *Tabla 1. De la norma ISO 23277:2006*, considerándose todas las indicaciones lineales detectadas.

Según lo señalado en párrafos anteriores este ensayo no destructivo (NDT) fue válido por un profesional ASTN NDT NIVEL 2, mismo que contaba con la certificación *ISO 9712: 2012*, obtenido los resultados expuestos en la *Tabla 30*.

Cabe señalar que las probetas que 5 probetas no aprobaron este ensayo, debió a imperfecciones que sobrepasan lo establecido en la norma *ISO 23277:2006* ($L \leq 8$) y por ende fueron rechazadas.

Resultados Ensayo de tintas penetrantes

Tabla 30.

Probetas rechazadas por defectos encontrados en ensayo PT

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	$L \leq 8$

Registro fotográfico:



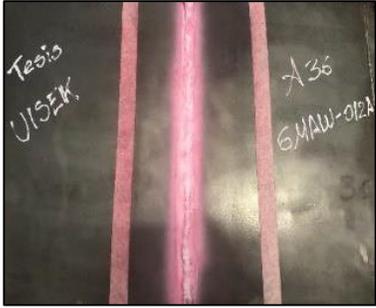
Fuente: Normas ISO 23277:2006

El grupo de probetas que superó esta etapa de ensayos de tintas penetrantes (TP), se encuentra detallado en la Tabla 31, misma que describe a los especímenes con su identificación, material base y el estampe de los soldadores que ejecutaron el cordón de soldadura para proceder con su demarcación y posterior corte en función a los detalles y dimensiones señaladas en la Figura 18. Para proceder así con la etapa de pruebas mecánicas y caracterización de la junta soldada

Probetas aprobadas Ensayo de tintas penetrantes

Tabla 31.

Probetas aprobadas en ensayo PT

Probetas Aprobadas	Material base	Proceso de soldadura	Códigos de Probetas Aprobadas	Imperfección según ISO 23277:2006	Identificación, rayado y estampe de probetas
1	Acero A36	GMAW	A36-GMAW-012A	No aplica	
1	Acero A514 GrB	GMAW	A514-GMAW-008F	No aplica	
1	Acero 517	GMAW	A517-GMAW-016C	No aplica	

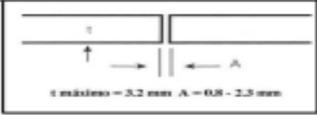
Fuente: Técnico ASTN NDT NIVEL 2 y normas ISO 23277:2006

Registró de Calificación de Procedimientos (PQR)

El PQR presentado en la *Tabla 32*, ha sido diseñado según los parámetros previamente analizados en el plan de soldadura y WPS. Bajo estándares estipulados en las normas ISO, AWS D1.1, y QC1. Adaptadas al requerimiento formulado en campo para la construcción de estructuras para carrocerías metálicas para buses en Acero ASTM A36, A514 y A517.

Tabla 32.

PQR. Registro de Calificación de Procedimientos diseñado para el estudio

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) PARA PROCESOS GMAW													
Nombre de la Institución: Univeridad SEK				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">PQR No.</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">Rev. No.</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">Fecha</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;">WPSs Relacionados </td> </tr> </table>				PQR No.	Rev. No.	Fecha	WPSs Relacionados 		
PQR No.	Rev. No.	Fecha											
WPSs Relacionados 													
Metal Base													
	Especificación	Tipo de Grado	AWS Group No	Espesor	Tamaño	Cedula	Diámetro						
Material de base				3mm		N/A	N/A						
Soldado a:				3mm		N/A	N/A						
Material de respaldo													
Otro													
Detalles de la junta				Detalles de la junta									
Tipo de ranura: Soldadura a tope con ranura en Ángulo de ranura: N/A Apertura de la raíz: Cara de la raíz				 <p style="font-size: small; text-align: center;">t mínimo = 3.2 mm A = 0.8 - 2.5 mm</p>									
Tratamiento termico													
Temperatura													
Tiempo a temperatura													
Otro													
Procedimiento													
Capa (s) de soldadura			N / A										
Paso de soldadura (es)			1										
Proceso			GMAW										
Tipo (Manual, Semiautomático y automático.)			Manual										
Posición			3G										
Progresión vertical			N / A										
Especificación del relleno (AWS)			AWS A5.18										
Clasificación AWS			ER70S-6										
Diámetro			1,2 mm										
Fabricación / Nombre Comercial			N / A										
Composición del Gas protector			75% Argon + 25 % CO2										
Tasa de flujo													
Tamaño de la boquilla													
Temperatura de precalentamiento													
Temperatura de paso													
Características eléctricas													
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													
Técnica													
Ensanchador o tejido			Largero										
Pase Multi o Único (por lado)			Unico, 1 solo dado										
Oscilación (Manual / Automático.)			Manual										
Número de electrodos			1										
Limpieza entre pase			N / A										
Otros													

Fuente: Estándares ISO y AWS

Corte de Probetas

Las probetas fueron seccionadas según las dimensiones descritas en la *Figura 18*, en frío es decir con el uso de cizalla y fresadora, respetando los debidos procesos para evitar afectar las microestructuras del acero.

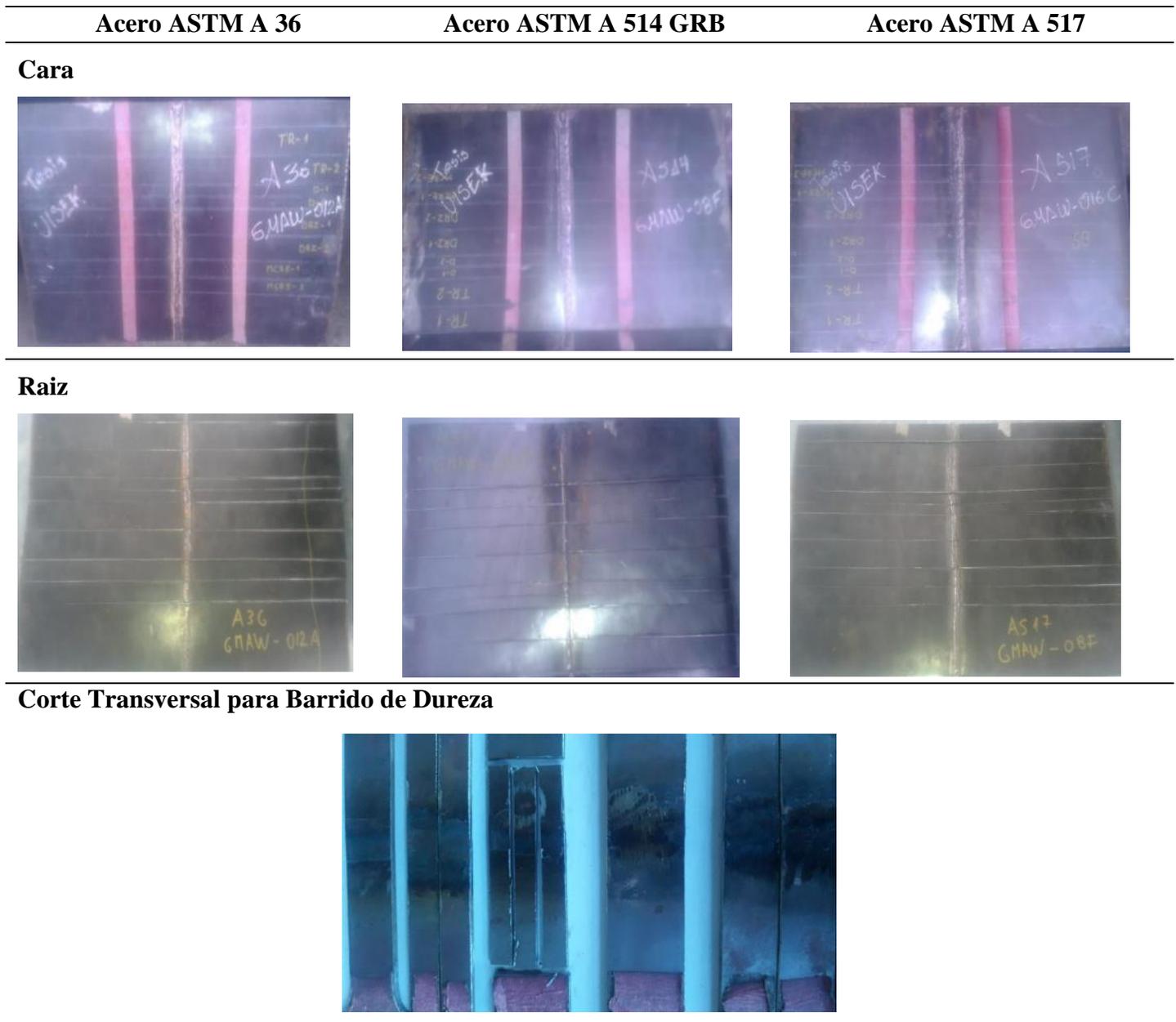


Figura 21. Rayado y corte de probetas para ensayos del Estudio

Ensayos de Tracción

Estos ensayos fueron ejecutados según la planificación presentada en la investigación, bajo los criterios señaladas en la norma *ISO 6892-1. Ensayo de tracción Material base*, puesto que el objetivo es garantizar la correcta aplicación del proceso de soldadura GMAW en los Aceros ASTM A36, A514 y A517; utilizados para la construcción de carrocerías metálicas.

Resultados Ensayo de Tracción

Tabla 33.

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

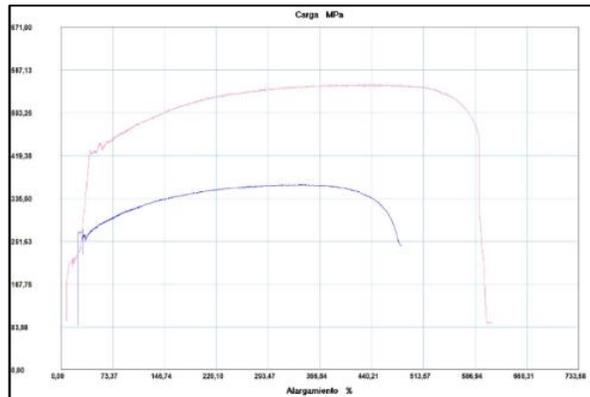
	ASTM A36		ASTM A514		ASTM A517	
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Carga Máxima (MPa)	363.33	559.17	400.83	456.67	514.71	550.00
Carga Rotura (MPa)	280.83	275.00	310.00	371.67	420.83	427.50
Fuerza Máxima (KN)	21.80	33.55	24.05	22.30	30.85	33.00

Registro
fotográfico

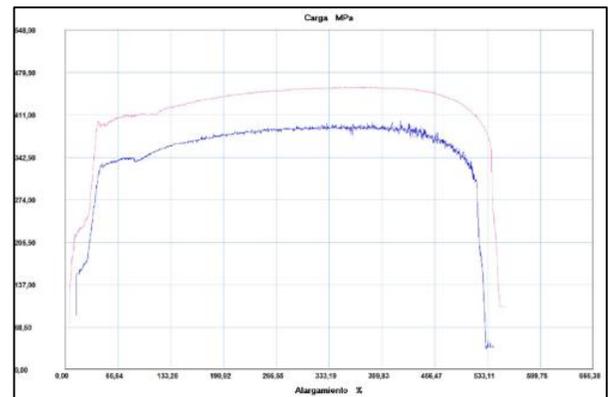


Fuente: Laboratorios CFPMC.

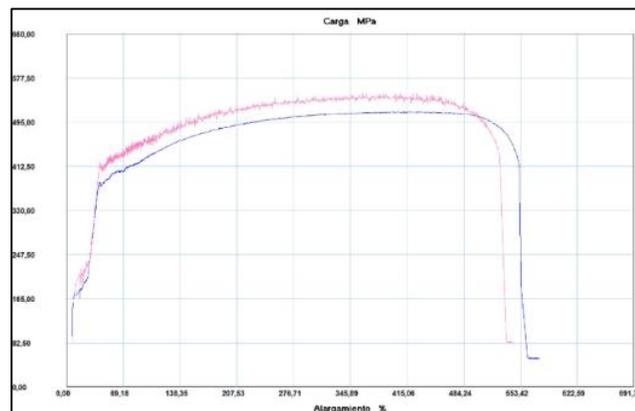
Aplicación de Cargas Ensayo de Tracción



ASTM A 36



ASTM A 514



ASTM A 517

Probeta 1. ■

Probeta 2. ■

Figura 22. Graficas de aplicación de cargas en el Ensayo de Tracción (CFPMC).

