



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS DE SOLDADURAS DEL ARMAZÓN
FRONTAL DE LA CARROCERÍA DE UN BUS
INTERPROVINCIAL PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA
DEBIDO A LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LOS PUNTOS
DE UNIÓN ESTRUCTURAL**

AUTOR: LUIS FELIPE JIMÉNEZ PRUNA

DIRECTOR: ING. MAURICIO CRUZ

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE SOLDADURAS DEL ARMAZÓN FRONTAL DE LA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA DEBIDO A LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LOS PUNTOS DE UNIÓN ESTRUCTURAL**” realizado por el señor **LUIS FELIPE JIMÉNEZ PRUNA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **LUIS FELIPE JIMÉNEZ PRUNA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 15 de marzo de 2018



ING. MAURICIO CRUZ
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LUIS FELIPE JIMÉNEZ PRUNA**, con cédula de ciudadanía N°0502817638 declaro que este trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE SOLDADURAS DEL ARMAZÓN FRONTAL DE LA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA DEBIDO A LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LOS PUNTOS DE UNIÓN ESTRUCTURAL**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 15 de marzo de 2018



LUIS FELIPE JIMÉNEZ PRUNA
C.C.:0502817638



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, ***LUIS FELIPE JIMÉNEZ PRUNA***, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación ***“ANÁLISIS DE SOLDADURAS DEL ARMAZÓN FRONTAL DE LA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA DEBIDO A LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LOS PUNTOS DE UNIÓN ESTRUCTURAL”*** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 15 de marzo de 2018



LUIS FELIPE JIMÉNEZ PRUNA
C.C.:0502817638

DEDICATORIA

Eres una mujer que sencillamente me hace llenar de orgullo, te amo y no va haber manera de devolverte tanto que me has ofrecido desde que nací. Este proyecto de investigación es un logro más que llevo a cabo, y sin lugar a dudas ha sido en gran parte gracias a ti; no sé en donde me encontraría de no ser por tus ayudas, tu compañía, y tu amor.

Te doy mis sinceras gracias, amada madre.

Felipe.

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia que con sus palabras de aliento me supieron apoyar y en esta recta final quiero agradecer a mi mujer y mi hija que con su amor y devoción me dieron la fuerza para sobresalir a este último esfuerzo que hoy se ve plasmado en este proyecto de investigación.

Mil gracias a todos por su incondicional apoyo.

Felipe.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO I

GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Descripción resumida del proyecto.....	2
1.4. Justificación e importancia.....	2
1.5. Objetivos del proyecto.....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. Metas.....	4
1.7. Hipótesis.....	4
1.8. Variables de la investigación.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	5
2.1. Carrocería.....	5
2.2. Soldadura	12
2.2.1. Introducción	12
2.2.2. Proceso de soldadura.....	12
2.2.3. Juntas soldadas y tipos de soldaduras.....	14
2.2.4. Flujo de la temperatura en soldaduras	15
2.2.5. Defectos y discontinuidades en soldaduras	16
2.2.6. Discontinuidades en soldaduras.....	17
2.3. Métodos de pruebas para juntas soldadas.....	22
2.3.1. Ensayo Destructivo.....	22
2.3.2. Ensayos no destructivos (END).....	25
2.4. Normas utilizadas en ensayos a juntas soldadas.....	32
2.4.1. Sociedad Americana de Soldadura (AWS)	33
2.4.2. Resistencia estática en soldaduras	33
2.4.3. Esfuerzos residuales en soldaduras.....	34

CAPÍTULO III

ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES, PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA Y RESULTADOS OBTENIDOS	36
3.1. Técnica de soldadura	36
3.1.1. Procedimiento de soldadura WPS.....	36
3.1.2. Registro de la información en el PQR	36
3.1.3. Registro de Calificación del Soldador (WPQ).....	37
3.2. Probetas para ensayos destructivos	37
3.2.1. Metal base	38
3.2.2. Material de aporte.....	38
3.2.3. Elaboración de los especímenes.....	39
3.3. Procedimiento de prueba del ensayo destructivo (Tracción)	41
3.4. Probetas para ensayos no destructivos	42

	ix
3.4.1. Preparación de las juntas de soldaduras	43
3.4.2. Procedimiento del ensayo no destructivo (Líquidos penetrantes)	44
3.4.3. Procedimiento del ensayo no destructivo (Partículas Magnéticas)	46

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
4.1. Resultados de los ensayos destructivos (Tracción)	49
4.2. Resultados ensayos no destructivos	53
4.2.1. Junta de soldadura P1	54
4.2.2. Junta de soldadura P2	55
4.2.3. Junta de soldadura P3	56

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. Conclusiones	58
5.2. Recomendaciones	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Perfiles empleados en el armazón frontal de la carrocería.....	8
Tabla 2	Composición de distintas piezas de la carrocería.....	11
Tabla 3	Propiedades mecánicas Acero ASTM A500.....	38
Tabla 4	Propiedades mecánicas, material de aporte normativa A.W.S.....	39
Tabla 5	Parámetros de configuración para la prueba destructiva.....	42
Tabla 6	Velocidades de control para ensayos destructivos.....	42
Tabla 7	Resultados ensayos destructivos (Tracción).....	50
Tabla 8	Esfuerzos a tracción obtenidos analíticamente.....	51
Tabla 9	Resultados ensayos no destructivos por líquidos penetrantes.....	53
Tabla 10	Resultados ensayos no destructivos por líquidos penetrantes.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estructura metálica de la carrocería de un bus interprovincial	5
Figura 2	Paneles exteriores de la carrocería	6
Figura 3	Armazón frontal.....	6
Figura 4	Armazón central y posterior	7
Figura 5	Armazón del piso	7
Figura 6	Perfiles estructurales	8
Figura 7	Perfiles empleados en la carrocería de bus.....	9
Figura 8	Chapas de acero en la estructura de una carrocería.....	10
Figura 9	Sección transversal de soldadura y terminología	13
Figura 10	Soldadura de arco de gas con electrodo metálico (GMAW).....	14
Figura 11	Tipos de juntas soldadas	14
Figura 12	Ejemplos de tipos de soldadura.....	15
Figura 13	Flujo de la temperatura en soldadura	15
Figura 14	Distribución de la temperatura alrededor de una soldadura típica	16
Figura 15	Soldadura con exceso de penetración.....	18
Figura 16	Soldadura con penetración incompleta.....	18
Figura 17	Soldadura con falta de relleno	19
Figura 18	Soldadura con discontinuidad por quemón.....	20
Figura 19	Soldadura con salpicaduras.....	20
Figura 20	Soldadura con falta de continuidad del cordón.....	21
Figura 21	Soldadura con fisuras	22
Figura 22	Soldadura con falta de fusión	22
Figura 23	Muestra de prueba de tensión rectangular transversal (placa).....	23
Figura 24	Probeta de prueba a tracción de soldadura	24
Figura 25	Ensayo no destructivo por inspección visual	26
Figura 26	Inspección por líquido penetrante fluorescente	28
Figura 27	Prueba de partículas magnéticas	30
Figura 28	Esfuerzos residuales en soldaduras	35
Figura 29	Parte frontal seleccionada para obtención de los especímenes....	38
Figura 30	Especímenes para los ensayos destructivos	40
Figura 31	Máquina universal de ensayos MTE 50	40
Figura 32	Diagrama de flujo del proceso de ensayo destructivo a tracción...	41

	xii
Figura 33 Proceso de suelda de los puntos de unión estructural	43
Figura 34 Espécimen culminado para el ensayo no destructivo	44
Figura 35 Diagrama de flujo proceso de prueba del ensayo no destructivo ..	44
Figura 36 Bonina de ensayo de Partículas Magnéticas	46
Figura 37 Aplicación de líquido fluorescente en la soldadura	47
Figura 38 Spray MAGNAGLO 14AM.....	47
Figura 39 Indicador de pie de campo.....	48
Figura 40 Diagrama Esfuerzo vs. Desplazamiento-Ensayos destructivos.....	50
Figura 41 Juntas de soldaduras a analizar	54
Figura 42 Junta de soldadura P1	54
Figura 43 Junta de soldadura P2	55
Figura 44 Junta de soldadura P3	56
Figura 45 Probeta analizada por Partículas Magnéticas	57

RESUMEN

Existen muchas aplicaciones en donde las soldaduras juegan un papel importante a la hora de brindar una óptima resistencia estructural; el enfoque del presente proyecto está basado en el análisis de soldaduras de los puntos de unión estructural pertenecientes al armazón frontal de una carrocería de bus interprovincial. La mayoría de los metales se sueldan, pero con el calor suministrado por la soldadura tienden a reducir la resistencia de los elementos soldados. En los procesos de soldadura que se llevan a cabo para la fabricación de estructuras carroceras, puede existir la presencia de fallas o defectos provocados por factores como el exceso de temperatura y fallos de material que ocasionan que las partes restantes del conjunto estructural no puedan soportar los esfuerzos a las que están sujetas. Por lo tanto, existe la necesidad de detectar estos defectos y evaluarlos en términos de su naturaleza, tamaño y ubicación. La evaluación se la ejecuta por medio de ensayos destructivos aplicados a juntas pertenecientes al armazón frontal de la carrocería, lo que proporciona información sobre el rendimiento del objeto en estudio. También se aplican los métodos de ensayos no destructivos, los mismos que permiten evaluar las soldaduras de las juntas proporcionando resultados válidos. Los ensayos se llevan a cabo en laboratorios certificados a nivel nacional y mediante el análisis de las juntas soldadas se determina la calidad de soldaduras y la resistencia que presenta el armazón frontal del bus, para de esta manera garantizar la seguridad de los pasajeros. Una vez obtenidos los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos, se emiten conclusiones que permitan validar el armazón estructural.

PALABRAS CLAVE:

- **CARROCERÍAS – ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**
- **CARROCERÍAS – TRANSPORTE DE PASAJEROS**
- **SOLDADURAS**

ABSTRACT

There are many applications where welding plays an important role in providing optimal structural strength; the focus of the present project is based on the analysis of welds of the structural attachment points belonging to the front frame of an interprovincial bus body. Most metals are welded, but with the heat supplied by the weld they tend to reduce the strength of welded elements.

In the welding processes carried out for the manufacture of body structures, there may be the presence of faults or defects caused by such factors as the excess temperature and material faults that cause that the remaining parts of the structural assembly cannot support the to which they are subject. Therefore, there is a need to detect these defects and evaluate them in terms of their nature, size and location. The evaluation is carried out by means of destructive tests applied to joints belonging to the front frame of the body, which provides information on the performance of the object under study. Non-destructive testing methods are also used, which allow the evaluation of welds of the joints, providing valid results. The tests are carried out in nationally certified laboratories and the analysis of the welded joints determines the quality of welds and the resistance of the front frame of the bus, in order to ensure the safety of the passengers. Once the results of the destructive and non-destructive tests are obtained, conclusions are made to validate the structural framework.

KEYWORDS:

- **BODIES - NO DESTRUCTIVE TESTS**
- **BODIES - TRANSPORTATION OF PASSENGERS**
- **WELDING**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

El armazón de un bus debe poseer la resistencia necesaria en los puntos de unión estructural a fin de brindar mayor protección a los pasajeros del vehículo; a través del estudio de puntos de soldaduras y con ayuda de la ingeniería se puede determinar el comportamiento de cada junta soldada perteneciente al bus. El presente proyecto de investigación muestra el estudio de juntas soldadas del armazón frontal de un bus interprovincial de la empresa Carrocerías Peres.

El análisis del sistema estructural se lo realiza con datos obtenidos de ensayos destructivos y no destructivos de puntos de soldadura pertenecientes al armazón frontal del bus.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE no cuenta con este tipo de análisis, el estudio aportaría de manera significativa a la Institución, pues investigaciones sobre soldaduras en estructuras metálicas permitirán que centros carroceros puedan determinar el comportamiento de juntas soldadas de sus estructuras carroceras y de esta manera determinar los puntos de unión donde existe concentración de esfuerzos debido a las irregularidades del cordón de soldadura.

1.2. Planteamiento del problema

Existen normativas vigentes que establecen requisitos que debe cumplir una estructura metálica para desempeñar la función a la que fue destinada, estos requisitos exigen un proceso de soldadura óptimo y seguro. Los requerimientos actuales para la homologación y acreditación de empresas carroceras exigen una mejora en el proceso de diseño y producción de carrocerías, motivo por el cual la industria carrocera requiere de un estudio más profundo de los productos para optimizar los procesos de fabricación.

La Universidad tiene estudios relacionados al diseño y análisis de carrocerías de buses, basados en requerimientos mínimos de construcción según la norma nacional NTE INEN 1323:2009, pero no presentan un análisis de soldaduras de las juntas de unión estructural, lo cual es fundamental para conocer la resistencia que presenta la estructura carrocera.

El objetivo de la investigación es generar datos que permitan emitir conclusiones sobre la resistencia de la estructura debido a los esfuerzos producidos en los puntos de unión.

1.3. Descripción resumida del proyecto

El presente proyecto está enfocado al estudio de las juntas de unión estructural del armazón frontal de una carrocería de bus, a la cual se le aplicará un análisis basado en ensayos destructivos (tracción) y no destructivos (inspección visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas) para verificar la calidad del cordón de soldadura y su resistencia en función de los esfuerzos a los que está sometida.

El tipo de soldadura utilizada en el armazón frontal es de tipo homogénea por fusión, producida por arco eléctrico en atmosfera inerte, es decir tipo MIG.

El proyecto será vinculado con investigaciones anteriormente desarrolladas, con la finalidad de converger con resultados fiables que generen datos que permitan presentar conclusiones sobre la resistencia de los puntos de unión estructural del armazón frontal de la carrocería.

1.4. Justificación e importancia

Una vez realizado el análisis de los puntos de unión estructural basada en ensayos destructivos y no destructivos a las soldaduras, se obtendrán resultados que contribuyan a mantener un nivel de calidad uniforme, con la consiguiente conservación y aseguramiento de la calidad funcional de todo el sistema estructural.

Para la universidad contribuirá en su vinculación con áreas investigativas, esperando formar futuros profesionales que podrán generar nuevas fuentes de empleo, además la profundización de la investigación puede generar publicaciones en revistas especializadas mediante artículos.

El análisis del comportamiento de la soldadura de una carrocería mediante ensayos destructivos y no destructivos en los puntos de unión estructural, servirá como referente de estudio de carrocerías fabricados en serie de cualquier empresa privada, optimizando recursos y brindando seguridad a los ocupantes del vehículo.

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

Analizar las soldaduras del armazón frontal de una carrocería de un bus interprovincial basada en ensayos destructivos y no destructivos para determinar los esfuerzos producidos en los puntos de unión estructural, que contribuyan a la conservación y aseguramiento de la calidad funcional de todo el sistema.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener la información teórica para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Investigar sobre Normativas Técnicas de Estándares Nacionales e Internacionales de soldaduras aplicadas a estructuras metálicas.
- Realizar ensayos destructivos (tracción) de juntas soldadas pertenecientes al armazón frontal de la carrocería para determinar los esfuerzos producidos en los puntos de unión.
- Realizar ensayos no destructivos (inspección visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas) de juntas soldadas pertenecientes al armazón frontal de la carrocería, con la finalidad de detectar discontinuidades superficiales.