Cabe señalar que ninguna de las probetas sometidas al Ensayo de Tracción tuvo una falla eminente en la soldadura sino en el material base. Lo que avalaría la metodología implementada en el plan de soldadura, WPS, inspección visual, y ensayos NDT planteados en el estudio.

Ensayos de Macrografía

Estos ensayos se realizaron según la metodología implantada en la norma *ISO 17639:2003 Destructive Test on Welds in Metallic Materials – Macroscopic and Microscopic*

Examination of Welds (Ver *Figura 23*). Con un Composición del atacante Nital / 4% de ácido nítrico para identificar las zonas a ser utilizadas para el ensayo de dureza Brinell. Este ensayo también tiene por objetivo verificar los diferentes tipos de fallas que podrían existir en el cordón de soldadura y el material base y/o si los mismos presentan una solución sólida homogénea según las imágenes adjuntas en la *Tabla 34*.

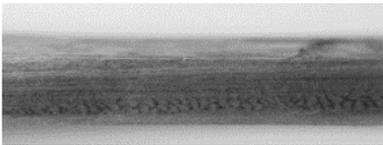
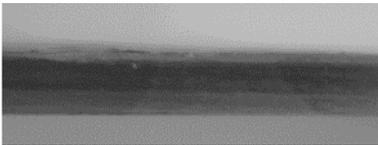
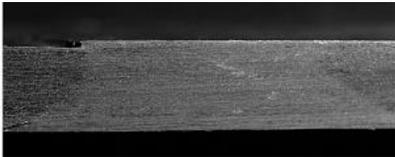
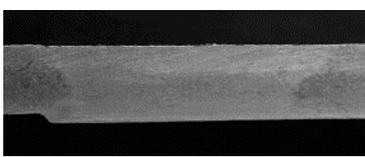
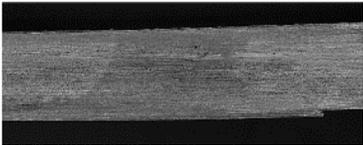


Figura 23. Ensayo de Macrografía Transversal (CFPMC).

Resultados Ensayo de Macrografía

Tabla 34.

Macrografía de las probetas ASTM A36, A514 y A517

ACERO	Macrografía	
	Probeta 1	Probeta 2
ASTM A 36		
ASTM A 514 GrB		
ASTM A 517		

Fuente: Laboratorios CFPMC

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 Laboratorio de análisis metalográfico del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del HGPT.

Para este proceso se utilizó un durómetro Brinell maunal según consta en la *Figura 24*, con el objetivo de tener varios ciclos de medición con un mismo penetrador, a ser usado en las zonas determinadas en todos los materiales a ensayarse, para así obtener una impresión geoméricamente semejante y establecer los comparativos de la dureza y estimar la resistencia del material alcanzada en las Zonas fundidas (ZF), Zonas afectadas Térmicamente (ZAT), Limite entre la ZF y ZAT (ZF/ ZAT) y material base con posible afectaciones (MB). Detalle considerado en la *Tabla 35*.

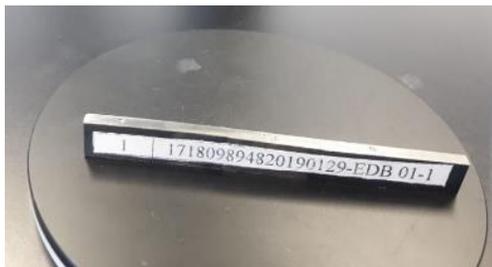
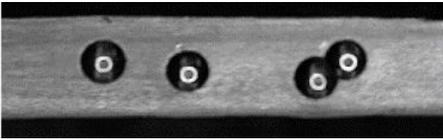
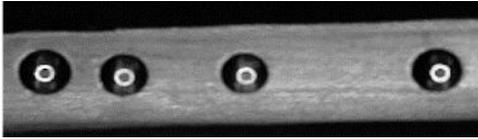
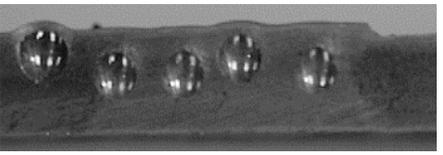
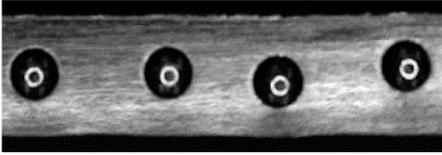
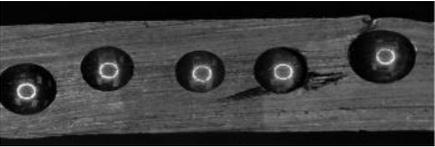
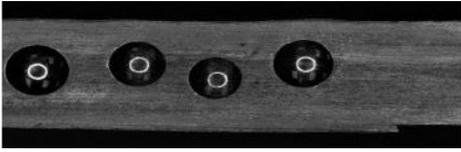


Figura 24. Ensayo de Dureza Transversal (Laboratorios CFPMC).

Resultados Ensayo de Dureza Brinell

Tabla 35.

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								

Fuente: Laboratorios CFPMC

Tabla 36.

Registros de medición de los ensayos Brinell acero ASTM A36, A514 y A517

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

Fuente: Laboratorios CFPMC

Posterior a obtener los resultados del ensayo de dureza, se realizaron las gráficas 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:

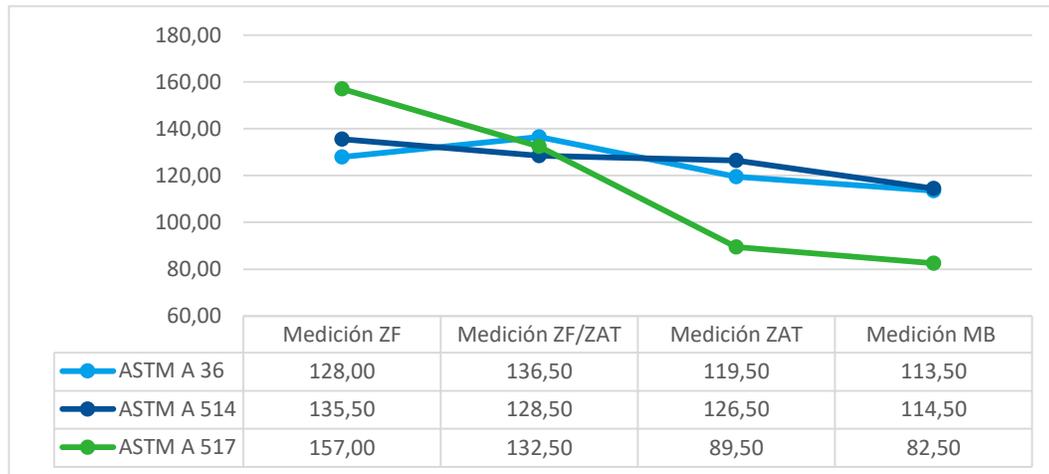


Figura 25. Curvas de Durezas Brinell del acero ASTM A36, A514 y A517 (CFPMC).

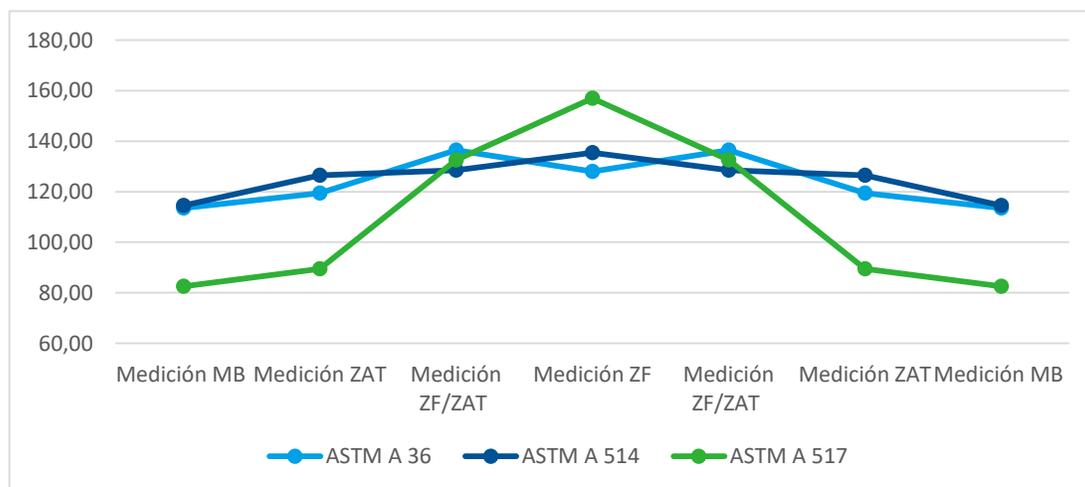


Figura 26. Perfil del Ensayo de Dureza Brinell ASTM A36, A514 y A517 (CFPMC).

Ensayos de Flexión

El presente ensayo fue ejecutado con la metodología detallada en la norma ISO 5173:2009; Ensayos Destructivos de Soldaduras de Materiales Metálicos. Ensayos de Flexión. Con una maquina universal Metrotext de 1500KN con una velocidad de 50mm/min y una precarga de 2000N, con probetas macropulidas y redondeadas en las aristas, en la figura se pueden observar las probetas con el tratamiento señalado



Figura 27. Probetas para Ensayo de Flexión acero ASTM A36, A514 y A517 (CFPMC).

Esta prueba mecánica tiene la finalidad evaluar el comportamiento de la junta soldada sometida a esfuerzos de flexión, determinado la consistencia de la misma y la posible existencia o no de defectos que afectarían el correcto funcionamiento del cordón de soldadura

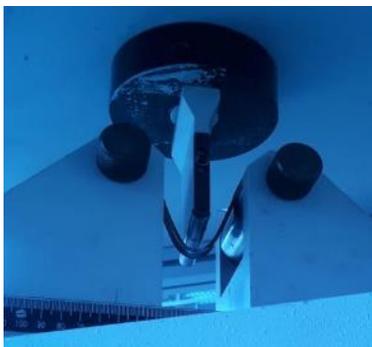


Figura 28. Ensayo de Flexión acero ASTM A36, A514 y A517 (Laboratorios CFPMC).

Cabe señalar que la probeta y por ende la junta soldada es “Aceptada”, cuando al ser doblada 180° cualquier grieta o defecto abierto no excede de 3.175 mm después de doblada. No se consideran grietas en esquinas.

Resultados Ensayo Ensayos de Flexión

Tabla 37.

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°	Probeta 1		Ninguno	Conforme
		Probeta 2		Ninguno	Conforme
ASTM A 514	TRBB 180°	Probeta 1		1.40mm	Conforme
		Probeta 2		Ninguno	Conforme
ASTM A 517	TRBB 180°	Probeta 1		Ninguno	Conforme
		Probeta 2		Ninguno	Conforme

Fuente: Laboratorios CFPMC

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio hace referencia a la incorporación de fundamentos técnicos para el control y aseguramiento de la calidad en el sector automotriz, involucrado en los procesos de manufactura por soldadura GMAW ejecutado con material de aporte ER70S-6 (tipo alambre) y gas protector CO₂, aplicado especialmente en estándares para la construcción de estructuras metálicas para carrocerías de Buses y sus autopartes, este tipo de estandarizaciones son componentes de alta relevancia para obtener la optimización de la productividad y asegurar la calidad implícita en el proceso de construcción.

Los aceros sujetos a análisis en el presente estudio 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 (Ver tabla 38), cabe señalar que estos aceros también son aplicados en la construcción de autopartes.

Tabla 38.

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

	<i>ASTM A36</i>	<i>ASTM A514</i>	<i>ASTM A517</i>
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

Fuente: Norma ASTM A36, A514 Gr.B y A-517

Uno de los documentos que se encontraron ausentes durante el análisis de las características técnicas de los materiales *ASTM A514* y *ASTM A517* fue el *Reporte certificado de prueba del material CMRT*, lo cual fue comunicado a los diferentes proveedores para su obtención, proceso que hasta finalizar el estudio se encuentra en trámite. Cabe señalar que las diferentes empresas para garantizar la operatividad de este material contaban con los resultados

de ensayos mecánicos, ejecutados por laboratorios certificados y con el aval correspondiente, mismos que ubicaban al material dentro de los estándares ASTM.

Con la finalidad de implementarse un proceso estándar para la calificación y certificación de Inspector de Soldadura *ANSI/AWS QCI-96* en el sector carrocerero, deberá asumir los criterios previamente analizados en el presente estudio:

- La posición de soldadura según los estándares *AWS D1.a/D1.1M:2010* que cubre la mayor cantidad de trabajos ejecutados es la 3G, con ranura cuadrada a tope; por ende todo soldador que ejecuten este tipo de trabajos deberán contar con la calificación respectiva según patrones *ANSI/AWS D 1.3*. o *ANSI/AWS D 1.1*, para proceso GMAW ejecutado con material de aporte ER70S-6 (tipo alambre) y gas protector CO₂.
- El dimensionamiento de las probetas para el ensayo de tracción fue ejecutado de acuerdo a los estándares señalados en la norma *ISO 6892-1:2009; Tabla 1 B. Dimensionamiento de probetas para espesores de 0.1mm y 3mm.*
- La temperatura de post calentamiento debe ser ejecutada en los aceros ASTM A514 GrB y A517 son necesarios 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 21* ha sido realizado en función del código AWS y los parámetros de diseño de la junta establecidos en el *QW-402 (Diseño de junta)*, *QW-403 (Material base)*, *QW-405 (Posición de soldeo)* y *QW-406 (Precalentamiento) del ASME IX*, donde se especifican las tolerancias dimensionales, parámetros generales del material y otros factores que sumados a la información colectada en el plan de soldadura *Tabla 17*; proveyendo así al soldador las herramientas necesarias para el cumplimiento de los requerimientos demandados por el código respectivo y por el diseño de juntas soldadas, ya se describe a detalle las variables esenciales, no esenciales e incluso las suplementarias fundamentales para ejecutar un proceso de soldadura GMAW con material de aporte AWS ER 70S-6 y gas de aporte CO₂ para juntas a Tope con espesores de 3mm para los aceros ASTM A36, A514 GrB y A517.

- Lo referente a la calificación del proceso de soldadura PQR formulado en la *Tabla 32*, fue ejecutado en base al WPS (*Tabla 21*), anexando rangos de calificación y anexando ensayos mecánicos a ser ejecutados a las diferentes muestras, ensayos de tensión, flexión, doblado y dureza. Cabe señalar que para este registro también es importante la intervención del Inspector o ente responsable de ejecutar las pruebas señaladas.
- Con base a los WPS y PQR previamente calificado y aprobado podemos verificar las habilidades del soldador en función a las necesidades del proyecto, estas pruebas se ejecutan en posición 3 G para soldadura a tope con posición vertical con progresión descendente según las *AWS D1.3*.

Cabe señalar que estableciendo un comparativo de costos el proceso GMAW operativamente resulta más costoso que un proceso SMAW, ya que requiere un equipo y equipamiento de soldeo con un alto estándar tecnológico, complejo y menos transportable. Lo que incluso restringe el uso de esta metodología en espacios puntuales de la carrocería.

Bajo los parámetros evaluados durante el estudio de la *Tabla 17* se extrajo únicamente el plan de soldadura aplicado para el acero ASTM A36 (*ver Tabla 39*), esto debido a la correcta aplicabilidad del proceso de soldadura GMAW en este material y dada la existencia de mejores opciones de soldadura para evitar daños estructurales del material base de los aceros ASTM A514 y A517.

Tabla 39.

Plan de soldadura para el Acero ASTM A36

Espesor del material	3m	Características eléctricas:	Amperaje 125 a 380 A.
Base:			
Limpieza superficial:	SSPC- SPC3	Polaridad:	Voltaje de arco (16 a 22 V)
Tipo de junta:	Junta a tope con ranura cuadrada	Precalentamiento:	DCEP
Material de aporte:	ER70S-6 Ø1.20 mm (0.045 plg).	Tratamiento Térmico:	No aplica
Posición de soldadura:	3G, Vertical Descendente		No aplica

Gas de protección:	Mezcla 75% Argon + 25 % CO ₂	Cantidad de calor aportado en el proceso:	88.47 Joules / mm
Equipo:	XMT 350 CC/CV Auto-Line, marca MILLER y 420 Lincoln Electric	Cantidad de soldadura:	4.71 Kg/m

Cabe señalar que el equipo fue el utilizado para la construcción de las diferentes probetas, el estudio no realiza discriminación alguna en función a marca y/o precedencia del equipo.

Una vez ejecutado el cordón de soldadura ya sea en la probeta o en la estructura, con una inspección visual acertada y realizada según los parámetros señalados en las normas *ISO 5817-2014 Welding –Fusion- Welded Joints In Steel. Quality levels For Imperfections* y la *ISO 6520-2007 Welding and allied processes –Glasifition of geometric imperfections in metallic materials*, en el presente estudio se pudo determinar que 13 probetas el 65% del total de especímenes fabricados tenían defectos “Múltiple imperfecciones” según *Norma ISO 6520-1*, por ende las probetas fueron rechazadas. Los defectos evidenciados y que prevalecen en esta etapa son: grietas longitudinales, grietas en la zona afectadas por el calor ZAC, porosidades internas, huellas superficiales de poros, adherencias superficiales de la escoria, exceso de penetración, superposición y concavidad de la raíz.

Los ensayos NDT fueron ejecutados según la *ISO 3452-2013 Non – Destructive Testing- Penetrant testin* en las 7 probetas que fueron aprobadas en la inspección visual. Los defectos encontrados fueron analizados según los niveles de aceptación 3 señalados en la Tabla 1. De la norma *ISO 23277:2006*, considerándose todas las indicaciones lineales detectadas; descartando así a 4 probetas más.

En total mediante ensayos NDT se han descartado a 17 probetas de las 20 construidas el 85% de especímenes fabricados para el presente estudio, 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.

Cabe señalar que en esta etapa participaron un 80 % de soldadores con calificación para la ejecución de procesos SMAW y para obtener la veracidad requerida en la etapa de ensayos NDT, el proceso fue válido por un profesional *ASTN NDT NIVEL 2*, mismo que contaba con la certificación *ISO 9712: 2012*.

Dado que los resultados obtenidos en la ejecución de las Pruebas Mecánicas se consideran favorables para una correcta ejecución de un proceso de soldadura GMAW, este análisis también plantea una correcta selección de procesos de soldadura en función del material base y material de aporte, para garantizar la su correcta aplicabilidad, sobre todo en lo referente al uso de aceros con características especiales como los ASTM A514 y ASTM A517 mismos que pese a soportar esfuerzos mayores al Acero A36, no han llegado a un límite de esfuerzo óptimo para el cual se encuentran diseñados sub-dimensionando así su aplicabilidad. Lo cual queda evidenciado en la *Tabla 40*, misma que compara la resistencia de esfuerzos del material base y de las probetas posteriores a la ejecución del cordón de soldadura.

Tabla 40.

Resistencia Mecánica del Acero ASTM A 36, A514 y A517 soldado y su material base.

	ASTM A36		ASTM A514		ASTM A517	
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Resistencia a la Tracción MPa	363.33	559.17	400.83	456.67	514.71	550.00
	Material Base					
Resistencia a la Tracción MPa	400 - 500		450 - 650		795 - 930	

Fuente: Normas ASTM y Laboratorios CFPMC

En la ejecución de los ensayos de tracción se pudo observar que las probetas de Aceros ASTM A 36, A514 y A517 sometidas a cargas máximas presentan un desfase menor entre ellas, en lo que a resistencia del material se refiere, esto pese a tener una ruptura eminente en el material base mas no en el cordón de soldadura. Rotura que puede deberse a que pese a la idoneidad del plan de soldadura, PQR y demás fundamentos técnicos utilizados, la aplicación del procesos GMAW con material de aporte AWS ER 70S-6 y gas de aporte CO₂ en lo referente a soldar

aceros de baja fundición con alta resistencia mecánica como el ASTM A 514 y A 517 se encuentra limitada; ya que estas juntas demanda de mayores consideraciones como por ejemplo la eliminación de la hidrogenación en el material al momento de ejecutar el cordón, ya que este fenómeno resta la resistencia mecánica al material base por la combinación de los esfuerzos residuales con el hidrogeno difusible.

Cabe señalar que los materiales ASTM A 514 y A 517 tienen una diferencia substancial en lo que a costo se refiere en comparación con el acero A36, se podría incluso definir una diferencia aproximada de 35% de incremento.

Previo a la ejecución del ensayo de dureza Brinell, se desarrolló un ensayo de Macrografía según los pareámetros señalados en la norma *ISO 17639:2003 Destructive tests on welds in metallic materials -- Macroscopic and microscopic examination of welds*, para corroborar que los cordones de soldadura presentan una solución sólida homogénea con el material base. Adicional se puede determinar la existencia de posibles fallas como microfisuras en el material base en los Aceros ASTM A 514 y A 517. La visualización y dimensionamiento de estos microdefectos se requeriría de una gammagrafía (RX)

Con la ejecución de los ensayos de Dureza Brinell ejecutados según la norma *ISO 9015-1. Ensayos para Determinación del grado de Dureza*, se observó que en los materiales ASTM A 514 y A517 la dureza es mayor se concentra en la Zona fundida (ZF) y va disminuyendo en la zona afectada por el calor (ZAC) y el material Base (MB), este fenómeno se encuentra directamente relacionado con la estructura del grano formado producto de la fusión por soldadura y la velocidad de enfriamiento; lo que ha permitido 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 los 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.

Cabe recalcar que en el análisis de dureza del acero ASTM A 36, la medida registrada en la zona afectadas Térmicamente (ZAT), es menor que el registro tomado en la zona afectadas Térmicamente (ZAT), evidenciando que la afectación térmica producto de este proceso de soldadura es menor que la de los Aceros ASTM A 514 y A517.

Con los parámetros utilizados para el ensayo de Flexión (Doblado de raíz o doblado rígido) se pudo determinar que no existen defectos abiertos que excedan de 3.175 mm, ni grietas en esquinas de las juntas soldadas ensayadas, al momento de ser doblada 180° en las probetas evaluadas. Hay que resaltar que la probeta 1 de la Junta soldada en acero ASTM A514 presenta una grieta en una esquina y se propaga hacia el centro 1.40mm, encontrándose dentro de los 3.175 mm citados en la norma *ISO 5173:2009* por ende la calificación que reciben estas y las demás probetas ensayadas es de “Aceptadas”. Este ensayo se considera como determinante para la calificación de las probetas y por ende de los soldadores que ejecutaron el cordón de soldadura, validando así el Plan de soldadura, WPS, PQR, inspecciones visuales, ensayos NDT y demás parametrizaciones técnicas citadas en la presente investigación.

Para el desarrollo de esta investigación se omitieron los ensayos de Impacto de Soldadura según la *ISO 9016:2012 Destructive test son welds in metallic materials –Impact test- Test specimen location, notch orientation and examination*. Dado que el espesor del material base utilizado no cumple con los espesores solicitados en la norma mencionada.

Análisis De Factibilidad

En la actualidad existe diversos estudios que se enfocan en mejorar las características mecánicas de los diferentes arreglos estructurales, seleccionado para esto materiales con mejor resistencia mecánica y de baja aleación, lo cual según los factores analizados en el presente estudio tiene una connotación importante, lastimosamente a esas investigaciones no se han incorporado procesos orientado a la validación QA/QC de las diferentes juntas soldadas de los materiales incorporados en los nuevos diseños como es el caso de los aceros ASTM A 514 y A517.

Mediante el presente estudio se demuestra que la aplicabilidad de los procesos de soldadura GMAW en aceros con resistencia mecánica alta y de baja aleación es limitada, debido al proceso de hidrogenación del material base no es controlado adecuadamente durante la ejecución del cordón, cabe señalar también que el material de aporte AWS ER 70S-6 posee menor resistencia mecánica que los aceros ASTM A514 y A517, lo que subdimensiona las características mecánicas requeridas y reduce las posibilidades a un correcto funcionamiento de la junta soldada.

Por ende se puede concluir que el acero ASTM A 36 puede ser soldado mediante el proceso GMAW con material de aporte AWS ER 70S-6 y gas de aporte CO₂ y el plan de soldadura, procedimiento, WPS y PQR planteado en el estudio resultaría factible para garantizar el correcto funcionamiento de las uniones soldadas.

Para la ejecución de juntas soldadas con aceros ASTM A514 y A517 se requiere otro tipo de procesos como el SMAW y/o GTAW que a más de un precalentamiento requieren de un material de aporte con bajo contenido de hidrógeno difusible y clasificación AWS A5.5/ ASME-SFA 5.5 como los E-11018-M, E7018-1 H4R, E11018M-H4R, E11018-G H4, etc., que utilizan arcos cortos; este proceso aplicado correctamente puede brindar una resistencia a la tracción de 700MPa, un límite de fluencia de 717 Mpa y un alargamiento en 2 plg del 23%. Y superar notablemente los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas realizadas en el presente estudio.