- Tabular los datos obtenidos de los ensayos destructivos y no destructivos realizados a las probetas de pruebas y juntas.
- Evaluar y analizar los datos tabulados para determinar la resistencia que presentan las juntas de unión estructural.
- Elaborar un informe de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

1.6. Metas

- Ejecución de ensayos destructivos y no destructivos de juntas de unión pertenecientes al armazón frontal de la carrocería del bus.
- Obtención de los datos arrojados en los ensayos destructivos y no destructivos de las juntas estructurales que permitan evaluar y analizar el estado de los puntos de unión del armazón.
- Elaboración de un informe de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas que permita generar datos útiles para emitir conclusiones sobre el estado de las juntas y de los esfuerzos a los que están sujetas.

1.7. Hipótesis

¿Las juntas que pertenecen al armazón frontal del bus interprovincial resisten los esfuerzos a los que están sujetos?

1.8. Variables de la investigación

- Variable independiente: Análisis estructural de los puntos de unión estructural de la carrocería.
- Variable dependiente: Validación estructural mediante ensayos destructivos y no destructivos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Carrocería

La carrocería es el armazón del vehículo, formado generalmente por planchas metálicas unidas entre sí, que constituye el apoyo de los elementos mecánicos y cuyo interior se destina al habitáculo para los pasajeros o las mercancías. (Gualdron Blanco & Luna Gómez, 2009)

En la Figura 1 se muestra el armazón completo de un bus interprovincial.



Figura 1 Estructura metálica de la carrocería de un bus interprovincial

Fuente: (Carrocerías Altamirano, 2015)

2.1.1. Elementos de una carrocería

La carrocería está formada de cuatro conjuntos estructurales:

Paneles exteriores

La carrocería posee elementos estructurales exteriores, los cuales brindan un aspecto llamativo al vehículo y dependiendo de sus diseños se puede obtener una forma atractiva del mismo; dentro de los paneles exteriores de un bus se disponen: el panel frontal y posterior, panel del techo, plataforma, etc., como se muestra en la Figura 2.

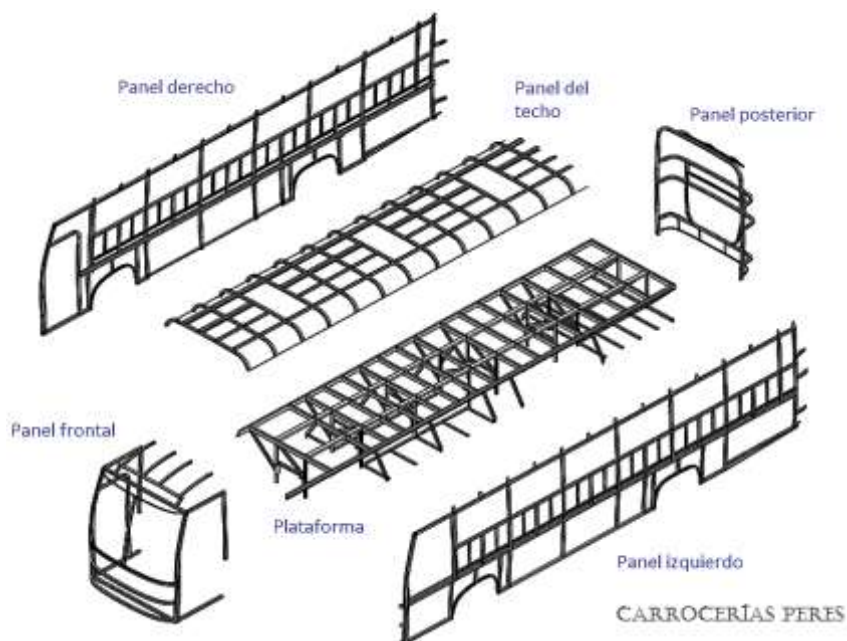


Figura 2 Paneles exteriores de la carrocería

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

Armazón delantero

En la Figura 3 se muestra el armazón delantero de un bus interprovincial.

El armazón frontal posee elementos estructurales reforzados con la finalidad de sujetar todos los elementos eléctricos y mecánicos del vehículo.



Figura 3 Armazón frontal

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

Armazón central y posterior

Las piezas que constituyen este conjunto, la unión del piso con la estructura que encierra el habitáculo, forma un armazón que define la forma del habitáculo y actúa de elemento rígido total; además, en caso de accidente garantiza una célula mínimamente deformable que protege a los ocupantes del vehículo. Los elementos más importantes de estos conjuntos son: largueros, travesaños, refuerzos y pilares. (Navarro, Gómez Morales, García Jiménez, & Águeda Casado, 2010)

En la Figura 4 se muestra el armazón central y posterior del bus.



Figura 4 Armazón central y posterior

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

Armazón del piso

Constituye el suelo del vehículo, lo forman un conjunto de perfiles estructurales y planchas soldadas a los travesaños y largueros. El piso une el armazón posterior y delantero como se muestra en la Figura 5, está dividido en dos partes elementales: piso del habitáculo y piso del maletero. (Navarro, Gómez Morales, García Jiménez, & Águeda Casado, 2010)

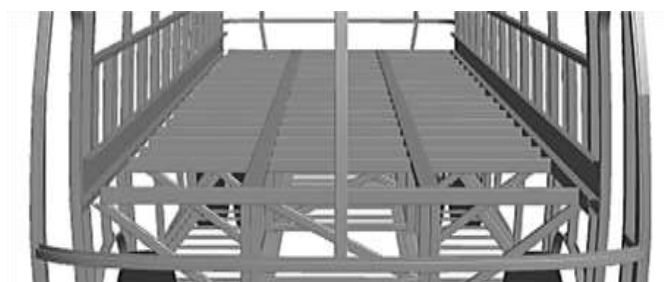


Figura 5 Armazón del piso

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

2.1.2. Perfiles estructurales en la carrocería

Un elemento estructural debe soportar cargas estáticas y dinámicas elevadas, actuar como refuerzo en la carrocería del vehículo y ser capaz de reducir la deformación longitudinal del espacio interior en caso de una colisión. En la Figura 6 se observan varios perfiles estructurales utilizados en la industria automotriz.



Figura 6 Perfiles estructurales

Fuente: (ACEROTEX, 2012)

El armazón frontal de la carrocería del bus interprovincial, objeto de estudio posee perfiles estructurales con las características que se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1

Perfiles empleados en el armazón frontal de la carrocería

Unidad Estructural	Especificación (mm)	Material
Armazón Frontal	Tubo cuadrado 50x50x3	ASTM A500 (Acero Negro)
	Tubo cuadrado 50x50x2	
	Tubo cuadrado 40x40x2	
	Tubo rectangular 100x50x3	
	Tubo rectangular de refuerzo 60x40x3	
	Canal de refuerzo C100x50x50x3	
	Canal de refuerzo C50x25x25x2	
	Zócalo 216x39x28x23x2	
Perfil especial Z		

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

En la Figura 7 se observa la estructura del bus con los perfiles estructurales empleados para su construcción.



Figura 7 Perfiles empleados en la carrocería de bus

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

2.1.3. Materiales empleados en la fabricación de carrocerías

El acero sigue siendo el material más utilizado en la fabricación de carrocerías, ya sea de automóviles, camiones, motocicletas, etc. La utilización del acero como material más utilizado se debe a que presenta muchas ventajas como son las propiedades mecánicas, facilidad en su trabajado y un coste de obtención y fabricación bajo. Gracias a las investigaciones de los fabricantes de automóviles, se están introduciendo nuevos aceros que presentan cualidades y ventajas mayores con respecto a los aceros convencionales. Hay que tener en cuenta que el acero tiene el inconveniente de ser un material pesado, pero debido a su bajo coste es el material más utilizado en la construcción de carrocerías, lo que conlleva a la fabricación de un vehículo más pesado. Como un mayor peso en el vehículo conlleva a un mayor consumo y una mayor contaminación, los fabricantes se ven obligados a disminuir este peso. Los fabricantes de vehículos se han visto obligados a utilizar materiales más ligeros en la fabricación de piezas de la carrocería, ya sean piezas exteriores de la carrocería o piezas estructurales. Los fabricantes actualmente están utilizando en piezas exteriores: plásticos termoplásticos y termoestables, aluminio, fibra de vidrio, etc. (Gassó Bas, 2011)

Acero

El acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,03 % y el 1,075 % en peso de su composición, dependiendo del grado, y sumergido en agua fría adquiere por el temple gran dureza y elasticidad. El acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio). El hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto, consiste solamente de un tipo de átomo. (Araujo, 2014)

En la Figura 8 se muestra una estructura de carrocería de un automóvil con chapas de acero.

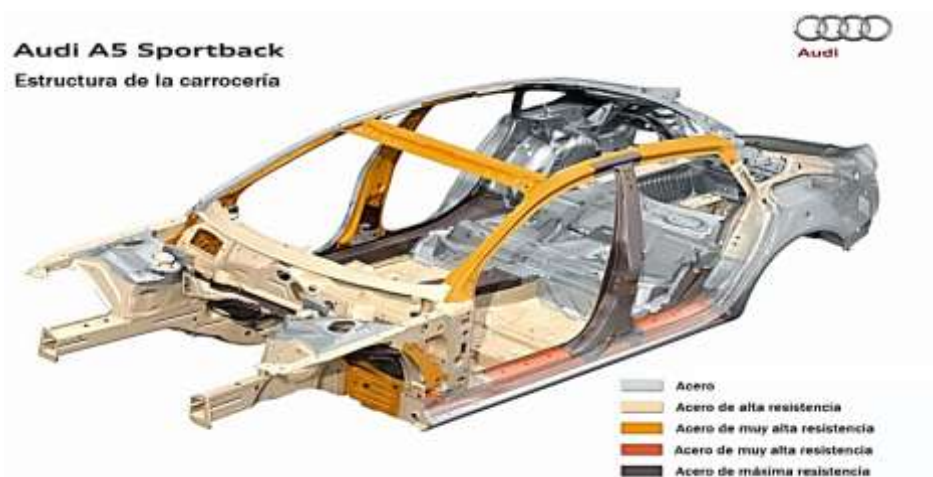


Figura 8 Chapas de acero en la estructura de una carrocería

Fuente: (Díaz I. , 2012)

Aluminio

El empleo del aluminio en la fabricación de la carrocería del vehículo se ha incrementado en los últimos años y se prevé que siga aumentando. Uno de los principales factores que hace del aluminio un material a utilizar más frecuentemente por los fabricantes de vehículos es su ligereza, punto muy valorado de cara a cumplir con los objetivos de emisiones de CO₂ marcados por la Unión Europea. A este respecto, en el estudio de European Aluminium se estima que la cantidad de aluminio utilizado en nuevos vehículos subirá hasta los 180 kilos en 2020. (Gtmotive, 2017)

Plásticos

La utilización de los plásticos en la fabricación de los vehículos, es cada vez más frecuente. El acero, material utilizado tradicionalmente, va siendo desplazado por otros materiales para la fabricación de determinadas piezas, que poco a poco van aumentando en número, y para las cuales, en muchas ocasiones se elige el plástico como material más adecuado. Actualmente, la utilización de plásticos en un vehículo se sitúa alrededor de un 17% (180Kg), en base al peso del vehículo y considerando un vehículo de tamaño medio (se hablaría de un 14%, si no se incluyesen los neumáticos). Se prevé que este valor aumente en el tiempo, según los estudios realizados y en vista de los avances en el campo de la transformación de plásticos, que permitirán fabricar piezas cada vez más complejas, con plásticos de elevadas prestaciones y a un coste económico aceptable. Al hacer un estudio de los tipos de materiales utilizados en la fabricación de las piezas que componen un vehículo, aproximadamente más de un 70% del peso del vehículo correspondería a materiales metálicos, y un 14% serían materiales plásticos. (Autocasión, 2016)

En la Tabla 2 se muestran los materiales que componen una carrocería.

Tabla 2
Composición de distintas piezas de la carrocería

Piezas	Acero Dulce	Acero tratado	ALE	Aluminio	Plásticos
Elementos exteriores	Si	Si	No	Si	Si
Elementos estructurales rígidos	Actualmente en desuso	No	Si	No	No
Elementos estructurales del vehículo	Si	Si	Si	Si	Si (prototipos)
Parachoques	No	No	No	No	Si

Fuente: (Cardiel del Prado, 2003)

2.2. Soldadura

2.2.1. Introducción

Las soldaduras se utilizan en muchas aplicaciones como bastidores, piezas de maquinaria, estructuras para construcción, puentes, barcos, vehículos, equipo de construcción y muchos otros sistemas. La mayoría de los metales se sueldan, aunque algunos son más fáciles de soldar que otros. El acero al bajo carbono es uno de los más fáciles de soldar. Las aleaciones de acero al alto carbono son más fáciles de soldar; pero, si las piezas están endurecidas o roladas en frío para mejorar su resistencia antes de soldarlas, el calor suministrado por la soldadura tiende a recocerlo localmente, reduciendo así su resistencia. Por tales razones, por lo general se recomienda fabricar los ensambles soldados con acero y aleaciones de acero al bajo carbono. (Norton L, 2011)

2.2.2. Proceso de soldadura

La soldadura aplicada adecuadamente puede ser tan fuerte como el material adyacente a ella, pero si no está bien aplicada dejaría el ensamble muy debilitado. Una buena soldadura requiere que la masa fundida penetre en el metal base, haciendo al final un metal soldado con una combinación del material de relleno y el material base. Asimismo, hay una zona afectada por calor o HAZ, que se forma en los extremos de la soldadura, como se indica en la Figura 9. (Norton L, 2011)

La Figura 9 presenta la terminología clásica en soldadura. El pie se encuentra en el punto de contacto entre la soldadura y el material base en la cara de la soldadura.

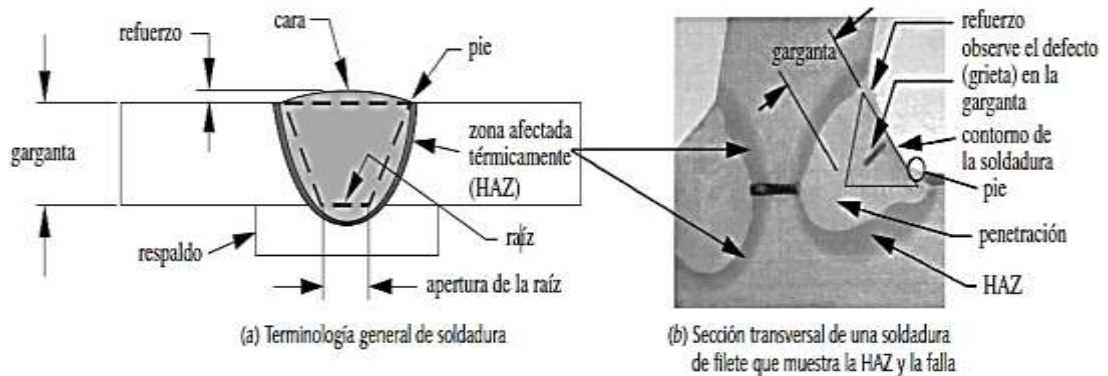


Figura 9 Sección transversal de soldadura y terminología

Fuente: (Norton L, 2011)

Los procesos de soldadura son los siguientes:

- Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).
- Soldadura de arco con núcleo de fundente (FCAW).
- Soldadura de arco de gas con electrodo de tungsteno (GTAW).
- Soldadura de arco sumergido (SAW).
- Soldaduras de resistencia.
- Soldadura de arco de gas con electrodo metálico (GMAW).

A continuación, se describe el proceso de soldadura utilizado en la empresa carrocera para el ensamble de sus productos estructurales.

Soldadura de arco de gas con electrodo metálico (GMAW)

La soldadura GMAW es un proceso de soldadura por arco que produce la coalescencia de los metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal de aportación continuamente alimentado y el trabajo como se muestra en la Figura 10. El proceso utiliza blindaje de un gas suministrado externamente para proteger el baño de fusión fundido. La aplicación de GMAW generalmente requiere polaridad CC + (inversa) para el electrodo. En términos no estándar, GMAW se conoce comúnmente como soldadura MIG (Gas inerte de metal) y se conoce menos comúnmente como soldadura MAG (gas activo de metal). En cualquier caso, el proceso GMAW se presta para soldar una amplia gama de acero al carbono sólido y electrodos tubulares con núcleo de metal. La gama de materiales de aleación para

GMAW incluye: acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, níquel, bronce de silicio y aleaciones tubulares de superficies metálicas. El proceso GMAW se presta a aplicaciones de automatización semiautomática, robótica y de automatización dura. (The Lincoln Electric Company, 2015)



Figura 10 Soldadura de arco de gas con electrodo metálico (GMAW)

Fuente: (thefabricator, 2015)

2.2.3. Juntas soldadas y tipos de soldaduras

Como se ilustra en la Figura 11, existen cinco tipos de juntas soldadas: a tope, en T, de esquina, traslapada y de extremo. La elección del tipo de junta la determinará, en algún grado, la geometría deseada del ensamble soldado, así como cierto ensamble soldado puede tener varios tipos dentro de él.

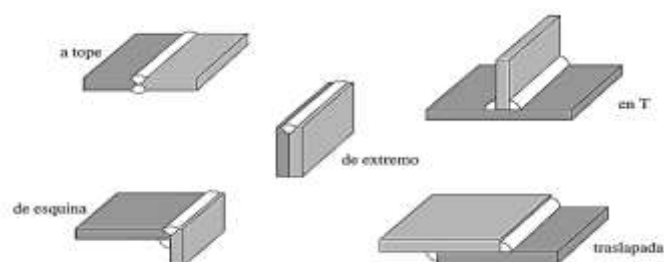


Figura 11 Tipos de juntas soldadas

Fuente: (Norton L, 2011)

La soldadura más popular es la soldadura de filete, llamada así por su forma de sección transversal. Otros tipos de soldaduras incluyen soldaduras de brida, soldaduras de tapones, soldaduras de ranura, soldaduras de costura, soldaduras de superficie y soldaduras de respaldo. Las juntas se combinan con soldaduras para hacer uniones soldadas. Hay varios tipos de

soldaduras que se pueden hacer en cada una de las articulaciones básicas. Incluyen soldadura a tope de ranura cuadrada, soldadura a tope con ranura en bisel, soldadura a tope en ranura en V, soldadura a tope con ranura en J, soldadura a tope con ranura en U, soldadura a tope con ranura acampanada, soldadura a tope de ranura de bisel abocinado y filete de soldadura. (Willcox Co., 2008)

En la Figura 12 se muestran varios ejemplos de tipos de soldaduras.

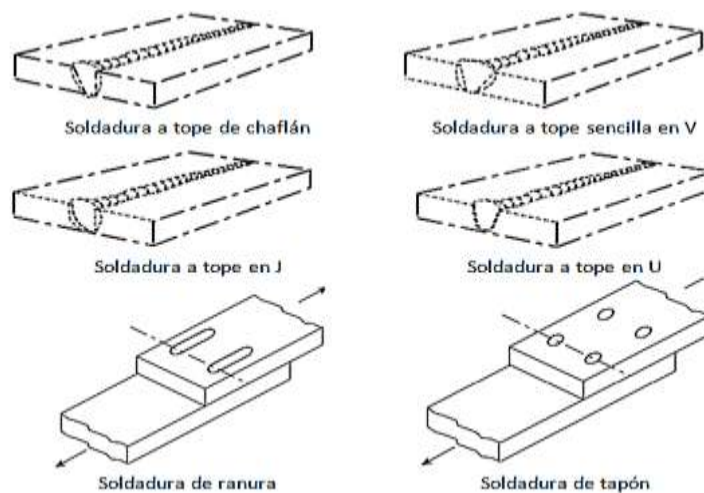


Figura 12 Ejemplos de tipos de soldadura
Fuente: (Instituto Técnico de la Estructura del Acero, 2000)

2.2.4. Flujo de la temperatura en soldaduras

La distribución del calor o de la temperatura que ocurre durante la soldadura afecta enormemente la microestructura de la soldadura, y, por lo tanto, a las propiedades de la soldadura. (Suranaree University of Technology, 2007)

La Figura 13 muestra un ejemplo del flujo de la temperatura en soldaduras.



Figura 13 Flujo de la temperatura en soldadura
Fuente: (Chair & Kou, 2013)

- El perfil temperatura-distancia muestra que la fuente de calor viaja a lo largo de la soldadura en la dirección A-A' a una velocidad constante, como se observa en la Figura 14.
- A medida que la fuente de calor se mueve, las velocidades de enfriamiento alrededor de la soldadura son muy altas.
- Una fuente de calor más intensa dará un perfil más pronunciado y el HAZ, que se limitará a una región más estrecha.

Esta HAZ puede ser más débil que el material base en aceros de alta resistencia (resistencia de tensión por arriba de 50 kpsi), o más fuerte y más dura que el material base en aceros de baja resistencia, lo cual favorece la formación de grietas. La resistencia del aluminio se reduce hasta el 50% en la HAZ. (Norton L, 2011)

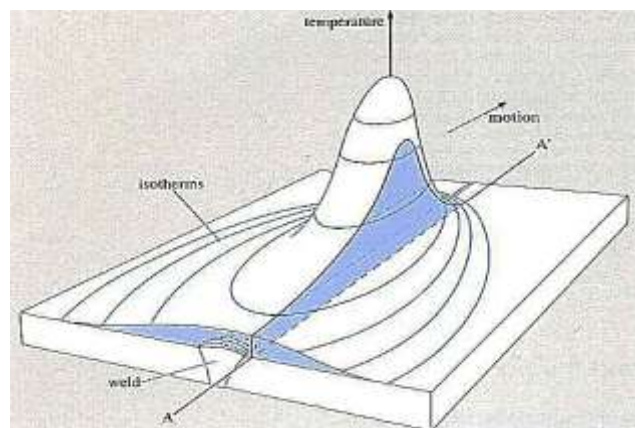


Figura 14 Distribución de la temperatura alrededor de una soldadura típica

Fuente: (Suranaree University of Technology, 2007)

2.2.5. Defectos y discontinuidades en soldaduras

Durante el proceso de soldadura, pueden producirse discontinuidades de varios tipos. Estos pueden clasificarse bajo las rúbricas de procedimiento y proceso, diseño y comportamiento metalúrgico. Las discontinuidades relacionadas con el proceso, procedimiento y diseño son, en su mayor parte, las que alteran las tensiones en una zona de soldadura o afectada por el calor. Las discontinuidades metalúrgicas también pueden alterar la distribución local de tensiones y, además, pueden afectar las propiedades mecánicas o químicas (resistencia a la corrosión) de la zona de soldadura y

afectada por el calor. Los defectos de soldadura y discontinuidades son en general indeseables desde el punto de vista de los usos industriales de los materiales soldados. Pero para propósitos de entrenamiento y calificación adecuados del personal de Ensayos No Destructivos (END) es necesario tener los especímenes de prueba con defectos conocidos. (International Atomic Energy Agency, 2001)

La capacidad de detectar, identificar y dimensionar defectos es fundamental para la calificación del personal de END. Por lo tanto, las características de falla y la confiabilidad de su detección, localización y tamaño gobernarán el éxito o fracaso del personal de END en la examinación.

Los fabricantes de especímenes de prueba del examen END deben tener procedimientos para determinar la localización, el tipo y el tamaño de la falla durante la fabricación de la muestra de ensayo además de cualquier inspección END.

2.2.6. Discontinuidades en soldaduras

Las discontinuidades en soldaduras se clasifican en superficiales e internas.

Discontinuidades Superficiales

- **Exceso de penetración**

Se produce por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas como se puede observar en la Figura 15. Causa que el material chorree al interior y puede retener escoria o no en su interior. Este defecto puede producir en soldadura de gaseoductos, desgaste por erosión. La imagen radiográfica da una densidad más clara en el centro del ancho de la imagen, ya sea extendida a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas, pudiendo presentar en su interior una mancha deforme negra. (Almeida, 2015)

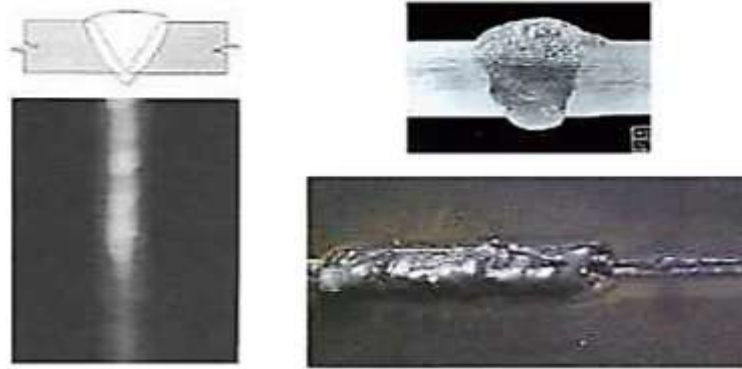


Figura 15 Soldadura con exceso de penetración

Fuente: (Almeida, 2015)

- **Falta de penetración**

Ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta, Figura 16. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como penetración incompleta. Esta puede resultar de un insuficiente aporte de calor de soldadura, diseño de la junta inapropiado, o control lateral inapropiado del arco de soldadura. Algunos procesos tienen una mayor capacidad de penetración que otros. Las soldaduras en cañerías son especialmente vulnerables a este tipo de discontinuidad, dado que el lado interior es usualmente inaccesible. (aENDur, 2005)

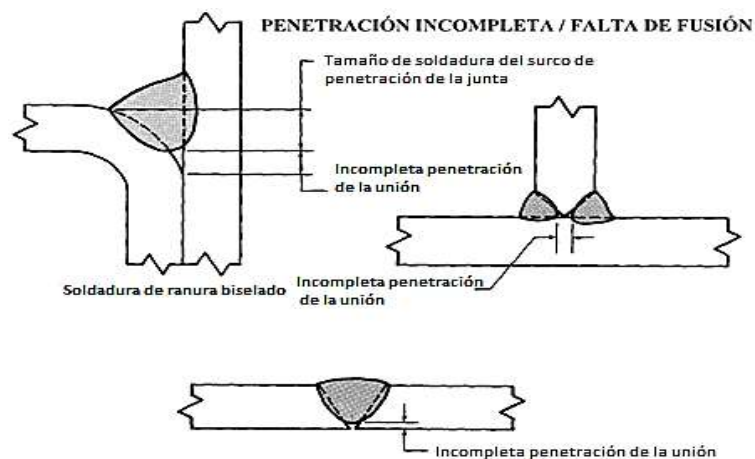


Figura 16 Soldadura con penetración incompleta

Fuente: (aENDur, 2005)

- **Concavidad externa o falta de relleno**

Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base. Cuando el soldador tiene acceso por ambos lados de la soldadura, o cuando se da en la cara externa, esta discontinuidad es fácilmente evitable mediante el relleno completo de la unión; por el contrario cuando la concavidad es interna (en la raíz) donde el soldador no tiene acceso, si se tiene que eliminar debe removerse, descarnarse, por completo la soldadura en esa zona. (Ortiz Gallardo, 2014)

En la Figura 17 se observa una soldadura con falta de relleno del material de aporte.

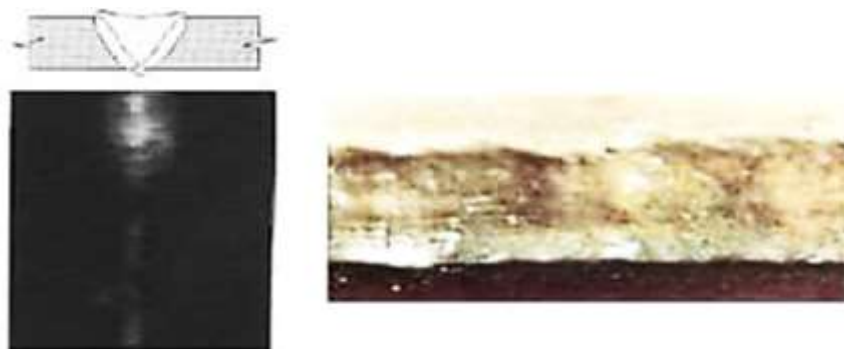


Figura 17 Soldadura con falta de relleno

Fuente: (Almeida, 2015)

- **Quemón**

Es definida como una porción del cordón de raíz donde una excesiva penetración ha causado que el metal de soldadura sea soplado hacia el interior, o puede que se descuelgue un excesivo metal fundido, este fenómeno se puede observar en la Figura 18. Suele presentarse como una depresión no alargada, en forma de cráter, en la raíz. (Soldainoxchile, 2010)



Figura 18 Soldadura con discontinuidad por quemón

Fuente: (Almeida, 2015)

- **Salpicaduras**

La salpicadura de soldadura es la creación no deseada de pequeñas partículas de metal que son expulsadas del área de soldadura durante el proceso de soldadura, Figura 19. Estas pequeñas partículas de metal pueden ser suspendidas en el aire en forma de chispas calientes o pueden solidificarse como pequeñas bolas o filamentos que permanecen flojamente unidos al área de soldadura. El laminado de materiales, las conductividades térmicas diferentes, la energía de soldadura excesiva, los efectos de superficie como la contaminación orgánica y las características de reflexión (láser), la geometría de las piezas y la aplicación del punto de calor pueden crear salpicaduras de soldadura severas. (microJoining Solutions, 2002)



Figura 19 Soldadura con salpicaduras

Fuente: (microJoining Solutions, 2002)

- **Falta de continuidad del cordón**

Se origina al interrumpir el soldador el cordón y no empalmar bien la reanudación del trabajo. Su severidad es muy variable ya que, en los casos más severos, pueden considerarse auténticas faltas de fusión transversales, en tanto que, en otras ocasiones, son simples surcos normales al eje del cordón. Su aspecto radiográfico es el de una línea oscura u oblicua, relativamente nítida, como se muestra en la Figura 20. (Almeida, 2015)



Figura 20 Soldadura con falta de continuidad del cordón

Fuente: (Almeida, 2015)

Discontinuidades Internas

- **Fisuras**

Las fisuras se inician cuando la carga, o tensión aplicada a un componente excede la resistencia a la tracción. La tensión puede surgir durante la soldadura, o inmediatamente después, o cuando la carga es aplicada. Mientras que la carga aplicada puede no exceder la capacidad del componente de soportar carga, la presencia de una entalla, o de un concentrador de tensiones, puede causar que las tensiones localizadas en la zona de la entalla excedan la resistencia a la rotura del material. En este caso, la fisura puede ocurrir en la zona de concentración de tensiones. (Ruíz LL., 2007)

En la Figura 21 se muestran características de una soldadura con fisuras.