Con el proceso de control y aseguramiento de la calidad QA/QC ejecutado en el estudio y en función a los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos ejecutados según la norma *ISO 5178-1, ISO 9015-1 e ISO 17639:2003*, se descarta la posibilidad de colocar en producción juntas soldadas por proceso GMAW con material de aporte AWS ER 70S-6 y gas de aporte CO₂, y material base ASTM A 514 y A 517, debido a que pone en riesgo la integridad estructural de un autoparte y/o carrocería metálica por su comportamiento irregular dado los fenómenos previamente descritos.

CONCLUSIONES:

Los parámetros que intervienen en el proceso de soldadura GMAW son: materiales base (acero), perfiles estructurales, espesores, tipos de juntas, posiciones de soldeo, características técnicas requeridas para la ejecución del proceso y demás metodologías utilizadas, para relacionar las diferentes variables esenciales y complementarias para plantear 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 controlar de manera eficiente la ejecución del proceso a más de la habilidad del soldador, se requiere que el mismo cuente estampe del WPQ en procesos de soldadura GMAW debidamente aprobado Inspector de soldadura CWI con el control de un Supervisor de Soldadura CWS según los estándares dispuestos en el código AWS *D1.1/D1.1M – Structural Welding Code – Steel*.

Los lineamientos fundamentales para un efectivo Control de Calidad (QC) de las juntas soldadas mediante el proceso GMAW inician con la ejecución de ensayos no destructivos y aplicación de los estándares planteados en la *ISO 5817-2014* misma que señala límites de imperfecciones geometrías consideradas también en 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 requieren ser validadas por un profesional *ASTN NDT NIVEL 2* que cuenta con la certificación *ISO 9712: 2012*. Para posteriormente someter a los diferentes especímenes a las pruebas mecánicas previamente seleccionadas; en el presente estudio para la validación, calificación de los cordones de soldadura y por ende de sus ejecutores, 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* cabe señalar que las probetas utilizadas cuentan el dimensionamiento y formas establecidas según lo solicitado en cada ítem señalado.

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

importante pérdida de tiempo y recursos; las principales fallas se determinaron en los aceros A514 y A517 esto se debe a la incorrecta selección del proceso de soldadura GMAW con material de aporte AWS ER 70S-6 para su unión, ya que se encuentra sub-dimensionado dado que los valores obtenidos en las pruebas mecánicas según la norma *ISO 5178-1* no cumplen con los estándares de resistencia que podrían alcanzar estos materiales utilizando un adecuado proceso de soldadura como el SMAW y/o GTAW con un material de aporte que elimine el fenómeno de hidrogenación, logrando incluso a reducir fenómenos como el agrietamiento mismos que son provocados por la combinación de los esfuerzos residuales en la unión soldada y el hidrógeno difusible. El ensayo de Dureza Brinell ejecutado con los parámetros *ISO 9015-1* respaldan 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, cabe señalar que en la macrografía ejecutada según la norma *ISO 17639:2003*, se detectaron microfisuras en el material base de las probetas construidas con acero ASTM A514 y A517 (Magnificación 6.7 a 45 X).

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, iniciando 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 ejecutadas 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 una alta resistencia mecánica, que a más de un precalentamiento requiere de un proceso de soldadura con bajo contenido de hidrógeno 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.

Recomendaciones:

La tabla 4.7. Anexo M del AWS D1.1/D1.1 M:2010 Structural Welding Code – Steel, contiene recomendaciones para el metal de aporte con resistencias iguales y temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pases, para aceros ASTM A 514, A517 entre otros aceros con espesores iguales o superiores a los 15mm únicamente. Por lo que se realizó el cálculo respectivo para un precalentamiento que garantice la soldabilidad con un mínimo consumo energético.

Las industrias Carroceras Ecuatorianas requieren incorporar dentro de su cadena de valor a Inspectores de soldadura CWI (*Certified Welding Inspector*), o especializar y certificar a los supervisores existentes en sus nóminas según los estándares mínimos señalados en el documento ANSI/AWS QCI: Norma para la certificación AWS de inspectores de soldadura, para que puedan ejecutar libre y eficazmente trabajos que involucran supervisar, testificar, comprar, documentar o registrar la calidad de las operaciones de soldadura y las uniones resultantes.

Existen variables esenciales y no esenciales para calificar a un soldador, mismas que a más de las señaladas en el presente estudio se encuentran estipuladas en el código ASME IX Artículo III Welder Performance Qualifications QW-300; en función del requerimiento y/o diseño de la junta soldada.

La mayor parte de los soldadores que trabajan en el sector Carrocero poseen calificación bajo estándares señalados en la norma AWS D1.1/D1.1 M: 2010 Structural Welding Code – Steel, aplicados únicamente a procesos SMAW con material base ASTM A-36 y para Aceros cubiertos por la AWS D1.1:2006 Tabla 3.1; esto fue evidenciado en las calificaciones solicitadas a los soldadores que participaron en la fabricación de las diferentes probetas. Este estudio considera que los estándares de calificación aplicables para los procesos en análisis son AWS D1.1/D1.3 Structural Welding

Posterior a la evaluación del requerimiento de Ensayos NDT y/o pruebas mecánicas formulados por el Inspector NDT con certificación ISO 9712: 2012 o similar y/o Inspector de Soldadura con registro AWS (SCWI, CWI y CAWI) responsable del control de calidad, para la ejecución de cualquier tipo de prueba es necesario determinar la competencia de los técnicos

que intervendrán en el proceso y/o laboratorios a ser utilizados la ejecución de ensayos, adicionalmente deben garantizar que mantiene sus certificaciones de Acreditación vigentes y la totalidad de equipos que intervienen el proceso calibrados por un ente regulador competente.

Posibles derivaciones y soluciones para mejorar la calidad de la junta soldada:

Tabla 41.

Posibles derivaciones y soluciones para mejorar la calidad de la junta soldada

Posible Derivación	Posible solución
Falta de expertiz del soldador	Capacitación parmente y supervisión especializada del proceso
Presencia de humedad en el área de trabajo y Bodegas	Realizar el trabajo de precalentamiento según los estandartes señalados en el plan de soldadura y/o especificaciones interpuestas por el fabricantes Cabe señalar que una correcta administración del almacenaje es imprescindible.
Pistola de soldadura con boquilla tapadas o con deformaciones por golpe	Verificación y regulación de para correcta difusión y evitar salpicaduras de soldadura.
Posicionamiento y angulación de la pistola de soldadura herrada	Pistola durante el proceso de soldadura demasiado alejada o muy cercana al cordón. Un ángulo aceptable, se comprende entre 5° a 15° perpendiculares a la punta
Flujo de gas demasiado alto	Con un flujo de gas de 50 a 60 pies ³ /h, la antorcha podrá trabajar eficientemente
Uso incorrecto de geles anti-salpicaduras, compuestos químicos, etc.	Una aplicación errónea puede producir falta de adherencia entre el cordón y el material base
Material de aporte contaminado	Incide directamente gas de la soldadura, ya que emite gases no deseados que modifican severamente al cordón de soldadura
No se toma en cuenta en Aceros A514 y A517, porosidades por emisión de hidrogeno.	Ejecutar un trabajo de precalentamiento según los estipulado en el plan de soldadura (Aplica para espesor de plancha de 3mm)

Debido a los altos que involucra la adquisición de los costos Aceros ASTM A514 y A517 y dado los resultados obtenidos en los ensayos de tracción se recomienda utilizar el procedimiento planteado únicamente para el acero ASTM A 36 mientras que, para ejecutar cordones de soldadura en los aceros ASTM A 514 y ASTM A 517 y evitar defectos se requiere que el proceso sea ejecutado por un soldador calificado en proceso SMAW según su aplicación y se suministre además del precalentamiento respectivo, tratamiento térmico post-soldadura y limpieza de los materiales base; al seleccionar el electrodo se debe considerar que el mismo introduzcan la menor cantidad de hidrógeno (H4 o H8), y su sistema de almacenamiento ya que poseen la capacidad de absorber humedad del medio ambiente.

Para determinar el hidrógeno depositado en el metal se puede realizar un estudio mediante la *norma ANSI / AWS 4.3 93 R Standard Methods for Determination of the Determination of the Diffusible Hydrogen Content of Martensitic, Bainitic and Ferritic Steel Weld Metal Produced by Arc Welding*.

Uno de los electrodos utilizados para soldar aceros ASTM 514GrF de alta resistencia mecánica con grano fino mediante el proceso GMAW es el AWS X 70-IG, caracterizado por un hilo revestido de cobre para soldar aceros templados y revenidos. Mientras que para soldar los Aceros ASTM 514 y ASTM 517 Gr A, B se recomienda procesos de Soldadura SMAW y GTAW que garanticen una soldadura con bajo contenido de hidrógeno difusible.

Los ensayos NDT y demás pruebas mecánicas deberán ser ejecutados en función de garantizar la correcta aplicación de los diferentes procesos, corroborando que los mismos arrojen los resultados deseados y se complementen entre ellos, ya que, en diferentes etapas del presente estudio podemos observar que las probetas de los materiales ASTM A 36, A514 y A517 superan los mismos, pese a existir un aparente error procesal y a no sobrepasar el análisis de tracción.

Bibliografía

Aranda P. Diego y Dutan. 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.

AEADE (2014). *Anuario del sector automotriz 2014I*. Asociación de empresas automotrices del Ecuador.

ANSI/ AWS B1.11:2015. (2015). *Guide for the Visual Examination of Welds*. (3rd Edition). An American National Standard. American Welding Society (AWS).

ANSI/AWS D1.1M:2010. (2010). *Structural Welding Code Steel*. (22da Edition). American Welding Society.

ANSI/AWS D1.3M:2010. (1998). *Structural Welding Code- Sheet Steel*. American Welding Society.

ASTM E9-09. (2009). *Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature*. ASTM International. West Conshohocken. PA.

ASTM E165 / E165M – 12. (2012). *Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry*. ASTM International. West Conshohocken. PA.

ASTM. (2012). *A514 Grade B. High-Yield-Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate*. www.ssab.com

AWS. (1996). *Manual de soldadura Tomo II*; Octava edición. American Welding Society. Traducción Welding Handbook/ Welding Processes.

AWS. (2006). *Libro de Evaluación de Especificaciones American Welding Society*. Parte B Evaluación de Inspector en Soldadura.

AWS. (2013). *Welding Handbook. Welding Processes. Part 1*. (Edition 9 - Volume 2). American Welding Society.

AWS B5.1:2013. *Specification for the Qualification Welding Inspectors*. (2nd Edition). Approved American National Standard (ANSI)

AWS QC1. (2007). *Standard for AWS Certification of Welding Inspectors*. American Welding Society.

Bloem, C. Salvador, M- Dolores, et al., (2000). *Estudio microestructural y de resistencia de uniones soldadas de la aleación AW7020 por procedimiento MIG en función de la preparación de bordes*. Revista de metalurgia de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Bonello Tomás y Svoboda Hernán (2013). *Efecto del modo de transferencia en el proceso GMAW sobre la vida a la fatiga de uniones soldadas de aceros DP750*. IX Congreso Regional de Ensayos No Destructivos - Estructurales y Jornadas de Soldadura. CORENDE- AAENDE Argentina.

Caicedo R. Jorge I. Orna Ch. Javier E, et al., (2017). *Resistencia de Materiales- Ingeniería Mecánica Estudio de Caso: Degradación del Acero ASTM A36 Sometido al Fenómeno de Termofluencia*. European Scientific Journal. (Edition Vol.13).

Cárdenas et al./ (2014). *Propuesta de Diseño Estructural para Buses de Carrocería Interprovincial*. (INGENIUS N.º11). Revista de Ciencia y Tecnología. Politécnica Salesiana Ecuador.

Cepeda, L. Hernández, Héctor. (1998). *Estudio de Tolerancia de Daño de Uniones Soldadas de Acero ASTM A36*. Revista Ingeniería e Investigación No. 41

Cházaro, R. Carlos y Alvarez, V. Octavio. (2014). *Elección del tipo de acero para estructuras*. Línea de perfiles de México Gerdau Corsa. Validado por IMCA-México.

Código ASME Sección IX. (2013). *Soldadura: Desarrollo y calificación de Procedimientos y Soldadores*. American Society of Mechanical Engineers.

Corday, H. Cristian, (2010). *El rol de la función Q/C*. Revista MetaProject, Ingeniería e innovación SA. Convencionales: www.metaproject.cl/img/.