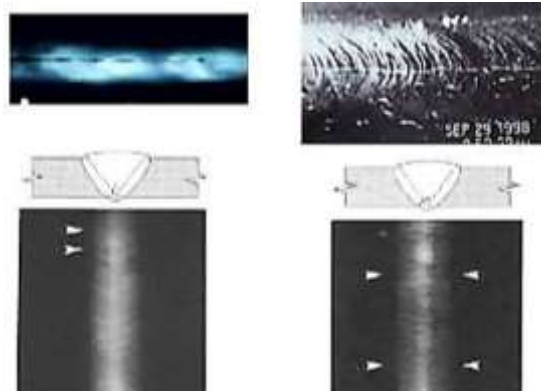


Figura 21 Soldadura con fisuras

Fuente: (Almeida, 2015)

- **Falta de fusión**

Esto ocurre debido a la falta de temperatura para fundir el metal base o el cordón de soldadura anterior ya en estado sólido.

En la Figura 22 se muestra una soldadura con falta de fusión.

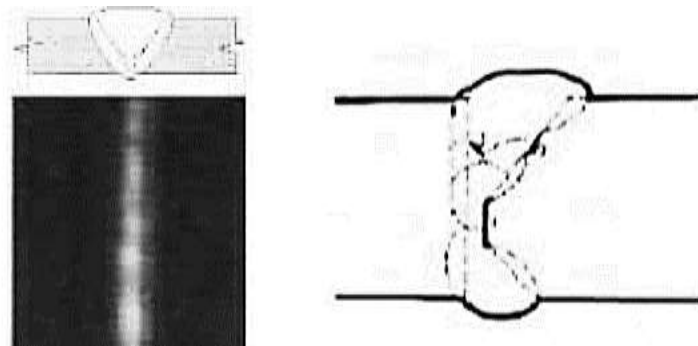


Figura 22 Soldadura con falta de fusión

Fuente: (Almeida, 2015)

2.3. Métodos de pruebas para juntas soldadas

2.3.1. Ensayo Destructivo

Ensayo de tracción en soldaduras

Las pruebas de tensión proporcionan información sobre las capacidades de carga, el diseño de la junta y la ductilidad de las uniones soldadas. Las pruebas de tensión proporcionan datos cuantitativos que se pueden comparar y analizar para su uso en el diseño y análisis de estructuras soldadas. Las superficies de fractura también pueden proporcionar

información sobre la presencia y los efectos de las discontinuidades, como la fusión incompleta, la penetración incompleta de la junta, la porosidad, las inclusiones y el agrietamiento. (Sociedad Americana de Soldadura, 2007)

Los datos obtenidos de las pruebas de tensión en soldaduras pueden incluir:

1. Máxima resistencia a la tracción.
2. Resistencia a la cedencia.
3. Porcentaje de elongación.
4. Diagrama de tensión-deformación.
5. Ubicación y punto de fractura.

El cálculo de la resistencia última a la tracción en soldaduras para pruebas rectangulares es el siguiente:

$$\frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Área original}} = \frac{P (\text{máxima})}{W \times T}$$

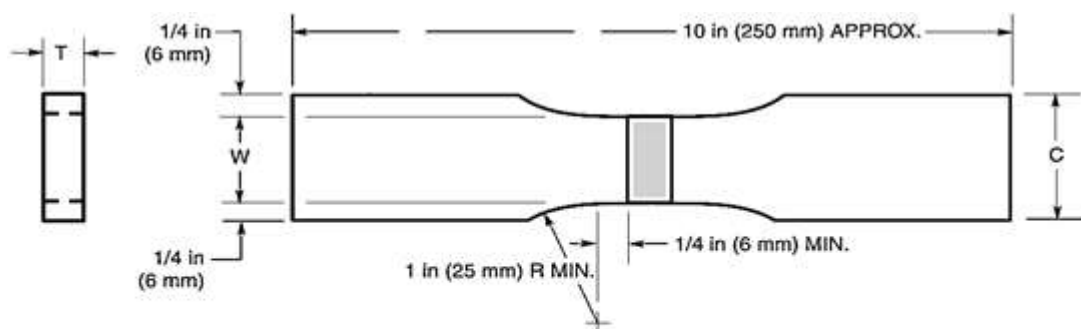
Donde:

P (máxima): Máxima carga

W: Ancho original

T: Espesor original

En la Figura 23 se muestra la geometría de la probeta de prueba a tensión rectangular de acuerdo a la Norma AWS B4.0: 2007 (Anexo 1).



T	W
<1 in (25 mm)	1.50 in ± 0.01 in (38 mm ± 0.25 mm)
≥1 in (25 mm)	1.00 in ± 0.01 in (25 mm ± 0.25 mm)

Figura 23 Muestra de prueba de tensión rectangular transversal (placa)

Fuente: (Sociedad Americana de Soldadura, 2007)

Notas establecidas por la Norma AWS B4.0: 2007 (Anexo 1) para la probeta de prueba de tensión rectangular transversal.

1. El metal base delgado que se prueba tiende a romperse cerca del hombro. En tales casos, la dimensión C no debe ser mayor que $1\frac{1}{3}$ veces el ancho de la sección reducida.
2. Cuando el espesor, T, de la soldadura de prueba sea tal que no proporcione una muestra dentro de las limitaciones de capacidad del equipo de prueba disponible, la muestra se dividirá a través de su espesor en tantas muestras como se requiera.
3. La longitud de las secciones reducidas debe ser igual al ancho de la porción más ancha de la soldadura, más $\frac{1}{4}$ in (6 mm) mínimo en cada lado.
4. Anchuras más angostas (W y C) se pueden usar cuando sea necesario. En tales casos, el ancho de la sección reducida debe ser tan grande como lo permita el ancho del material que se prueba. Si el ancho del material es inferior a W, los lados pueden ser paralelos en toda la longitud de la muestra.

En la Figura 24 se muestra la probeta con soldadura que va ser puesta a prueba de tracción.



Figura 24 Probeta de prueba a tracción de soldadura

Fuente: (María José, 2011)

2.3.2. Ensayos no destructivos (END)

Los procesos de fabricación tales como soldadura, fundición, forja, tratamiento superficial, etc., pueden causar fallas o defectos adicionales. Se ha establecido que la mayoría de los fallos de material ocurren porque estos defectos alcanzan proporciones peligrosas de tal manera que las partes restantes de los materiales no pueden soportar la tensión a la que están sometidos, por lo que se vuelven dúctiles o quebradizas. Por lo tanto, existe la necesidad de detectar estos defectos y evaluarlos en términos de su naturaleza, tamaño y ubicación. Esto se hace a través de inspección y pruebas. (International Atomic Energy Agency, 2001)

Un método de prueba es someter a la soldadura a ensayos destructivos (tracción), lo que proporcionaría información sobre el rendimiento de ese objeto de ensayo. La desventaja de las pruebas destructivas es que el objeto de prueba se destruye en el proceso. Por lo que se han desarrollado métodos de prueba para proporcionar la información requerida del objeto de prueba sin hacerla impropia para el servicio. Estos métodos se denominan ensayos no destructivos porque permiten evaluar el material o componente sin destruirlo. Las pruebas destructivas de piezas pueden ser costosas y asumen que las piezas no probadas son de la misma calidad que las ensayadas. Los ensayos no destructivos proporcionan resultados indirectos pero válidos y, por definición, dejan el objeto de prueba en condiciones para su uso previsto. (International Atomic Energy Agency, 2001)

Hay una variedad de métodos de END que se pueden utilizar para evaluar los materiales, como por ejemplo se pueden analizar los componentes con soldaduras terminadas. Todos los métodos END comparten varios elementos comunes.

Estos elementos son:

- Alguna fuente de energía de sondeo o algún tipo de medio de sondeo.
- Discontinuidad que debe causar un cambio o alteración del medio de sondeo.

- Algunos medios para detectar algún cambio.
- Algunos medios para indicar el cambio.
- Algunos medios para observar y/o registrar esta indicación para que pueda hacerse una interpretación.

Se han desarrollado diversos métodos de END, cada uno de los cuales tiene ventajas y limitaciones que lo hacen más o menos apropiado para una aplicación dada. Con la variedad de métodos END disponibles, es importante seleccionar el método que proporcionará los resultados necesarios. Se puede aplicar una combinación de diferentes pruebas de END para asegurar que el material o componente es apto para su uso.

Inspección Visual

La inspección visual, Figura 25, se basa en la detección de imperfecciones de la superficie mediante el ojo. Normalmente se aplica sin el uso de cualquier equipo adicional, puede ser mejorado mediante el uso de ayudas, como una lupa para mejorar su eficacia y alcance.



Figura 25 Ensayo no destructivo por inspección visual

Fuente:(Universidad Tecnológica de Pereira, 2015)

La principal limitación de la inspección visual es que sólo es capaz de evaluar discontinuidades (Sección 2.2.6), que pueden verse en la superficie del material. A veces puede haber alguna indicación visual de una imperfección subsuperficial que puede necesitar un método END adicional para proporcionar la verificación de la discontinuidad subsuperficial.

Si se aplica después de que se ha completado la soldadura, es posible que las fallas subsuperficiales no sean detectadas. La inspección visual es eficaz si se aplica en el momento correcto, así detectará la mayoría de los defectos o discontinuidades que pueden ser encontrados posteriormente por algún otro método END costoso y que consume mucho tiempo. La economía de la inspección visual se puede ver en la soldadura si tenemos en cuenta cuánto más fácil y barato un problema de soldadura se puede corregir cuando se encuentra en el momento adecuado.

Por ejemplo, una falla, tal como una fusión incompleta en la raíz de soldadura, se puede reparar fácil y rápidamente después de producirse. También dará al técnico información instantánea sobre el estado de los equipos a presión con respecto a cosas tales como corrosión, abombamiento, distorsión, piezas correctas, fallas, etc.

Con el fin de preservar los resultados del ensayo, se pueden emplear diversos métodos. Estos incluyen: dibujar un boceto, describir la apariencia visual usando palabras escritas, o tomar una fotografía o video de las condiciones de la superficie anotadas. Es importante registrar con precisión la ubicación, el alcance y el tipo de cualquier defecto para que el propietario, el diseñador, el director y el personal de producción sepan qué es lo que se debe reparar y dónde se va a realizar la reparación.

Inspección por líquido penetrante

La inspección por líquido penetrante revela defectos superficiales por el "sangrado" de un medio penetrante contra un fondo contrastante. Esto se realiza aplicando un penetrante a la superficie previamente depurada y al defecto del elemento que se está inspeccionando. El penetrante se aplica a la superficie y se deja permanecer en la superficie durante un tiempo prescrito (tiempo de permanencia); el líquido penetrante será aspirado en cualquier abertura superficial por acción capilar. Después de la eliminación del exceso de penetrante, una aplicación de un revelador invierte la acción capilar y extrae el penetrante de la falla. Las indicaciones resultantes

revelan la presencia de la falla para que pueda ser inspeccionada visualmente y evaluada. (International Atomic Energy Agency, 2001)

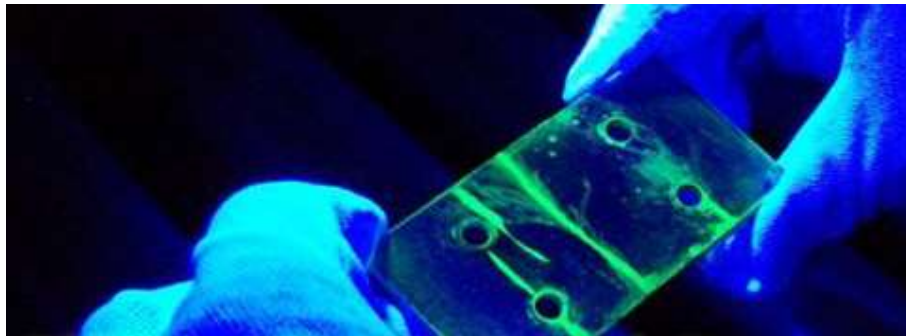


Figura 26 Inspección por líquido penetrante fluorescente
Fuente: (LESCAM, 2012)

Los resultados de las pruebas de penetración se muestran de dos maneras, visibles y fluorescentes. El tipo de penetrante visible produce una línea roja en negrita o una indicación de deformación contra un fondo revelador blanco cuando se ve bajo buenas condiciones de luz blanca. El penetrante fluorescente produce una indicación verde fluorescente cuando se observa bajo una luz ultravioleta como se muestra en la Figura 26.

La segunda forma en que se clasifican los penetrantes es el método por el cual el exceso de agente penetrante se elimina de la superficie de ensayo. Los penetrantes pueden ser lavables con agua, disolventes o post-emulsionables. Los penetrantes lavables con agua contienen un emulsionante que permite que el penetrante sea enjuagado usando pulverización de agua a baja presión. A veces se usa una toalla humedecida en agua. Los agentes penetrantes de eliminación de disolventes requieren un disolvente para eliminar el exceso de penetrante de la superficie de ensayo. Los penetrantes post-emulsionables se eliminan añadiendo un emulsionante después del tiempo de permanencia del penetrante. Al combinar las características de estas dos clasificaciones, se pueden utilizar seis tipos diferentes de penetrantes.

- **Tipos de penetrantes**

1. Visible/agua - lavable.
2. Visible/solvente-removible.
3. Visible/post - emulsionables.
4. Fluorescente/lavable con agua.
5. Fluorescente/disolvente - extraíble.
6. Fluorescente/post - emulsionable.

Con cualquiera de estos tipos, la aplicación y el uso se consideran iguales, excepto para el penetrante post-emulsionable que requiere una etapa de aplicación de emulsionante. Con cualquiera de los métodos, hay varios pasos a seguir. Es importante que cada uno de los pasos se realice cuidadosamente en su secuencia correcta; de lo contrario, los resultados de la prueba pueden no ser fiables.

- **Limitaciones**

1. Acceso requerido para la preparación y limpieza de la superficie.
2. La condición de la superficie debe ser satisfactoria.
3. Indicaciones no relevantes de superficies irregulares.
4. Sólo detectará defectos superficiales.
5. La falla debe estar limpia y no contaminada.

Prueba de partículas magnéticas

La prueba de partículas magnéticas, Figura 27, es uno de los métodos NDT más utilizados, ya que es rápido y relativamente fácil de aplicar y la preparación de la superficie parcial no es tan crítica como para otros métodos. Este método usa campos magnéticos y pequeñas partículas magnéticas (limaduras de hierro) para detectar fallas en los componentes. El único requisito desde el punto de vista de inspección es que el componente inspeccionado debe estar hecho de un material ferromagnético. El método se usa para inspeccionar una variedad de formas de productos, incluidos fundiciones, forjados y soldaduras. Muchas

industrias diferentes utilizan la inspección de partículas magnéticas, como las industrias de acero estructural, automotriz, petroquímico, de generación de energía y aeroespacial. (The HASHEMITE UNIVERSITY, 2012)



Figura 27 Prueba de partículas magnéticas

Fuente: (Dellsperger, 2014)

Para entender el principio del ensayo de partículas magnéticas, es necesario tener algunos conocimientos básicos de magnetismo. Por lo tanto, considere algunas de las características importantes del magnetismo en y alrededor del típico imán de barra.

Primero, hay líneas magnéticas de fuerza, o líneas de flujo magnético, que viajan desde un extremo (o polo) del imán al extremo opuesto (polo). Estos polos se designan generalmente como el norte y el sur. Las líneas de flujo magnético forman bucles continuos que viajan de un polo a otro. Estas líneas generalmente permanecen paralelas entre sí y no se cruzan entre sí. Además, la fuerza de estas líneas de flujo es mayor cuando están completamente contenidas dentro de un material ferromagnético. A pesar de que se desplazan a través de los huecos de aire, su intensidad se reduce a medida que aumenta el espacio de aire. (International Atomic Energy Agency, 2001)

Si ahora consideramos un imán de herradura, las líneas magnéticas de fuerza viajan en lazos continuos de un polo a otro. Sin embargo, si se coloca una pieza de acero o de retenedor a través de los extremos (polos) del imán, se proporciona un recorrido magnético continuo para las líneas de fuerza. Aunque hay alguna fuga de flujo presente en los pequeños espacios de aire entre los extremos del imán y la pieza de acero, el campo magnético permanece relativamente fuerte debido a la continuidad de la trayectoria creada por el retenedor.

Si existe una discontinuidad o defecto en la barra de acero (retenedor) a través de los extremos del imán en la proximidad de esa falla, se crea un campo de fuga de flujo en la superficie de la falla porque el campo magnético sale del material magnético y viaja a través del aire. Si la barra de acero es espolvoreada con partículas de hierro, tales partículas serían atraídas y mantenidas en su lugar por la fuga de flujo en la falla. Esto ocurrirá porque las partículas de hierro proporcionan una trayectoria magnética continua para las líneas de fuerza justo cuando la pieza de acero a través de los extremos del imán completa el circuito magnético para el imán.

Por lo tanto, para realizar una prueba de partículas magnéticas, debe haber un medio para generar un campo magnético en la muestra de ensayo. Una vez que la pieza ha sido magnetizada, se aplican partículas de hierro a la superficie. Cuando las discontinuidades están presentes, estas partículas se atraen y se mantienen en su lugar para proporcionar una indicación visual de la falla.

En una prueba de partículas magnéticas de equipos a presión se realiza generalmente utilizando un cierto tipo de electroimán. Un electroimán se basa en el principio de que existe un campo magnético asociado con cualquier conductor eléctrico.

Tanto la corriente alterna (AC) como la corriente continua (DC) pueden utilizarse para inducir un campo magnético. El campo magnético creado por AC debido al efecto de piel es más fuerte en la superficie del objeto de

prueba. AC también proporcionará una mayor movilidad de las partículas en la superficie de la pieza permitiéndoles moverse libremente para localizar áreas de fuga de flujo, aunque la superficie de la pieza pueda ser irregular.

La corriente continua (DC) induce campos magnéticos que tienen mayor poder de penetración y pueden usarse para detectar discontinuidades cercanas a la superficie.

- **Limitaciones**

- Los materiales o partes que se inspeccionen deben ser ferromagnéticos.
- Pueden utilizarse corrientes elevadas.
- Sólo detectará defectos superficiales y ligeramente subsuperficiales.
- El material o parte puede necesitar ser desmagnetizado.
- El material o parte debe estar limpio y relativamente suave.
- El equipo puede ser voluminoso y pesado.
- Fuente de alimentación generalmente requerida.
- La permeabilidad material o parcial puede afectar los resultados.

- **Ventajas**

- Económico.
- Ayuda a la inspección visual.
- Pueden ser equipos fijos o portátiles.
- Resultados repetibles instantáneos.
- Método de inspección efectivo.

2.4. Normas utilizadas en ensayos a juntas soldadas

Las carrocerías de buses deben soldarse de acuerdo con las normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

El proceso y procedimiento de soldadura será calificado de acuerdo con las normas vigentes AWS D1.3 para acero, AWS D1.2 para aluminio y AWS D1.6 para acero inoxidable. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

2.4.1. Sociedad Americana de Soldadura (AWS)

Los estándares sirven para:

Que los productos soldados sean seguros y confiables.

Las personas involucradas no sufran problemas de salud.

AWS D1.3: 2008: Hoja de código de soldadura estructural Acero

Cubre la soldadura en aceros al carbono y de baja aleación cuando el espesor nominal del material base es igual o menor de 3/16" (4.8 mm). Aplicados a estructuras tales como: pisos metálicos, paneles, bandejas de almacenamiento, escaparates, carrocerías, etc. (Rengifo, 2014)

La normativa incluye:

- Cálculo de cargas admisibles.
- Detalles de las uniones soldadas.
- WPS precalificados.
- Calificación de procedimientos de soldadura y soldadores.
- Soldadura de pernos.

2.4.2. Resistencia estática en soldaduras

Los metales empleados en soldadura y los materiales de relleno son dúctiles. Durante el último medio siglo, en la industria de la soldadura pruebas exhaustivas realizadas en ensambles soldados han generado buenos datos sobre resistencias permisibles en soldaduras y ensambles soldados. El número de pieza de un electrodo tiene una E, seguida de cuatro o cinco dígitos, de los cuales los dos o tres primeros definen su resistencia última mínima a la tensión en kpsi, en tanto que el resto indican la posición en la que se pueden utilizar y su recubrimiento. Su resistencia

generalmente se refiere como Exx. Por ejemplo, un electrodo E70 tiene una Sut mínima igual a 70 kpsi; y un E110, una Sut mínima igual a 110 kpsi. (Norton L, 2011)

Se recomienda que la resistencia del electrodo seleccionado sea aproximadamente parecida a la del metal base que se va a soldar, lo cual es un requerimiento para soldaduras con penetración de junta completa (CJP) cargadas a la tensión. En algunos casos, se utilizan metales disparejos a la baja (metal de soldadura más débil que el metal base), sobre todo si se sueldan aceros de alta resistencia o se necesita mejor resistencia al agrietamiento. Por lo general, no se recomiendan metales disparejos al alta (metal de soldadura más fuerte que el metal base).

2.4.3. Esfuerzos residuales en soldaduras

Las soldaduras siempre tienen grandes esfuerzos de tensión residuales. Lo anterior se debe a que el metal de la soldadura se expande aproximadamente seis veces su elongación por fluencia cuando se funde. Cuando se enfría, se encoge en la misma proporción. (Norton L, 2011)

Los metales que no son sólidos tienen 600% de elongación por fluencia, lo cual significa que el material de soldadura cede a la tensión conforme se encoge, ya que el metal base sólido adyacente a la soldadura no puede moverse junto con él. Existe un esfuerzo equilibrante de compresión formado en el metal base adyacente y la distribución del esfuerzo residual luce como la Figura 28 cuando se enfría. Con un metal de soldadura disparejo a la baja (es decir, más débil) se reducirá el esfuerzo residual debido a su menor resistencia a la fluencia. No se recomienda usar un metal de soldadura excesivamente disparejo al alta en ningún caso, pues esto favorecería un diseño no conservador. (Norton L, 2011)

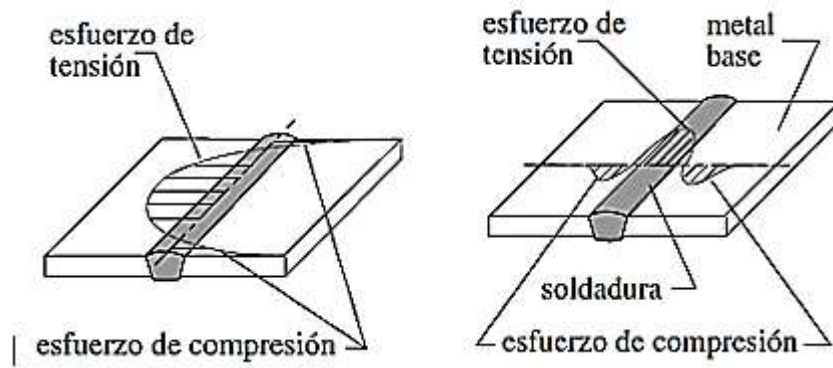


Figura 28 Esfuerzos residuales en soldaduras

Fuente: (Norton L, 2011)

CAPÍTULO III

ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES, PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA Y RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se presenta el proceso a seguir para la elaboración de las muestras a utilizar en los ensayos destructivos y no destructivos de soldaduras aplicadas al armazón frontal de la carrocería.

3.1. Técnica de soldadura

Para la elaboración de las juntas soldadas, primeramente, se deben configurar los parámetros de regulación y control de la máquina de suelda para que la calidad del cordón sea óptima y no se presenten discontinuidades o irregularidades en las soldaduras. Los parámetros típicos oscilan entre los siguientes valores: voltaje 16 a 22 V, intensidad de 50 a 150 A. (Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A, 2002)

3.1.1. Procedimiento de soldadura WPS

La especificación del procedimiento de soldadura o WPS (Anexo 12), es un documento diseñado para la empresa Carrocerías Peres, para dar instrucciones precisas al personal que ejecuta y al que inspecciona las uniones soldadas, que defina las directrices necesarias para realizar una soldadura de acuerdo a los requerimientos o necesidades del cliente para cumplir con la calidad de la soldadura propuesta. El propósito del diseño de esta WPS es definir y documentar todos los detalles que se deben tener en cuenta al soldar juntas o partes específicas en las carrocerías que se fabrican en la empresa carrocera.

3.1.2. Registro de la información en el PQR

La información referente a los registros de la prueba y los resultados obtenidos al soldar y ensayar la probeta, son una parte importante de la calificación de un WPS y deben ser consignados en el PQR (Anexo 13). En este documento se debe ingresar toda la información obtenida de la prueba

y debe ser tal cual como fue tomada, no se deben registrar datos que no fueron observados. En el PQR se verifican las propiedades mecánicas de una soldadura mediante la documentación de los resultados obtenidos de los ensayos destructivos, suministra la prueba de soldabilidad y detalla los valores reales de las variables empleadas para realizar la soldadura.

3.1.3. Registro de Calificación del Soldador (WPQ).

El WPQ trata sobre la calificación de desempeño de soldadura. El registro WPQ (Anexo 14), indica la capacidad del soldador o del operador de soldadura para depositar el metal de soldadura. Cada fabricante o contratista deberá mantener un registro del resultado obtenido en el procedimiento de soldadura y las calificaciones de desempeño del soldador / operador. Como mínimo, cualquier registro de calificación de rendimiento de soldadura debe indicar las variables esenciales, el rango de variables calificadas como material, diámetro de tubería, espesor, posición, etc. El registro también debe indicar el resultado de la prueba mecánica o no destructiva.

3.2. Probetas para ensayos destructivos

Para realizar los ensayos destructivos se requieren de 5 probetas de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM E8 (Anexo 15); 2 de las probetas se almacenan en el Laboratorio de Ensayos y los 3 restantes se entregan al cliente por políticas del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero; estos especímenes permitirán obtener resultados acertados del comportamiento de las juntas de soldaduras aplicadas al armazón estructural, este comportamiento se muestra en diagramas de esfuerzo-deformación. Dichos especímenes se los realizó de acuerdo a los requisitos determinados en la norma AWS B4.0:2007 que establece las dimensiones específicas de las probetas rectangulares para ensayos destructivos, Figura 23. En la Figura 29 se muestra la parte seleccionada del armazón frontal de la carrocería para su análisis.



Figura 29 Parte frontal seleccionada para obtención de los especímenes

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

El ensayo destructivo utilizado para analizar el proceso de soldadura y la resistencia que presenta el armazón frontal de la carrocería del bus es el de tracción, método de ensayo utilizado para la validación de la estructura en análisis.

3.2.1. Metal base

El metal base es el acero ASTM A500, material utilizado en la construcción de la carrocería, espesor de 2 mm. Las propiedades mecánicas del metal base se describen en la Tabla 3.

Tabla 3

Propiedades mecánicas Acero ASTM A500

Módulo de elasticidad	E= 200 GPa
Módulo de elasticidad por cortante	G=76,923 GPa
Resistencia a la fluencia	Fy=320 MPa
Resistencia última	Fu=405 MPa
Porcentaje de elongación	21%-25%

Fuente: (AHMSA, 2014)

3.2.2. Material de aporte

El material de aporte utilizado para la preparación de las probetas es el alambre de Acero al Carbono y baja aleación, utiliza como gas protector el CO₂, las propiedades mecánicas del material de aporte se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4
Propiedades mecánicas, material de aporte normativa A.W.S.
Resistencia a la tensión 380 MPa

Esfuerzo de cedencia	de 280 MPa
Elongación	18% - 20%

Fuente: (ELECTRODOSINFRA, 2011)

Una vez definidos los materiales base y de aporte utilizado en la empresa carrocera para la construcción del armazón estructural del bus, se procede con la elaboración de las probetas, las mismas que deben cumplir con las dimensiones establecidas en la norma AWS B4.0: 2007 (Anexo 1) y con los esfuerzos permisibles establecidos en la norma AWS D1.1: 2000 (El esfuerzo permisible para una junta de soldadura no puede ser mayor que la resistencia a la tensión ni menor a la resistencia a la cedencia del material base, Anexo 11, Tabla 2.3) para que los resultados sean validados.

3.2.3. Elaboración de los especímenes

A continuación, se describen el procedimiento paso a paso de la elaboración de las probetas para los ensayos destructivos:

1. Obtención de una muestra estructural perteneciente al armazón frontal de la carrocería del bus objeto de análisis.
2. Geometría de la probeta de acuerdo a la Norma AWS B4.0: 2007 (Anexo 1). Su geometría y dimensiones se muestran en el Anexo 6.
3. Maquinado de los especímenes por medio del proceso de corte.
4. Marcar la longitud inicial de la probeta para después del ensayo medir la longitud final del espécimen.
5. Enumeración de las probetas para identificar y comparar los resultados que se obtengan luego de los ensayos.

En la Figura 30 se muestra una de las probetas listas para el ensayo destructivo a tracción.

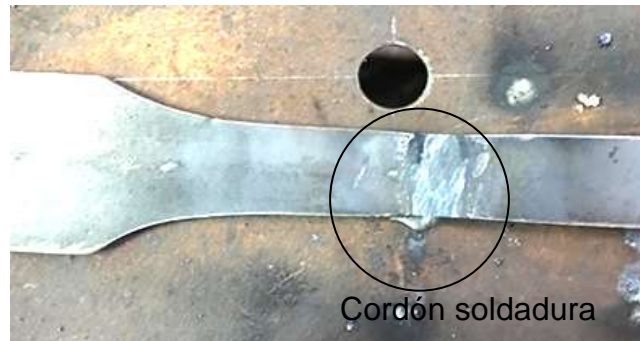


Figura 30 Especímenes para los ensayos destructivos

En la Figura 31 se muestra la máquina universal utilizada para el ensayo destructivo a tracción de la soldadura.