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.

Groover, M. (2007). *Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes, and Systems*. (Fourth Edition), John Wiley & Sons, Inc.

Hasan, J. (2016). *Analysis of Mechanical Behavior and Microstructural Characteristics Change of ASTM A-36 Steel Applying Various Heat Treatment*. Journal of

Material Science & Engineering Department of Industrial Engineering and Management, Khulna University of Engineering and Technology, Khulna-9203, Bangladesh.

Horwitz, H. (2002). *Soldadura, Aplicaciones y Práctica*. Primera edición. Grupo Editor Alfaomega. Mexico.

Hurtado, A. y Sergio, A. (2014). *Análisis Morfológico en uniones soldadas mediante el uso de ensayos no destructivos específicos para la identificación de socavado interno y falta de penetración en juntas de tuberías de acero ASTM A36*. Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica División de ingenierías. Bogotá D.C.

INDURA. S.A (2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Grupo AIR PRODUCTS Recuperado el 2007. www.indura.com.ec.

INFRA Welding Wire 70S-6, *Microalambre Solido*. (s.f.). Recuperado el 2015, de Electrodo INFRA: http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/hojas_tecnicas/alambres_soldar/mw_s6.pdf

ISO 5817-2014 *Welding – Fusion-Welded Joints In Steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) Quality Levels For Imperfections*

ISO 6520-1:2007 *Welding and allied processes- Classification of geometric imperfections in metallic materials*.

ISO 3452-2013 *Non – Destructive Testing- Penetrant testin*.

ISO 9001-2012 *Qualitu Mannagement Systems- Requeriments*

ISO 9016:2012 *Destructive test son welds in metallic materials – Impact tests – Test specimen location, notch orientation an examination*

ISO 9712:2012 *Non- Destructive testing – Qualification and certification of NDT personal*

Fernandez, F. Guillermo. (1974). *Soldadura y metalurgia*. Editorial Continental, S.A., México.

Luecke. William E. McColskey J. David., eat/. (2005). *Mechanical Properties of structural Steels*. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster.

Llano, U. Carolina (2009). *Soldadura GMAW-MIG/MAG. Un proceso rápido, limpio y versátil*. Congreso Metal Actual.

López, C. Carlos, M. Meyer. Leo, A. (2015). *Quality Assurance and Quality Control*. (Chapter 8). IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.

Manual de Diseño para la Construcción con Acero. (2012). Convencionales: www.ahmsa.com.

Martínez, A. Miguel, V. Coello, J, et al., (2011). *Influencia de la técnica de soldadura multipasada y de los tratamientos térmicos de precalentamiento y post-soldadura en el comportamiento de uniones GMAW de un acero microaleado HARDOX 400*. Revista de Metalurgia. Tomo 47.

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)

Mikayáh, Lévi. (2011). *Guía del Inspector de Soldadura*. (3 Edición). Colombia. Convencionales: www.SoldaduraLatinoamerica.com.

MIPRO. (2014.) *Registro de Importadores-Exportadores*. Ministerio de Industrias y Productividad Quito-Ecuador.

Olivia, M. Carlos (2007) *Manual de Soldadura*. Instituto Chileno de Soldadura. INCHISOL.

Ordoñez, M. Eduardo, A. Romero, R. Victor, J. Y Torres, C. Julian, C. (2013). *Análisis del Comportamiento Mecánico y Microestructural de las transformaciones de fase en la zona afectada por el calor (ZAC) en Juntas Soldadas a Tope para Aceros Estructurales por medio del proceso Gas Metal Arc Welding (GMAW) y con alambre para soldar ER70S-6*. Universidad Libre Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecánica. Bogotá.

Pastor, M. (2004). *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Riobamba. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Facultad de Mecánica.

Pastor, M. (2011). *Curso-Taller de Inspección de Soldadura en Estructura de Buses*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Part QW Welding. (1998). *Welding General Requirements: QW-195.2.2. Acceptance Standards. & QW-153.1. Tensile Strength*. ASME IX QW.

Porras, G. Franco, L. Gómez, O. y Quinto, D. (2005). *Identificación metalográfica de fases en una junta soldada de acero estructural microaleado y su influencia en el mecanismo de fractura*. Revista de metalurgia de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Quesada, H. Zalazar, M. & Asta E. (2004). *Ensayos TEKKEN en un Acero "ASTM A514 Gr B" para Determinar la Temperatura de Recalentamiento*. Congreso CONAMET/SAM.

Ramini de Rissone. N. Svoboda. Hernán G. Surian Estela S, et al., (2008). *Estudio de la zona afectada por el calor y el metal de soldadura de cordones soldados con diferentes procesos sobre chapas de acero de grano ultrafino*. IIW International Congress. 2do Latinoamerica Welding Congress. Brasil.

Ramírez, M. Heriberto, E. Niebles, N. Enrique, E &, Torres, S. (2009). *Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados*. Editorial Universidad del Norte. Primera Edición.

Rowel, R. Jeffus L., (2008). *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*, Ed. Paraninfo, España.

Segura, T. Juan, D. (2015). *Caracterización Morfológica de porosidad en juntas Soldadas de Tubería de Acero ASTM A-36 realizados por proceso SMAW, mediante Ensayos No Destructivos Especificados*. Universidad Santo Tomás Facultad De Ingeniería Mecánica División de Ingenierías. Bogotá D.C.

SOLDEXA., (2010). *Desarrollo de Nuevos Electrodo Básicos de Extra Bajo Hidrogeno E7018-1 H4R / E11018-G H4*. Boletín técnico de soldadura N112. 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

Structural Welding Code Sheet Metal. AWS D1.3/D1.3M : 2008 And American National Standard. 5th Edition. 2008.

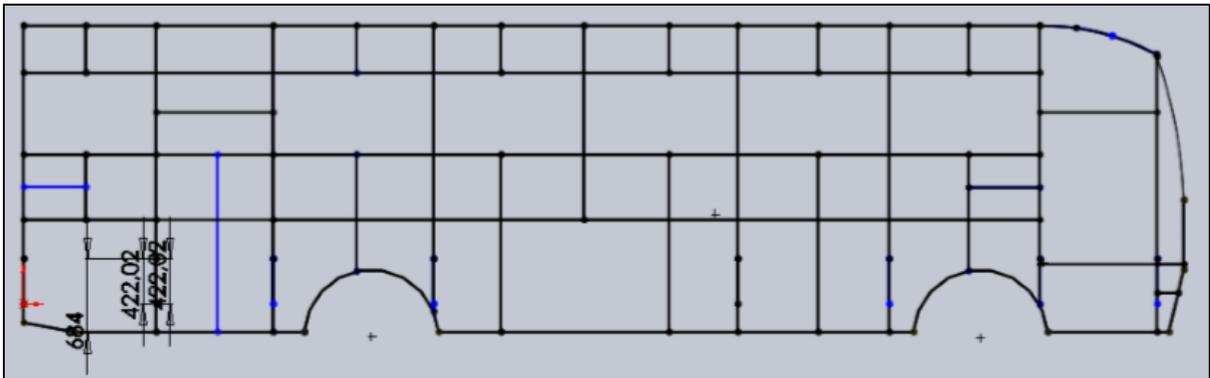
Standard Welding Terms and Definitions. AWS A3/A3.0M : 2010 Edition. 2010.

TC Tecnicontrol, Empresa Bureau Veritas. (S.F.) Recuperado el 05 de mayo de 2015, de Ensayos No Destructivos (END) Convencionales:

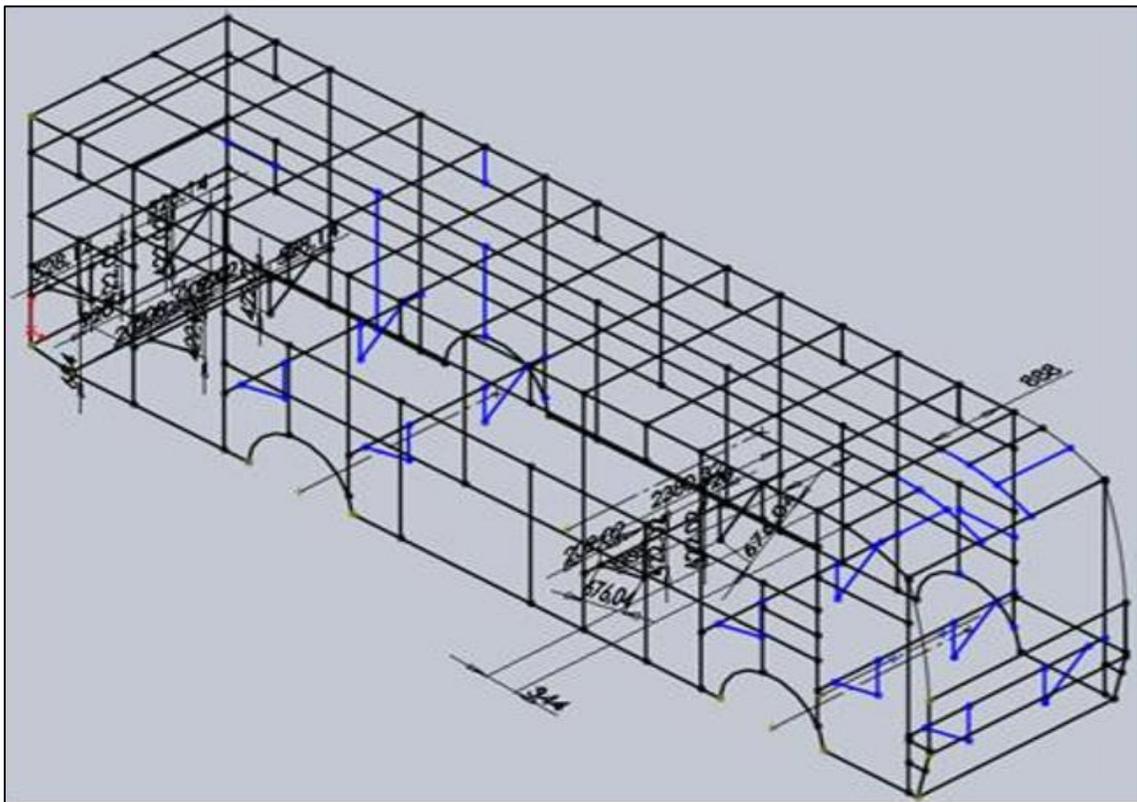
<http://portal.tc.com.co/tecnicontrol/ensayos-no-destructivos/tradicionales>

YPFB. (2016). *Requisitos de Aseguramiento y Control De Calidad (QA/QC)*.
Código: PG4GGPQ/ DSMS1A

Zalazar, M. Quesada, y H. Asta, E. (1998). *Microstructure produced in the welding of steels for wide diameter pipes*. Revista de metalurgia de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

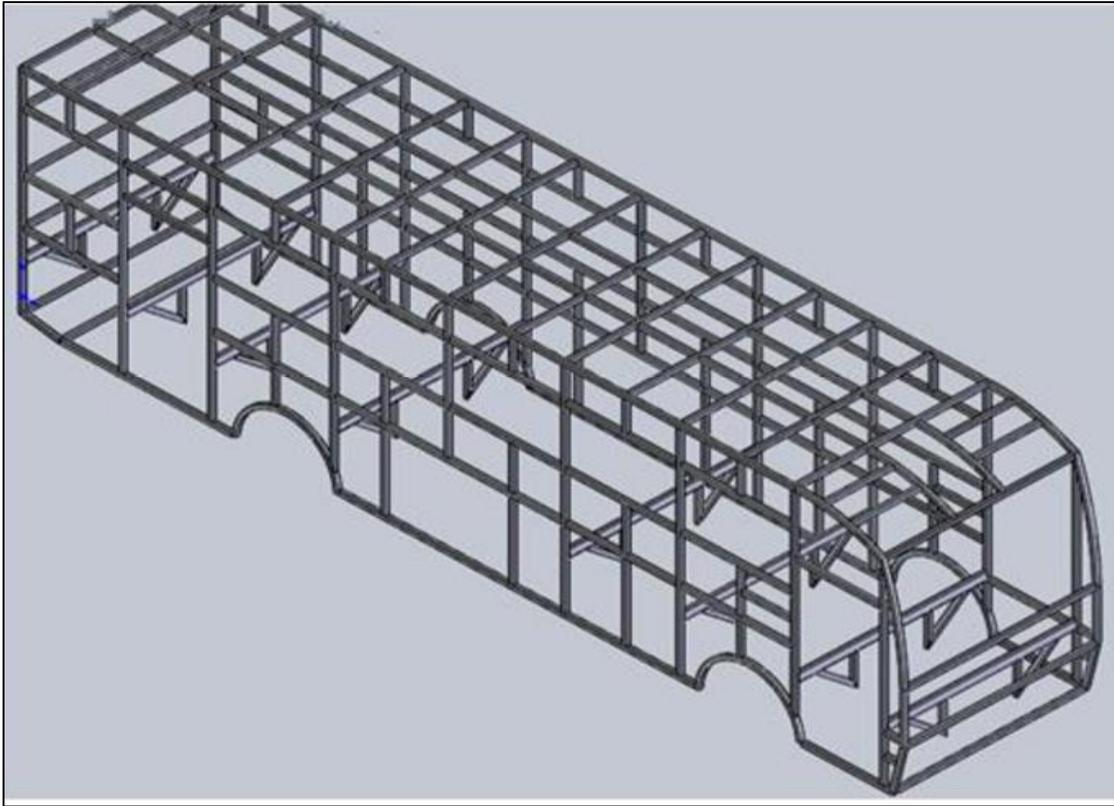
Anexos.**Anexo1. Arreglos Estructurales de Carrocerías Metálicas**