Figura 31 Máquina universal de ensayos MTE 50

Fuente: Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero

3.3. Procedimiento de prueba del ensayo destructivo (Tracción)

El procedimiento a realizar para el ensayo destructivo se muestra el siguiente diagrama de flujo, Figura 32:

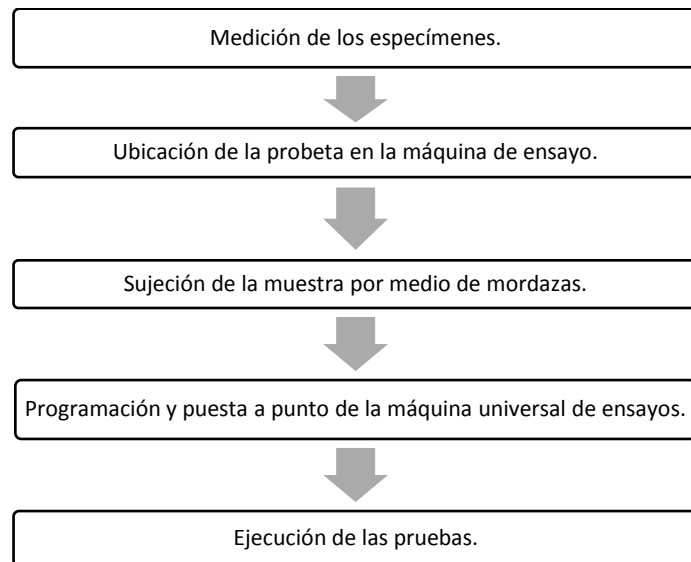


Figura 32 Diagrama de flujo del proceso de ensayo destructivo a tracción

A continuación, se describen los pasos a seguir para el ensayo destructivo:

- Verificar las dimensiones de los especímenes acorde a las especificaciones de la Norma AWS B4.0:2007 establecida para espesores menores a 25mm y ancho de 38mm aproximadamente, además se debe señalar la longitud inicial de la probeta para identificar la elongación del espécimen después del ensayo destructivo a tensión.
- Ubicación de la probeta de prueba en la máquina universal de ensayos a tracción; se realiza la sujeción de la probeta en sus extremos a través de las mordazas y se coloca el extensómetro.
- Configurar el equipo de ensayo con los parámetros tanto de programa de adquisición como de control de la máquina.
- Puesta en marcha del programa de adquisición y aplicación de carga.

- La carga se aplica con la velocidad prefijada hasta la rotura de la probeta.
- Una vez finalizado el ensayo destructivo se toman notas de las características mecánicas obtenidas para su respectivo análisis.

Los parámetros utilizados para la configuración de la máquina utilizada para la realización de las pruebas se muestran en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

Tabla 5
Parámetros de configuración para la prueba destructiva

Parámetros		
Tipo	Valor	Unidades
Precarga	100	N
Caída	70	%
Retorno Automático	1	-
Límite Fuerza	45000	N
Límite Desplazamiento	100	mm
Stop Ext.	80	mm

Fuente: (Centro Fomento Productivo Carrocero, 2017)

Tabla 6
Velocidades de control para ensayos destructivos

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

Fuente: (Centro Fomento Productivo Carrocero, 2017)

3.4. Probetas para ensayos no destructivos

Para realizar los ensayos no destructivos se dispone de tres probetas, ya que es el número de juntas que se encuentran en la sección seleccionada, los mismos que permitirán obtener resultados de la aceptación o rechazo de las soldaduras aplicadas al armazón estructural.

Para la ejecución de las pruebas pertinentes se utiliza la norma de calificación ASME Sec. VIII Div. I (Mandatory Appendix 8) que establece que todas las superficies que se examinarán deben estar libres de:

- Indicaciones lineales relevantes;
- Indicaciones redondeadas relevantes mayores a 3/16 in. (4.8 mm);
- Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en una línea separada por 1/16 in. (1.6 mm) o menos.

3.4.1. Preparación de las juntas de soldaduras

Las muestras se elaboraron con el tubo estructural cuadrado 50x2 mm utilizado en la construcción del armazón frontal del bus, material acero ASTM A500.

Una vez que se cuenta con los elementos estructurales que formarán parte de la muestra se procede con la soldadura de las juntas o puntos de unión estructural, tal como se muestra en la Figura 33.



Figura 33 Proceso de suelda de los puntos de unión estructural

Fuente: (Carrocerías Péres, 2017)

El tipo de junta soldada a utilizar es a tope en T utilizado en el ensamble del armazón frontal de la carrocería. El tipo de soldadura utilizado es la de filete; las juntas se combinan con soldaduras para hacer uniones soldadas.

En la Figura 34 se muestra el espécimen culminado para el ensayo no destructivo.



Figura 34 Espécimen culminado para el ensayo no destructivo

Fuente: (Carrocerías Péres, 2017)

Una vez obtenidas las muestras se procede con los ensayos destructivos y no destructivos para la obtención de resultados.

3.4.2. Procedimiento del ensayo no destructivo (Líquidos penetrantes)

Para describir el procedimiento de prueba se elaboró un diagrama de flujo de los pasos a realizar para los ensayos no destructivos por tintas penetrantes. En la Figura 35 se muestra el proceso.

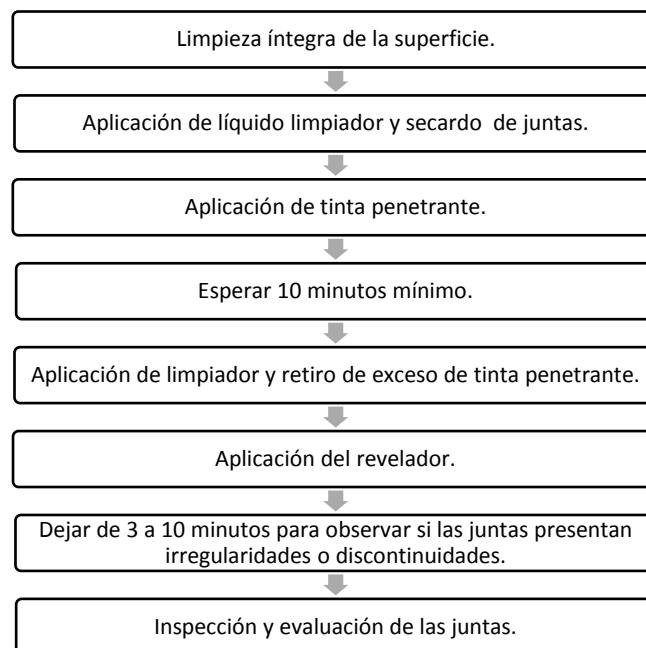


Figura 35 Diagrama de flujo proceso de prueba del ensayo no destructivo

Antes de proceder con la prueba de tintas penetrantes se realiza una inspección visual de las juntas soldadas para determinar si existen defectos de soldaduras o discontinuidades.

En el caso de determinarse discontinuidades por tintas penetrantes se debe evaluar para verificar si se encuentra dentro de los parámetros de aceptación o rechazo según su función.

A. Técnica de aplicación del penetrante

La técnica utilizada para la aplicación del líquido penetrante es por rociado, aplicado de forma homogénea vertical u horizontalmente según sea el caso, a una distancia de 10 cm para una óptima pulverización. El líquido penetrante utilizado es el SKL-WP2 que cuenta con las siguientes características:

- Se elimina fácilmente con agua.
- Color rojo vivo de alto contraste.
- Revelación superior de discontinuidades.
- Buena humectación sobre la superficie.
- Eficaz en luz visible.
- Muy baja toxicidad.
- Cumplimiento de las especificaciones para END.

B. Técnica de remoción

En esta técnica se utilizó el método de remoción por removible con agua y solvente. La limpieza se la realiza mediante solvente removedor SKC-S el cual es un limpiador/removedor a base de solvente para realizar una limpieza previa antes de las pruebas no destructivas y eliminar el exceso de penetrante superficial de un área de inspección antes de aplicar el revelador durante la inspección por líquido penetrante.

C. Técnica de aplicación del revelador

El revelador utilizado es el SKD-S2 de tipo E (No acuoso) que consiste en una suspensión de partículas blancas en un solvente de secado rápido lista para usarse. El SKD-S2 produce una capa blanca opaca que proporciona un excelente fondo de contraste para las indicaciones de los

penetrantes SPOTCHECK. El SKD-S2 está compuesto de una mezcla de partículas inertes inorgánicas y agentes activos en la superficie que son suspendidos en una mezcla de solventes que incluyen alcohol isopropílico y acetona. El pulverizado del revelador se lo realiza a una distancia de 15 cm de la pieza aproximadamente, con la finalidad de obtener una capa uniforme.

3.4.3. Procedimiento del ensayo no destructivo (Partículas Magnéticas)

A continuación se presenta el procedimiento del ensayo no destructivo por Partículas Magnéticas.

1. Limpieza Íntegra de la pieza, con el fin de eliminar todo rastro de escoria de la misma, para no tener indicaciones falsas en la inspección, se debe pulir el área donde se ubica el cordón de soldadura a analizar. La limpieza se la realiza mediante solvente removedor SKC-S el cual es un limpiador/removedor a base de solvente. La superficie debe estar completamente limpia, seca y libre de contaminación como grasa o cualquier material que pueda interferir el libre movimiento de las partículas.
2. Ubicación de la probeta en la Bobina. En la Figura 36 se muestra la bobina utilizada en el ensayo.



Figura 36 Bobina de ensayo de Partículas Magnéticas

3. Aplicación del spray MAGNAGLO 14AM, el cual es un líquido fluorescente que se aplica a la soldadura, esto se lo realiza a una distancia de 15 cm de la pieza aproximadamente, con la finalidad de obtener una capa homogénea. La aplicación se lo realiza vertical u horizontalmente, dependiendo de la dirección del cordón de soldadura. En la Figura 37 se muestra la aplicación del líquido fluorescente y en la Figura 38 el líquido fluorescente de marca MAGNAGLO 14AM.



Figura 37 Aplicación de líquido fluorescente en la soldadura



Figura 38 Spray MAGNAGLO 14AM

4. Activación de la bobina de ensayos con la probeta ubicada en centro de la misma.
5. Ubicación del magnetizador o Indicador de pie de campo para la verificación de la soldadura. En la Figura 39 se muestra el magnetizador. Este indicador ayuda a verificar y medir la intensidad y dirección del campo magnético durante el proceso de inspección de partículas magnéticas.



Figura 39 Indicador de pie de campo

6. Se realiza el alumbrado con la lámpara de luz ultravioleta para verificar si se presenta un buen magnetismo y observar si al magnetizar la pieza objeto de ensayo se evidencia la presencia de líneas de fuga de flujo magnético. Solo se puede detectar discontinuidades cuya orientación sea de forma perpendicular al flujo magnético que se está incidiendo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos destructivos y no destructivos de los especímenes de pruebas. Los resultados de los ensayos destructivos se obtienen de los diagramas obtenidos a tracción de cada probeta de prueba, en total son 5 las muestras que se estudia, se realiza el análisis de las propiedades mecánicas, con la finalidad de determinar la resistencia del material utilizado para el ensamble de la carrocería.

El ensayo no destructivo se analiza por número de junta, se lo realiza determinando la idoneidad que tiene cada junta de soldadura.

4.1. Resultados de los ensayos destructivos (Tracción)

El propósito de esta prueba de tensión es determinar la resistencia de punto de soldadura bajo carga de tracción. De acuerdo a la norma AWS B4.0:2007 (Anexo 1. Sección 4.5.1.) la cual expone que al realizar este ensayo se obtendrán datos sobre la resistencia a la cedencia, resistencia máxima y resistencia a la rotura de la soldadura.

De los resultados obtenidos en los ensayos destructivos y no destructivos de soldaduras, se determinará si el proceso de soldadura utilizado en la construcción de la estructura carrocería es idónea o rechazada de acuerdo a las normativas vigentes que rigen en la actualidad sobre soldaduras en estructuras metálicas.

Resultados obtenidos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas destructivas realizadas a las 5 probetas.

En la Figura 40 se muestra el diagrama Esfuerzo vs. Deformación, resultados de los ensayos destructivos de los 5 especímenes.

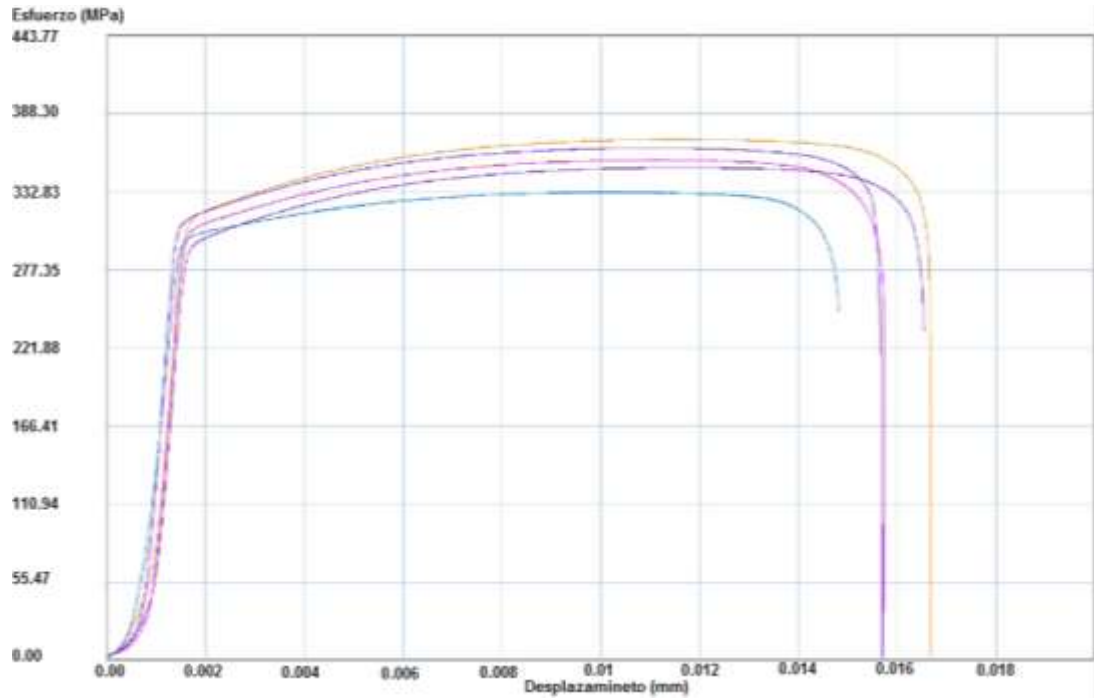


Figura 40 Diagrama Esfuerzo vs. Desplazamiento-Ensayos destructivos

Los resultados obtenidos de cada espécimen sometido a ensayo destructivo se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7
Resultados ensayos destructivos (Tracción)
Resultados

Probeta	Fuerza máxima. Fmáx (N)	Fuerza cedencia. FYield (N)	Fuerza rotura. FRot (N)	Esfuerzo máximo. CMáx (MPa)	Esfuerzo cedencia. C.Yield (MPa)	Esfuerzo rotura. CRot (MPa)	Desplazamiento (mm)
1	13206,25	10981,60	12060,76	369,81	304,99	337,73	1.98
2	13116,31	11166,14	12284,80	363,78	309,70	340,72	1.88
3	13215,71	11006,78	12504,12	349,97	291,48	331,13	1.94
4	13204,67	11243,45	12022,89	355,45	302,66	323,64	1.89
5	13151,02	11735,73	12007,11	332,76	296,95	303,82	1.8
Media	13178,792	11208,740	12175,936	354,355	301,155	327,408	1.89

Obtención analítica del esfuerzo a tensión de cada espécimen

A continuación, se realiza el cálculo de la resistencia a la tracción de la soldadura de cada espécimen con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P \text{ (máxima)}}{W \times T} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ : Esfuerzo de resistencia a la tracción de la probeta (MPa).

A: Área de la sección transversal de la probeta (mm²).

Tabla 8
Esfuerzos a tracción obtenidos analíticamente
Resultados

Probeta	Fuerza máxima. F _{máx} (N)	Área de sección (mm ²)	Esfuerzo máximo. (MPa) σ
1	13206,25	40	330.16
2	13116,31	40	327.91
3	13215,71	40	330.39
4	13204,67	40	330.12
5	13151,02	40	328.78

Los resultados obtenidos analíticamente de la Tabla 8 son menores a los obtenidos en la Tabla 7, este cambio se debe a la reducción de área conforme la probeta se sigue estirando en el proceso de ensayo. Esto es común en los ensayos a tracción de materiales dúctiles.

En la Tabla 7 se observa que las propiedades mecánicas de las soldaduras en las 5 probetas se encuentran por debajo de las propiedades del metal base; el esfuerzo a la tensión del material base es de 405 MPa; la Norma AWS D1.1: 2000 establece que el esfuerzo permisible para soldaduras en lo que respecta al ensayo de tracción debe ser igual o menor al esfuerzo del metal base, por lo tanto las probetas cumplen con lo establecido en la norma. Esta variación en los resultados se debe a que durante el proceso de soldadura se producen discontinuidades metalúrgicas

que alteran las tensiones en la zona de soldadura. Además, la distribución del calor que ocurre durante la soldadura afecta enormemente la microestructura de la soldadura y, por lo tanto, a las propiedades de la soldadura. Un ejemplo de la obtención de valores inferiores en las propiedades mecánicas es el aluminio que se reduce hasta el 50% en la zona afectada por el calor (Norton L, 2011). En el caso de los 5 especímenes de pruebas destructivas hay una reducción del 25 % en lo que respecta a la resistencia a la cedencia y de un 26 % en lo relativo al esfuerzo máximo correspondiente al material de aporte.

El espécimen 5 muestra un valor de 332,86 MPa, inferior a los valores de esfuerzos de tensión de las otras muestras, como el esfuerzo a la tracción de la probeta 5 es inferior al esfuerzo a tensión (405 MPa) del metal base se cumple con lo establecido en la Norma AWS D1.1: 2000. La curva característica de la probeta en el diagrama Esfuerzo vs. Deformación de la Figura 40 no presenta singularidades o caídas bruscas de esfuerzos, ya que de existir reflejarían irregularidades en el cordón o mal proceso de soldadura por parte del soldador, por lo que se consideraría como aceptable la calidad y proceso de soldadura realizado.

Las probetas 1, 2 y 4 presentan un promedio de 334 MPa en lo que respecta al esfuerzo de rotura, la fuerza necesaria para provocar la falla del espécimen es de 12123 N aproximadamente. Al igual que los especímenes 3 y 5 los especímenes 1, 2 y 4 cumplen con la normativa ASW D1.1: 2000 y las curvas características del diagrama Esfuerzo vs. Deformación presentan un mismo patrón de comportamiento del material soldado que es importante en el análisis de este tipo de ensayos.

Luego de este análisis se puede constatar que las probetas reflejan que el tipo de suelda y el proceso de soldadura empleado por la empresa carrocera es idónea para el ensamble de sus productos carroceros.

4.2. Resultados ensayos no destructivos

Resultados obtenidos en el ensayo por líquidos penetrantes

En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos no destructivos aplicadas a las juntas de soldadura pertenecientes al armazón frontal de la carrocería.

Tabla 9
Resultados ensayos no destructivos por líquidos penetrantes

Descripción de la inspección mediante líquidos penetrantes (PT)

Resultados de la evaluación		Norma criterio de aceptación o rechazo:		AWS D1.1/D1-1M-2010 Código de soldadura estructural – Acero.	
Indicaciones encontradas		Dimensiones de las indicaciones (mm)		APROB. FINAL	Comentarios finales
Indicación	Indicación	Ø/LONG.	Idóneo (Si/No)		
P1	Ninguna	Ninguna	Si	Aceptado	No se encuentra defectos en la soldadura solo por parte del proceso.
P2	2 socavados	1mm, 2mm	No	Rechazado	Se encontró un defecto repetido en la soldadura.
P3	Poros	2,6 mm	No	Rechazado	Se encontró una discontinuidad en la soldadura.

Fuente: Autor

Los resultados de los ensayos no destructivos para la aceptación o rechazo también se basan en el criterio de la Norma: AWS D1.1/D1-1M-2010 Código de soldadura estructural – Acero, Sección 4.8.1. (Anexo 5) que establece que para una calificación aceptable, las soldaduras deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Las soldaduras deben estar libres de grietas.
- Todos los cráteres deben estar llenos completamente en la sección transversal de la soldadura.
- La cara de la soldadura debe estar llena hasta el borde de la superficie del metal base y la soldadura se debe fundir lentamente con el metal base. El socavado no debe exceder de 1mm.

En la Figura 41 se muestran las juntas de soldaduras a analizar, juntas pertenecientes al armazón estructural frontal de la carrocería.

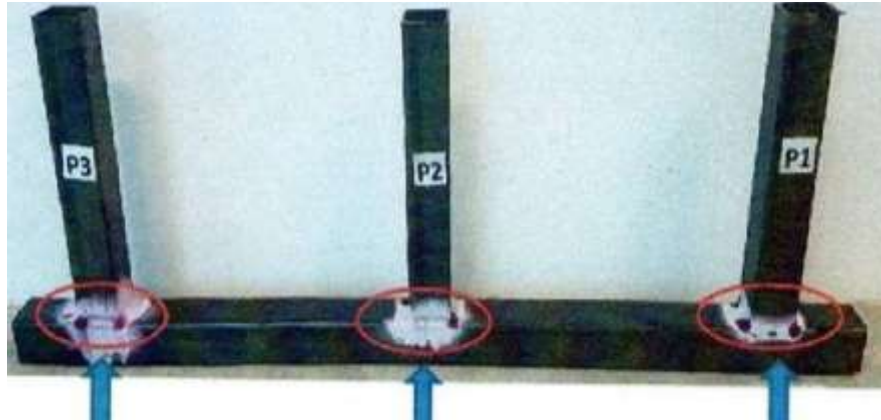


Figura 41 Juntas de soldaduras a analizar

Fuente: (Carrocerías Peres,2017)

4.2.1. Junta de soldadura P1

De acuerdo a la Norma: AWS D1.1/D1-1M–2010, Código de soldadura estructural – Acero, Sección 4.8.1. (Anexo 5), la junta de soldadura P1 es aceptable por Inspección Visual y por el método de Tintas Penetrantes como métodos de ensayo no destructivos, se encuentran porosidades superficiales tan diminutas que no son tomadas como problemas por lo que no se encuentra defectos en la soldadura por parte del proceso.

En la Figura 42 se puede observar la junta de soldadura P1.

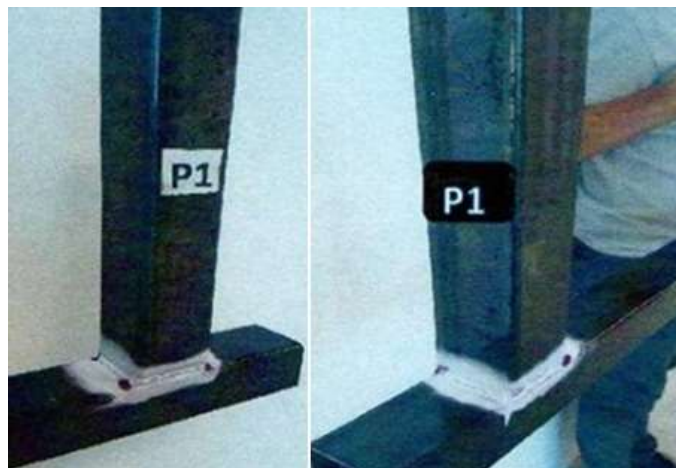


Figura 42 Junta de soldadura P1

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

4.2.2. Junta de soldadura P2

De acuerdo a la Norma: AWS D1.1/D1-1M-2010 Código de soldadura estructural – Acero (Anexo 5), la junta de soldadura P2 es aceptable por Inspección Visual, pero mediante el método de Tintas Penetrantes se encontró un defecto repetido en la soldadura.

En la junta de soldadura P2 se evidencia dos socavados inaceptables, esta indicación es rechazada debido a que es un defecto de la soldadura por parte del proceso.

Los dos socavados son superficiales, pero de grandes dimensiones, estos defectos pueden ser ocasionados por una técnica inadecuada de soldadura por parte del soldador, otra causa son alta velocidad de soldadura, el material de aporte depositado para llenar las depresiones provocadas por la fusión del metal base adyacente a la soldadura son insuficientes. Otra causa de este defecto es el elevado calor de soldadura, hay una excesiva fusión del metal base, o cuando se manipula incorrectamente el electrodo.

En la Figura 43 se puede observar la junta de soldadura P2.

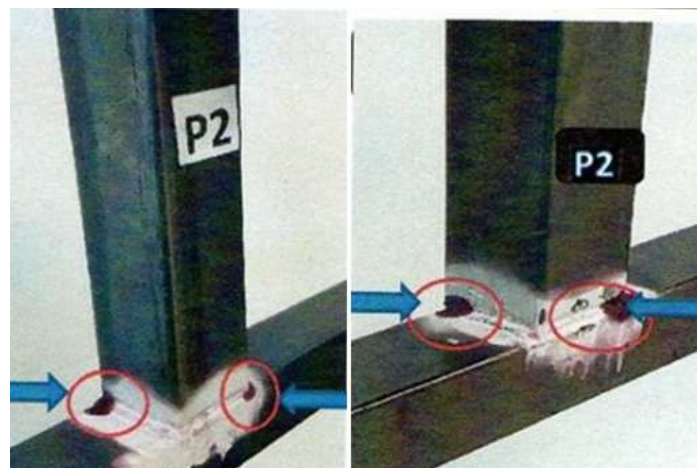


Figura 43 Junta de soldadura P2

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

4.2.3. Junta de soldadura P3

De acuerdo a la Norma: AWS D1.1/D1-1M-2010 Código de soldadura estructural – Acero (Anexo 5), la junta de soldadura P3 es aceptable por Inspección Visual, pero mediante el método de Tintas Penetrantes se encontró una discontinuidad en la soldadura.

En la junta de soldadura P3 se evidencia un poro, esta indicación es rechazada debido a que es un defecto. El diámetro del poro es de 2,6 mm.

Este defecto es provocado por los gases que quedan atrapados durante la soldadura, al suceder este defecto existe la posibilidad de que la porosidad genere una zona débil. Estos poros también son provocados por la presencia de contaminantes o humedad en la zona de soldadura.

En la Figura 44 se puede observar la junta de soldadura P3.

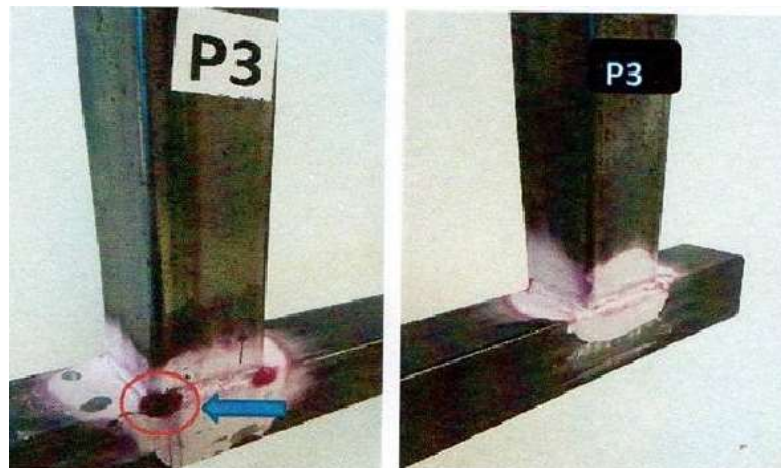


Figura 44 Junta de soldadura P3

Fuente: (Carrocerías Peres, 2017)

Resultados obtenidos en el ensayo por Partículas Magnéticas

En la Tabla 10 se muestra el resultado obtenido del ensayo no destructivo por Partículas Magnéticas de la soldadura de una probeta de prueba perteneciente al armazón frontal de la carrocería.

Tabla 10

Resultados ensayos no destructivos por líquidos penetrantes

Descripción de la inspección mediante Partículas Magnéticas

Resultados de la evaluación		Norma criterio de aceptación o rechazo:		Normas ASTM E1444/E1444M Estándar Practice for Magnetic Examination Norma ASTM E709 Standard Guide for Magnetic Particle Testing	
Indicaciones encontradas	Dimensiones de las indicaciones (mm)	APROB. FINAL	Comentarios finales		
Indicación	Indicación	Ø/LONG.	Idóneo (Si/No)		
1	Ninguna	Ninguna	Si	Aceptado	No se encuentra defectos en la soldadura.

El resultado del ensayo no destructivo por Partículas Magnéticas para la aceptación o rechazo se basan en el criterio de la Norma ASTM E1444/E1444M: Estándar Practice for Magnetic Examination y la Norma ASTM E709: Standard Guide for Magnetic Particle Testing, que establece que para una calificación aceptable, las soldaduras no deben presentar grietas, porosidades o cualquier tipo de defecto superficial o subsuperficial.

La cara de la soldadura no presenta ninguna indicación, por lo que se considera aceptable la soldadura analizada.

En la Figura 45 se muestra la junta de soldadura analizada, junta perteneciente al armazón estructural frontal de la carrocería.



Figura 45 Probeta analizada por Partículas Magnéticas

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Con la investigación llevada a cabo se pudo encontrar que una discontinuidad o irregularidad presente en una soldadura, ya sea perteneciente a la estructura de la carrocería o a cualquier otra estructura soldada, genera una deficiencia en las propiedades mecánicas del material, en este caso no se cumpliría al cien por ciento con las características que permitan garantizar que no se presenten fallas en el sistema estructural.
- El esfuerzo a la cedencia mínimo obtenido en el ensayo destructivo es de 291,48 MPa perteneciente a la muestra 3, esto indica que el espécimen pasa rápidamente a la zona plástica en comparación a las demás probetas y comienza a deformarse permanentemente; el esfuerzo máximo a la rotura experimentado es de 340,72 MPa, menor a 400 MPa que es el esfuerzo a la tensión del metal base como lo establece la Norma AWS D1.1: 2000 (El esfuerzo permisible puede ser menor o igual al esfuerzo del metal base).
- La variación en los resultados de acuerdo a la Tabla 7 se debe a que durante el proceso de soldadura se producen discontinuidades metalúrgicas que alteran las tensiones en la zona de soldadura. Además, influyen en la variación de resultados la zona afectada por el calor, las características isotrópicas del material, los parámetros de pruebas, etc.