Esquema Lateral Unifilar de Una Carrocería



Isometría Esquema Lateral Unifilar de Una Carrocería

Anexo 2. Arreglos Estructurales de Carrocerías Metálicas



Isometría de una Carrocería Terminada

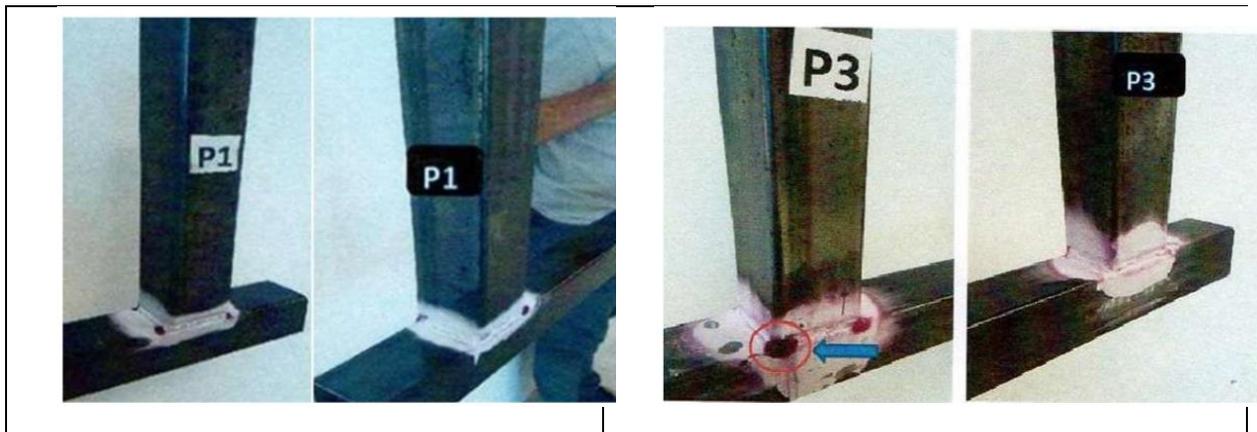


Armazón del piso de una Carrocería Terminada

Anexo 3. Estructuras Metálicas y Pruebas Ejecutadas en las Juntas Soldadas



Estructura metálica, Carrocería para un Bus Interprovincial.
(Fuente: Carrocerías Altamirano, 2015)



Ensayos de tintas penetrantes en Junta de soldadura.
(Fuente Carrocerías Pérez, 2017)

Anexo 4. Probeta para Ensayos de Tensión Rectangular y Secciones Transversales.

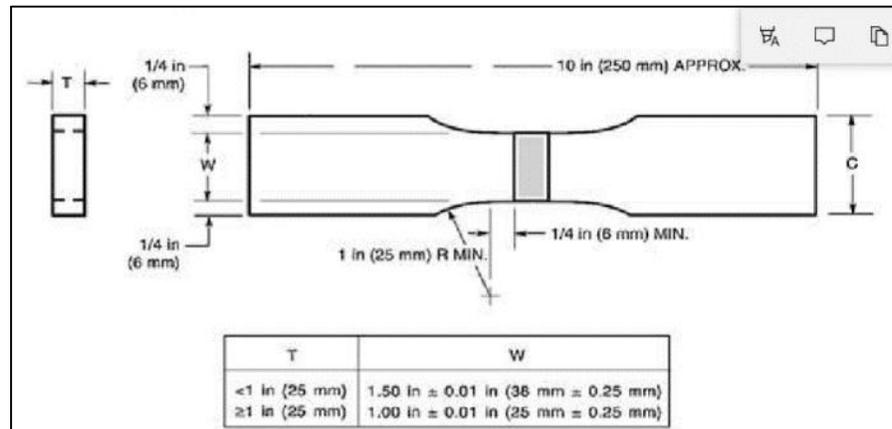
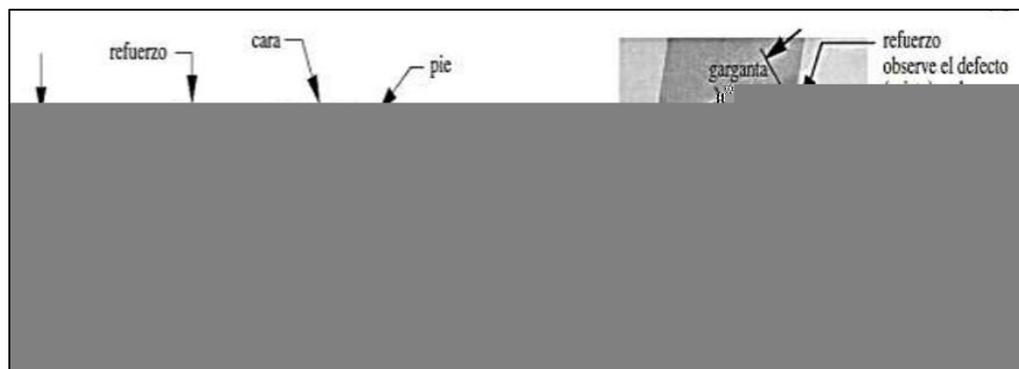


Gráfico 1. Probeta (placa) para prueba de Tensión Rectangular Transversal
(Fuente: Sociedad Americana de Soldadura, 2007)



Sección Transversal y Terminología de un junta soldadura
(Fuente: Norton L, 2011)

Anexo 5. Certificación de profesionales ASTN NDT NIVEL 2 e inspector SCWI

Certificación ASTN NDT NIVEL 2



Certificación de inspector SCWI

Nota: se omitieron los nombres y códigos de registro por pedido de los técnicos

Anexo 6. Resultados comparativos de Ensayos No Destructivos

WELDER, WELDING OPERATOR QUALIFICATION TEST RECORD (WPQ)
 "Registro de calificación de soldador, operador de soldadura o ponleador"
 AWS D1.1 / D1.1M:2010 - Structural Welding Code - Steel

1. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

Nombre soldador: [Redacted] Cliente: [Redacted] No. Estampe: [Redacted]
 Cédula de identidad: [Redacted] Proyecto: [Redacted]
 Tipo: Soldador Fecha calificación: 18-oct-2017
 Operador Fecha caducidad: 16-abr-2018

W109



2. DATOS DE PRUEBA Y RANGOS DE CALIFICACIÓN

VARIABLES ESENCIALES (5.24)	VALORES DE CALIFICACIÓN	RANGO CALIFICADO																									
1. PROCESO	SMAW	SMAW (electrodo revestido)																									
2. TIPO	Manual	Manual únicamente																									
3. POSICIÓN DE SOLDADURA	3G + 4G	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>F</th> <th>H</th> <th>V</th> <th>OH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ranura - Placa</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Ranura - Tubería y tubo cuadrado(f) OD>24in</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Filete - Placa</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Filete - Tubería y tubo cuadrado OD>24in</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		F	H	V	OH	Ranura - Placa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ranura - Tubería y tubo cuadrado(f) OD>24in	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Filete - Placa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Filete - Tubería y tubo cuadrado OD>24in	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	F	H	V	OH																							
Ranura - Placa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																							
Ranura - Tubería y tubo cuadrado(f) OD>24in	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																							
Filete - Placa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																							
Filete - Tubería y tubo cuadrado OD>24in	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																							

F=Plano, H=Horizontal
V=Vertical, OH=Subcabeza

(f) NO aplica para conexiones CJP T-, Y- o K-groove

4. MATERIAL BASE

Espesor de placa o tubería	10 mm	3 a 20 mm en juntas CJP (CJP=Complete Joint Penetration) Limitado para PJP o Filete en placa o tubería
Diámetro tubería	n/a	Tubería de diámetro exterior mayor a 600mm (24in)
Especificación	ASTM A-36	ASTM A36 y cualquier acero cubierto por AWS D1.1:2006 - Tabla 3.1

5. F-No ELECTRODOS SMAW

F4 (E-7018)	F4, F3, F2 y F1
-------------	-----------------

F4: E6015, E6018, E60M, E6015-X, E6018-X, E60M-X
 F3: E6010, E6011, E6016-X, E6011-X
 F2: E6012, E6013, E6014, E6015-X
 F1: E6020, E6024, E6027, E6028, E6020-X, E6027-X

6. RESPALDO

Con placa de respaldo	Con placa o pase de respaldo únicamente
-----------------------	---

En caso uso de pase de respaldo "backspaging" es obligatorio para CJP

7. PROGRESIÓN DE SOLDADURA

Ascendente (3G)	Ascendente para todos los pases
-----------------	---------------------------------

8. ELECTRODOS (simple/múltiple)

Simple	Simple únicamente
--------	-------------------

3. RESULTADOS DE PRUEBAS Y/O ENSAYOS

	Detalle	Observaciones	SI	NO
Inspección visual (4.8.1)	--	No presenta observaciones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensayos destructivos (4.30.5)	Doblado cara 1	No presenta observaciones para ambas posiciones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Doblado raíz 1	No presenta observaciones para ambas posiciones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Otro:	n/a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prueba radiográfica (4.30.3.2)	No. Film	n/a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ensayo alternativo a los doblados, excepto para GBW-5 (5.26.3)

4. RESULTADO DE LA CALIFICACIÓN

Los abajo firmantes certificamos que los resultados consignados en este documento son correctos y las probetas han sido preparadas, soldadas y probadas acorde a los requerimientos del código AWS D1.1 para la aplicación específica mencionada en este proyecto. La calificación requerida por el código AWS D1.1 es específicamente diseñada para determinar la habilidad del personal para producir soldaduras de calidad. La calificación por sí sola no garantiza calidad de soldadura, es requerida adicionalmente la aplicación de WPS's calificados, capacidad de fabricación, supervisión por personal competente y aplicación de algún tipo de END. Cualquier cambio del rango de calificación (ej: cambio de progresión de soldadura, posición, etc) requiere re-calificación del personal. La calificación del soldador u operador de soldadura se considerará indefinida a menos que: (1) el soldador no utilice el proceso para el cual fue calificado por un período que exceda los 6 meses o (2) existe una específica razón para cuestionar la habilidad del soldador (5.21.4). Este documento contiene información confidencial, propiedad de Javier Wang, queda expresamente prohibida su difusión, copia o uso sin su autorización.

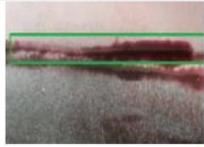
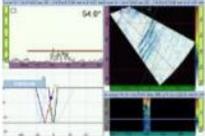
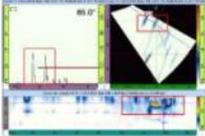
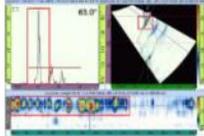
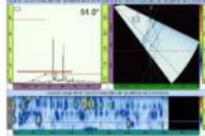
Elaborado por: [Redacted] Revisado por: [Redacted] Revisado por: [Redacted]

Ing. [Redacted] CWI [Redacted] D# 11191
 Inspector de soldadura CWI No. [Redacted]
 Supervisor de soldadura CWS No. [Redacted]

Gerente Técnico [Redacted]

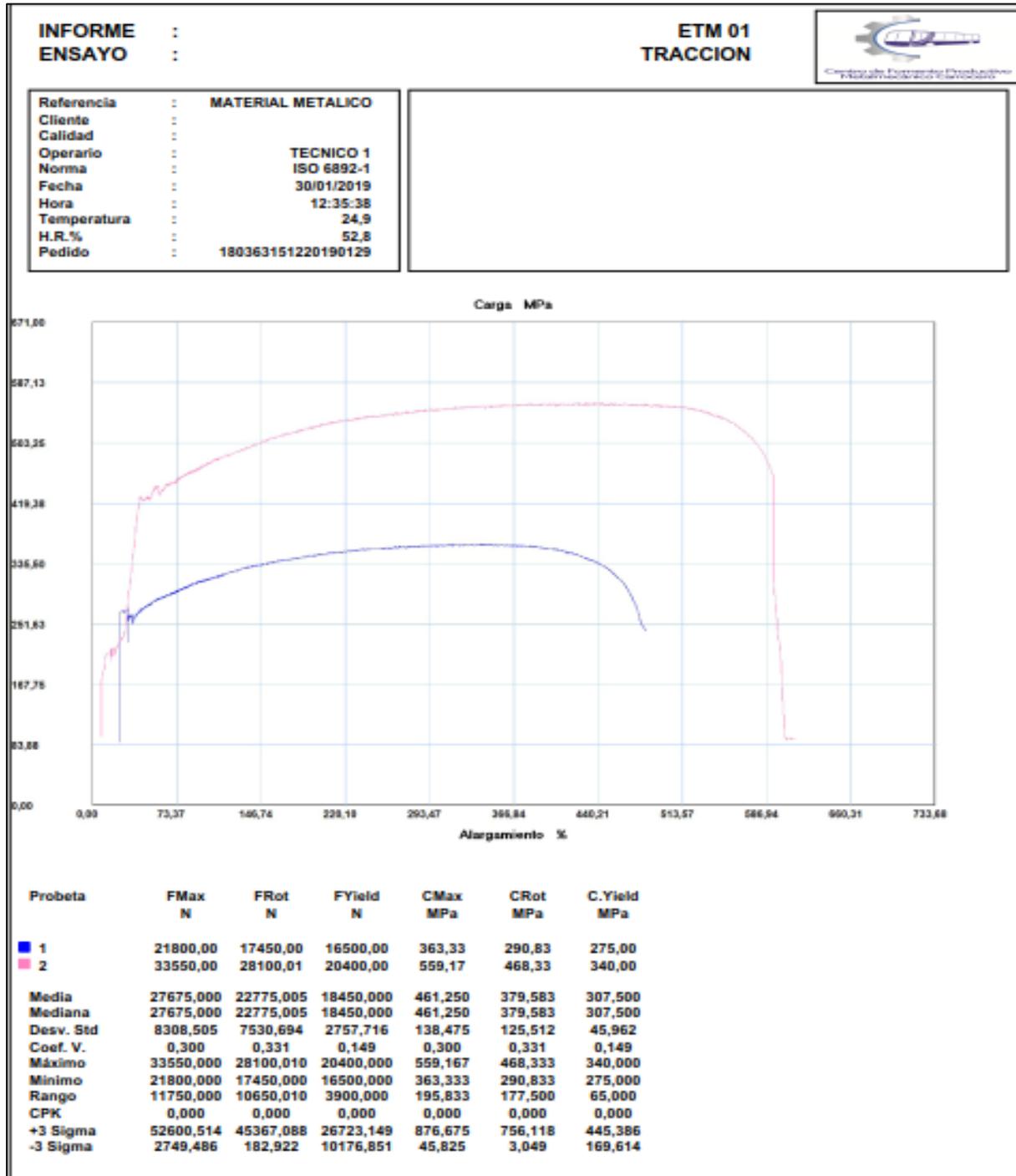
CWI Fiscalización [Redacted]

Anexo 7. Resultados comparativos de Ensayos No Destructivos

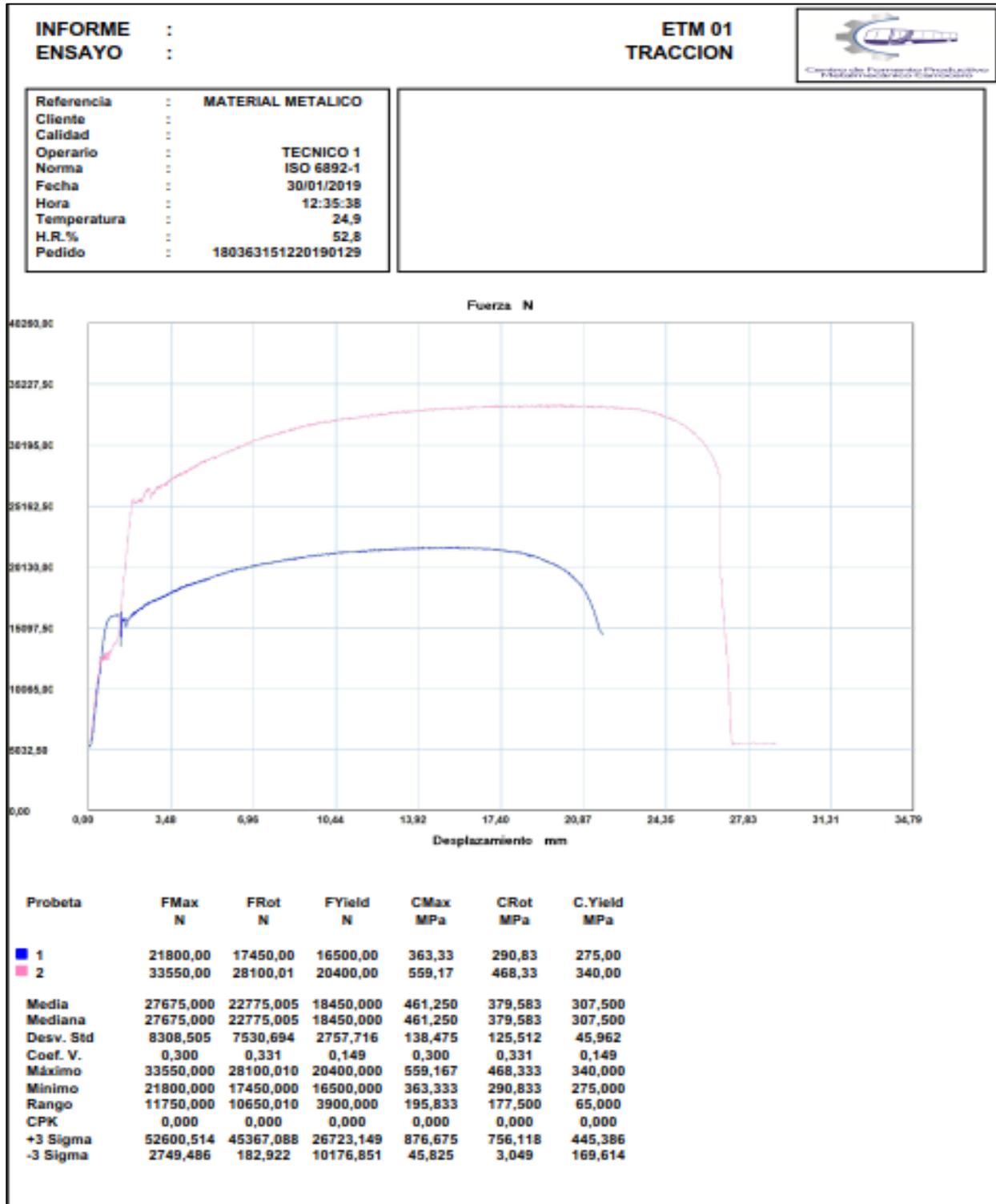
Análisis de resultados comparativos				
Método	Discontinuidad			
	Porosidad	Socavado *	Falta de penetración *	Inclusión de escoria **
Líquidos penetrantes				
Descripción	El comportamiento de los líquidos penetrantes con respecto a la identificación de la discontinuidad de la porosidad es un patrón similar y/o semejante, de geometría simple el cual es de forma circular, por efecto del sangrado	muestra una indicación, es la discontinuidad de socavado interno y se identifica fácilmente porque el líquido penetrante se quedó en el metal base afectado por el proceso de soldadura. Se encuentra adyacente a la raíz y se generó probablemente la mala creación del arco eléctrico o una velocidad de avance alta, haciendo una solidificación del metal de aporte con el metal base rápida.	muestra una discontinuidad tipo "Falta De Penetración". La cual se originó por el deficiente depósito de metal de aporte un el bisel. Se observa el contraste mostrado entre revelador y penetrante, lo cual hace la fácil identificación de la discontinuidad para el inspector	En el caso de inclusión de escoria no están evidente la discontinuidad, ya que el comportamiento de los líquidos penetrantes tiende a comportarse más como indicación relevante o no relevante por falta de limpieza sobre la superficie.
Partículas magnéticas				
Descripción	En esta imagen podemos observar nuevamente la acumulación de partículas generada por una discontinuidades. La zona (1) se puede evidenciar el defecto de porosidad de forma sud-superficial, en la zona(2) el defecto de porosidad se evidencia que es superficial. La zona (3) se evidencia indicaciones no relevantes generados por geometrías conformada por el traslape del cordón de soldadura.	la discontinuidad de socavado interno esta resaltada con el ovalo número 2, la indicación que aparece se identifica porque las partículas magnéticas se agruparon. Al igual que con el defecto de falta de penetración, se logra estimar que hay una irregularidad en el material, en este caso, el cordón de soldadura, pero no es muy claro el tamaño total de la discontinuidad.	se observa la raíz del cordón de soldadura, allí se evidencian la discontinuidad de falta de penetración identificado con el ovalo número 1. Debido a la poca claridad de la imagen, no se puede establecer muy bien la ubicación de los defectos	Como podemos evidenciar en la toma fotográfica, se puede llegar a concluir que este tipo de Ensayo NO evidencia y adicionalmente no es óptimo para la identificación de Escoria superficial ni sub-superficial, solo identifica suciedad fácilmente removible que se depositó en el proceso de soldadura realizado.
Ultrasonido				
Descripción	Son reflectores esféricos o cilíndricos (poros vermiculares). Aisladas, son malos reflectores. Los ecos de estos defectos suelen ser pequeños. Pueden localizarse desde ambos lados del cordón. Los poros agrupados, a veces, dan ecos similares a los de las escorias pero de menos amplitud.	El eco del defecto suele presentarse muy similar al defecto de falta de penetración. Las indicaciones de los ecos sucesivos crecen rápidamente hasta un máximo. La distancia entre B y C depende de la longitud de la discontinuidad. En general esta distancia aumenta con el nivel de sensibilidad.	Defectos de pared lisa asociados en ocasiones con escorias, suelen ser buenos reflectores. Su orientación es siempre casi paralela al cordón y están situados en el centro del cordón aproximadamente.	El eco de este defecto es muy característico y en muchas ocasiones tiene forma de abeto, aunque a veces puede aparecer, si las escorias son finas y alineadas, ecos similares a los de falta de penetración. Su localización desde ambos lados del cordón es posible en la mayoría de los casos

Resultados comparativos, Ensayos No Destructivos. (Fuente: Segura, T. eat/. 2015).

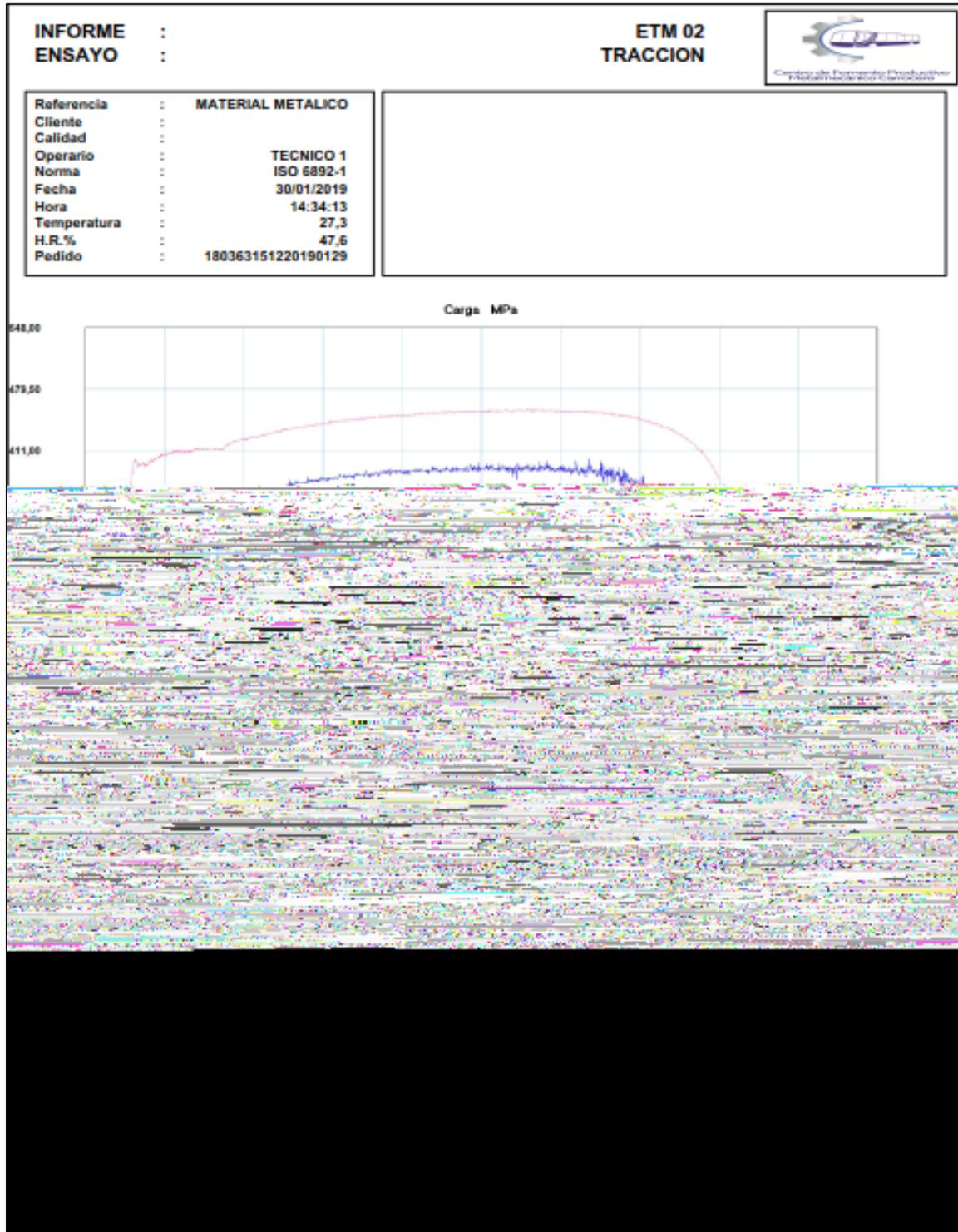
Anexo 8. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Tracción Acero ASTM A36



Resultados del Ensayo de Tracción Acero ASTM A36 con cordón GMAW.
(Fuente: Laboratorios CFPMC).

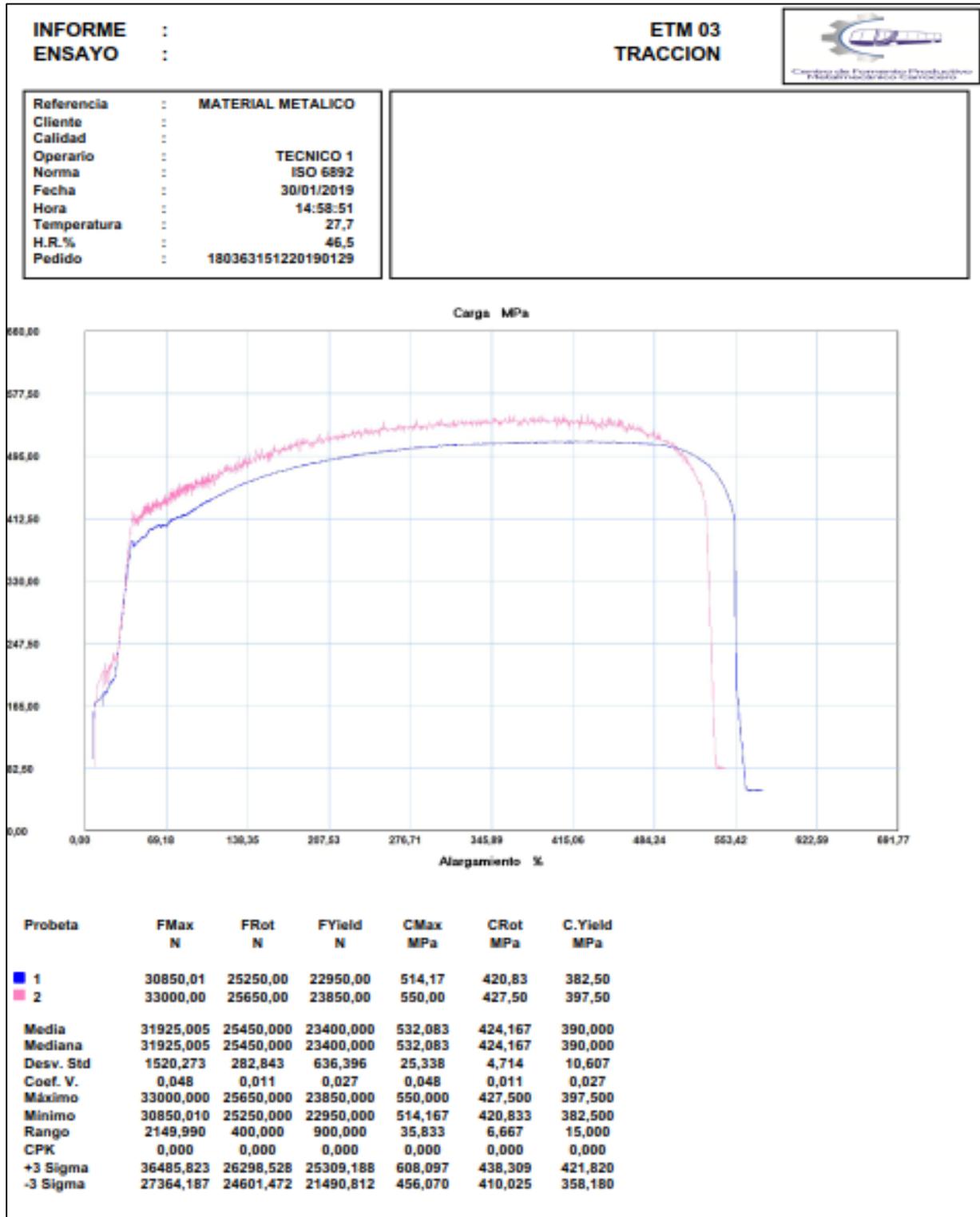


Resultados del Ensayo de Tracción Acero ASTM A36 con cordón GMAW.
(Fuente: Laboratorios CFPMC).

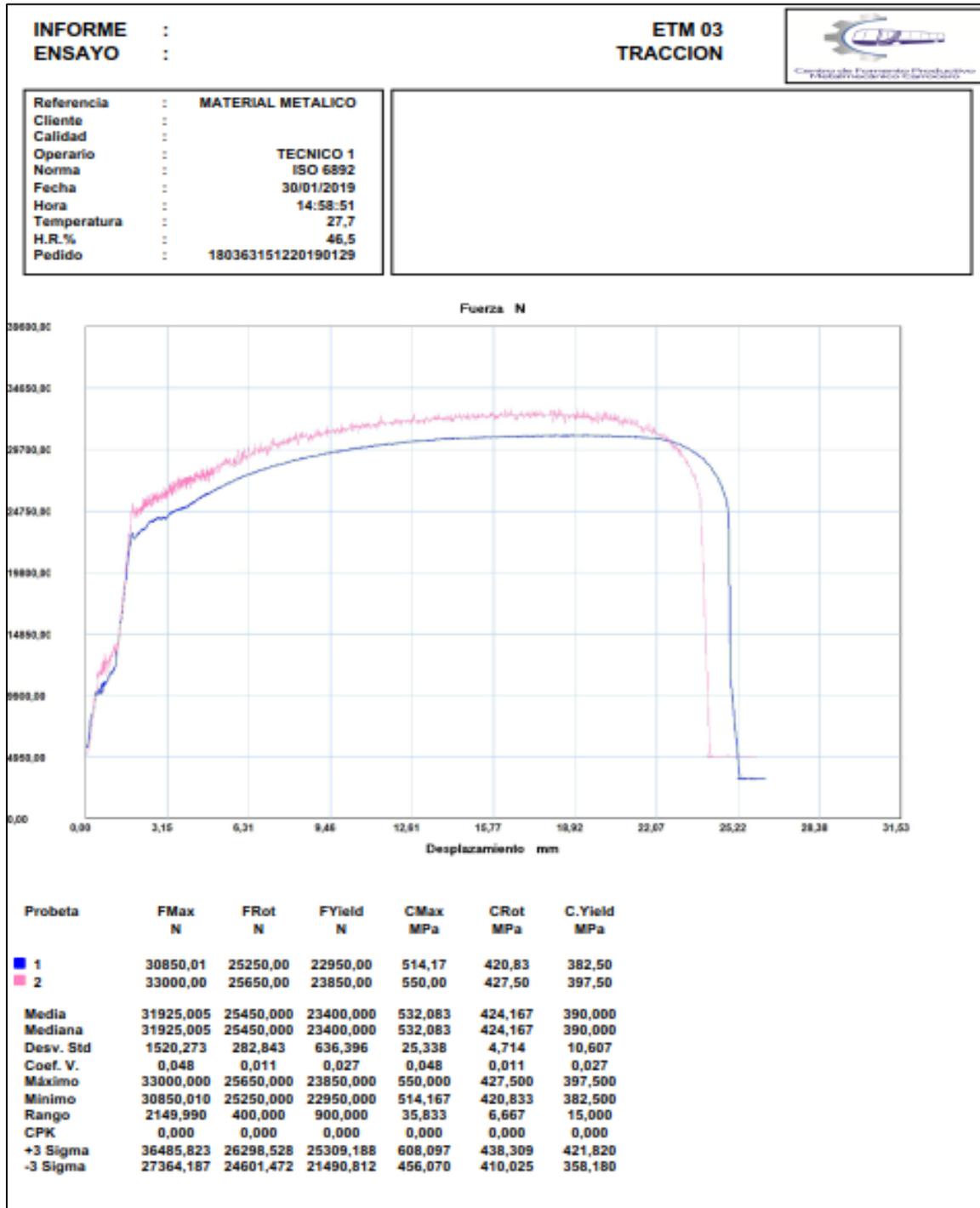
Anexo 9. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Tracción Acero ASTM A514

Resultados del Ensayo de Tracción Acero ASTM A514 con cordón GMAW.
(Fuente: Laboratorios CFPMC).

Anexo 10. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Tracción Acero ASTM A517



Resultados del Ensayo de Tracción Acero ASTM A517 con cordón GMAW.
(Fuente: Laboratorios CFPMC).



Resultados del Ensayo de Tracción Acero ASTM A517 con cordón GMAW.
(Fuente: Laboratorios CFPMC).

Anexo 11. Pruebas Mecánicas, Ensayo de Dureza Acero ASTM A36, A514 y A517



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza BRINELL			
				Medición ZF	Medición ZF/ZAT	Medición ZAT	Medición MB
1	180363151220190129-EDB 01-1	23,3	59,3	158	133	89	82
2	180363151220190129-EDB 01-2	23,3	59,3	156	132	90	83
\bar{X} Promedio				157,00	132,50	89,50	82,50
S_{n-1} Desviación estándar				1,41	0,71	0,71	0,71
CV Coeficiente de variación				0,90	0,53	0,79	0,86

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza BRINELL			
				Medición ZF	Medición ZF/ZAT	Medición ZAT	Medición MB
3	180363151220190129-EDB 02-1	22,1	57,8	136	128	126	114
4	180363151220190129-EDB 02-2	22,1	57,8	135	129	127	115
\bar{X} Promedio				135,50	128,50	126,50	114,50
S_{n-1} Desviación estándar				0,71	0,71	0,71	0,71
CV Coeficiente de variación				0,52	0,55	0,56	0,62

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza BRINELL			
				Medición ZF	Medición ZF/ZAT	Medición ZAT	Medición MB
5	180363151220190129-EDB 03-1	22,3	60,5	127	136	121	112
6	180363151220190129-EDB 03-2	22,3	60,5	129	137	118	115
\bar{X} Promedio				128,00	136,50	119,50	113,50
S_{n-1} Desviación estándar				1,41	0,71	2,12	2,12
CV Coeficiente de variación				1,10	0,52	1,78	1,87

Código: RG-AM-004
Fecha de Elaboración: 12-08-2017
Fecha de última aprobación: 06-06-2018
Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE DUREZA BRINELL

Página 2 de 7

Resultados del Ensayo de Dureza Acero ASTM A36, A514 y A517 con cordón GMAW.
(Fuente: Laboratorios CFPMC).