- Las propiedades de la soldadura obtenidas de los ensayos destructivos presentan una reducción del 25 % en lo que respecta a la resistencia a la cedencia y de un 26 % en lo relativo al esfuerzo máximo, esto se debe a la zona afectada por el calor.
- Los especímenes 1, 2 y 4 presentan valores altos en comparación a las probetas 3 y 5 en lo que respecta al límite de resistencia a la cedencia con valores de 304,99 MPa, 309,70 MPa y 302, 66 MPa respectivamente, estos valores se aproximan a 320 MPa que es el límite de resistencia a la cedencia del metal base, lo cual se considera aceptable, este dato importante sirve para analizar la estructura desde el punto de vista de seguridad estructural.
- Los especímenes 3 y 5 muestran valores inferiores de resistencia en comparación a las muestras 1, 2 y 4, por tal motivo el esfuerzo de rotura es inferior para cada caso con 331,13 MPa y 303,82 MPa respectivamente. De acuerdo a los diagramas Esfuerzo vs. Deformación ninguna de las muestras de ensayo presenta singularidades o caídas bruscas de esfuerzos, por lo que se consideraría como aceptable la calidad y proceso de soldadura realizado por parte de la empresa.
- Los resultados de los ensayos destructivos demuestran que el proceso de soldadura utilizado en la empresa carrocera para la construcción de estructuras de buses es idóneo, pues las propiedades mecánicas del material de aporte se aproximan a las del material base, lo cual es aceptable desde el punto de vista de seguridad y de acuerdo a las normativa AWS D1.1: 2000 (Anexo 11) que rige en la actualidad sobre soldaduras en estructuras metálicas.

- Los resultados de los ensayos no destructivos de acuerdo a la Norma:AWS D1.1/D1-1M-2010 Código de soldadura estructural – Acero (Anexo 5), son aceptables por inspección visual, pero este método sólo permite realizar un análisis superficial mas no interno de la soldadura.
- Los especímenes P2 y P3 presentan defectos superficiales en las juntas de soldaduras, pero de grandes dimensiones por lo que se rechazan o son inaceptables, estos defectos se deben a una mala calidad en el cordón de soldadura. Esto se puede corregir con buenas prácticas especializadas en soldaduras de estructuras metálicas.
- El resultado del ensayo no destructivo por Partículas Magnéticas es aceptable, pues la soldadura no presenta grietas, porosidades o cualquier otra indicación que pueda evidenciar que existe la presencia de defectos superficiales o subsuperficiales.

5.2. Recomendaciones

- Mejorar el proceso de soldadura por parte de la empresa carrocera para que las juntas soldadas pertenecientes al armazón estructural del bus no presenten defectos superficiales de soldaduras y presten la debida seguridad a los ocupantes del vehículo en el caso de un evento adverso.
- La exactitud de resultados depende de la clase de máquina, extensómetro y exactitud de las dimensiones de la probeta, por lo que se debe cumplir con estos parámetros para que no haya una variación considerable en los resultados en el caso de pruebas destructivas.
- Cumplir con lo requisitos y procedimientos de prueba establecidos en las normas vigentes de ensayos destructivos y no destructivos para que los resultados obtenidos sean validados.

- Realizar investigaciones basadas en ensayos destructivos considerando todos los parámetros del material y los de ensayo tales como, naturaleza del material, geometría y preparación de la probeta, temperatura, técnicas de adquisición y análisis de datos.
- Realizar pruebas de ensayos destructivos y no destructivos con otros materiales de aporte aproximados al del material base, ya que de esta manera se mejoraría la unión entre el material base y el material de aporte para obtener un ensamble óptimo y seguridad en los puntos de unión que componen el sistema estructural.
- Interpretar detenidamente el diagrama esfuerzo-deformación del comportamiento del material de prueba en los ensayos destructivos, pues de no tener conocimiento en la interpretación se puede llegar a conclusiones erróneas de los datos obtenidos.
- Se debe posicionar el magnetizador en diferentes posiciones para que las partículas magnéticas puedan seguir de alguna manera la trayectoria perpendicular a la discontinuidad en el caso de presentarse defectos en la soldadura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEROTEX. (15 de Enero de 2012). Recuperado el 22 de Enero de 2017, obtenido de <http://acerotek.com.mx/web/?portfolio=perfiles-tubulares>

aENDur. (25 de Noviembre de 2005). Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, obtenido de *PAYEND*: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=23&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiL5ZGg35jYAhXESyYKHaVeATsQFgiGATAW&url=http%3A%2F%2Fwww.aendur.ancap.com.uy%2Feventos%2F2002%2FPAYEND%25202005%2FNORMAS%2C%2520DISCONTINUIDADES%2520Y%2520DEFECTO>

AHMSA. (2014). *Altos hornos de México*. Recuperado el 6 de Mayo de 2016, obtenido de http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf

ALCAVIL. (21 de Septiembre de 2015). Recuperado el 6 de Febrero de 2017, obtenido de <http://www.alcavil.com.mx/soldadura-por-resistencia-correcta/>

Alibaba.com. (2017). Recuperado el 2 de Febrero de 2017, obtenido de Global trade starts here: <https://www.alibaba.com/showroom/large-passenger-bus-size.html>

Almeida, C. (22 de Diciembre de 2015). *SENOCORP S.A.* Recuperado el 21 de Enero de 2017, obtenido de Defectos de soldadura.

Araujo, K. (12 de Noviembre de 2014). *SCRIBD*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, obtenido de Concepto del acero: <https://es.scribd.com/document/246360979/Concepto-de-Acero>

Armas Martínez, W. (27 de Agosto de 2013). Recuperado el 9 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://prezi.com/ibagb8sdzmjg/propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

ATA.S.L. (2014). Recuperado el 6 de Enero de 2017, obtenido de Rent a Car: <http://atarentacar.es/minibuses-alquiler-sevilla-cadiz-granada/>

Autocasión. (11 de Octubre de 2016). Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/los->

plasticos-en-el-automovil

Cardiel del Prado, D. (21 de Abril de 2003). *Centro Zaragoza*. Obtenido de <http://www.escueladeltrabajo.net/eleestveh.pdf>

Carrocerías Altamirano. (12 de Febrero de 2015). *Altamirano Carrocerías*. Recuperado el 25 de Enero de 2017, obtenido de <http://www.carrocerias-altamirano.com/#!/albumphotos0=8>

Centro de conocimiento ESAB. (23 de Marzo de 2014). Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://www.esabna.com/us/en/education/blog/radiographic-and-ultrasonic-testing-of-welds.cfm>

CETI. (2015). Recuperado el 1 de Febrero de 2017, obtenido de Centro Técnico INDURA: <http://www.ceti.cl/ultrasonido.html>

Chair , D., & Kou. (26 de Agosto de 2013). *Heat Flow in welding*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, obtenido de https://pubs.aws.org/Download_PDFS/WHC1.03PV.pdf

Cházaro Rosario, C., & Alvarez Valadez, O. (11 de Junio de 2013). *GERDAU CORSA*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, obtenido de <https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf>

Corporación Americana de Desarrollo. (2001). *CADPerú*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2017, obtenido de Comportamiento de los materiales y sus posibilidades estructurales: <https://es.scribd.com/document/362757609/Propiedades-Mecanicas-de-los-Materiales-pdf>

Dellsperger, C. (2014). *Pumilia*. Recuperado el 30 de Enero de 2017, obtenido de http://www.pumilia.ch/site/index.cfm?id_art=106944&actMenuitemID=50340&vsprache=ES

Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A. (17 de Junio de 2002). Recuperado el 01 de Marzo de 2018, obtenido de <https://www.solysol.com.es/data/documents/SoldaduraMIGMAG.pdf>

Díaz del Castillo Rodríguez, F. (18 de Febrero de 2008). Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, obtenido de

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/materiales_1.pdf

Díaz, I. (22 de Diciembre de 2012). *EAFisraeldíaz*. Recuperado el 31 de Enero de 2017, obtenido de <http://israeldiro.blogspot.com/2012/12/tipos-de-acero-empleados-en-el.html>

Díaz, L. (12 de Julio de 2013). Recuperado el 4 de Febrero de 2017, obtenido de Soldadura con gas y arco de tungsteno: http://soldaduracongasyardetungsteno.blogspot.com/2013_07_01_archive.html

Dirección General de Tráfico. (2015). *Reglamentación sobre vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-para-profesores-y-directores-de-autoescuelas/XVIII-Curso-de-Profesores/Reglamentacion-vehiculos-pesados.pdf>

ELECTRODOSINFRA. (5 de Diciembre de 2011). Recuperado el 21 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://grupoinfra.com/sites/default/files/libreria-de-descargas/ft-infra-welding-wire-70s-6.pdf>

Esmeraldas Meneses, C. A. (2016). *Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros*. Latacunga, Ecuador.

Gassó Bas, J. P. (Diciembre de 2011). *Materiales utilizados en la fabricación de carrocerías de vehículos*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://publicacionesdidacticas.com/hemeroteca/articulo/020006/articulo-pdf>

González Carillo, I. F. (10 de Noviembre de 2014). *SlideShare*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://es.slideshare.net/ivanfgonzalezc/propiedades-mecnica-de-los-materiales>

Gtmotive. (15 de Mayo de 2017). Recuperado el 9 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://gtmotive.com/es/adictos/conecta/propiedades-carroceria-aluminio>

Gualdron Blanco, C., & Luna Gómez, E. (2009). *Manual multimedia de reparación de carrocerías autoportantes*. Bucaramanga, Colombia.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente* (Primera edición ed.). Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *Vehículos Automotores. Carrocerías de buses. Requisitos* (Primera ed.). Quito, Ecuador.

Instituto Técnico de la Estructura del Acero. (28 de Diciembre de 2000). Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, obtenido de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Acero/Textos/TOMO13.pdf

International Atomic Energy Agency. (2001). *Guidebook for the Fabrication of Non-Destructive Testing (NDT) Test Specimens*. Vienna, Austria: IAEA.

La enciclopedia de materiales. (2014). Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://www.materialesde.com/propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

Lázaro Martín, Á. (11 de Julio de 2012). *Sol Y Sol*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://solysol.com.es/data/documents/Soldadura=20por=20Arco=20Sumergido=20Curso=20Completo.pdf>

LESCAM. (12 de Septiembre de 2012). Recuperado el 7 de Febrero de 2017, obtenido de <https://lescamgruppe.wordpress.com/endndt/>

Malo Roldán, C. (24 de Septiembre de 2009). *SlideShare*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://es.slideshare.net/cemarol/propiedades-mecnicas-de-los-materiales-y-esfuerzos-que-soportan>

María José. (2011). *Ensayos destructivos metalúrgicos*. Andalucía.

microJoining Solutions. (Junio de 2002). Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, obtenido de http://www.microjoining.com/docs/1352550957_microtip_minimizing_weld_s

plash.pdf

Millerwelds. (27 de Julio de 2013). Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://www.millerwelds.com/-/media/dcdd4f978e8e4181bd84c549384dda1c.pdf>

Myers, T., & Dragolich, F. (2017). *Lincoln Electric*. Recuperado el 4 de Febrero de 2017, obtenido de Fundamentos FCAW-S: <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/process-and-theory/Pages/fcaaws-basics.aspx>

Navarro, J. M., Gómez Morales, T., García Jiménez, J. L., & Águeda Casado, E. (2010). *Elementos amovibles y fijos no estructurales* (Segunda ed.). (A. Cerviño González, Ed.) Madrid, España: Ediciones Paraninfo.

NAVEDTRA. (3 de Mayo de 2011). Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://www.weldguru.com/support-files/flux-cored-arc-welding.pdf>

Northgate. (2015). Recuperado el 2 de Febrero de 2017, obtenido de <http://www.northgateplc.es/coches-renting-flexible/renting-flexible-furgoneta/renault-kangoo-combi-5-plazas-con-airbag-abs-aire-radio-cd-co2-119-consumo-medio-4-6-con-puerta-lateral/>

Norton L, R. (2011). *Diseño de máquinas*. (L. Cruz Castillo, Ed., & A. Enríquez Brito, Trad.) Naucalpan de Juárez, México, México: Prentice Hall.

OLYMPUS. (2015). Recuperado el 2 de Febrero de 2017, obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/applications/eddy-current-weld-inspection/>

Ortiz Gallardo, G. (29 de Junio de 2014). *SlideShare*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://es.slideshare.net/gabrielortiz5661/informe-ensayo-no-destructivos1listo1>

Prieto, A. (19 de Enero de 2006). *Industrias Unicon C.A*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, obtenido de <http://www.vemacero.com/Tablas/estructurales.pdf>

PROYEQ. (2016). Recuperado el 5 de Febrero de 2017, obtenido de <http://www.proyeq.com/paginas.asp?clc=274&id=1940>

Rengifo, A. (2014). *Procedimientos de soldadura para estructuras metálicas de acero*. Colombia.

Ruíz LL., A. (21 de Mayo de 2007). Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, obtenido de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwix0cHurJnYAhUG7CYKHx1bAG0QFggsMAE&url=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fd%2Fd7%2F3._Discontinuidades_en_Metal_Base_y_Soldadura.pdf&usg=AO

SlideShare. (22 de Abril de 2015). Recuperado el 30 de Enero de 2017, obtenido de Soldadura SMAW: <http://es.slideshare.net/cinyul/soldadura-smaw-47271829>

Smith, L. D. (19 de Febrero de 2001). *thefabricator.com*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://www.thefabricator.com/article/arcwelding/the-fundamentals-of-gas-tungsten-arc-welding--preparation-consumables-and-equipment-necessary-for-the-process>

Sociedad Americana de Soldadura. (2007). *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds* (Séptima edición ed.). Miami, Estados Unidos de América: LeJeune Road.

Soldainoxchile. (Agosto de 2010). Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, obtenido de <http://soldainoxchile.blogspot.com/p/normas-y-defectos-de-las-soldaduras.html>

Suranaree University of Technology. (28 de Agosto de 2007). *Heat Flow in Welding*. Recuperado el 20 de Enero de 2017, obtenido de http://www.sut.ac.th/Engineering/metal/pdf/MetJoint/02_Heat%20flow%20in%20welding.pdf

Taller Actual. (2014). Recuperado el 22 de Enero de 2017, obtenido de Posventa Automotriz en primer plano: <http://talleractual.com/pesados/928-las-mejoras-en-los-camiones-parte-1>

The HASHEMITE UNIVERSITY. (6 de Marzo de 2012). Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, obtenido de <https://eis.hu.edu.jo/upload/38000000/Magnetic%20Particle%20Testing.pdf>

The Lincoln Electric Company. (3 de Junio de 2015). Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, obtenido de Soldadura por arco metálico con gas:

https://www.lincolnelectric.com/assets/global/products/consumable_miggma_wwires-superarc-superarcl-56/c4200.pdf

thefabricator. (18 de Noviembre de 2015). Recuperado el 3 de Febrero de 2017, obtenido de <http://www.thefabricator.com/spanish/mezclas-de-gas-para-gmaw-de-acero-al-carb-n>

Universidad Tecnológica de Pereira. (29 de Enero de 2015). Recuperado el 7 de Febrero de 2017, obtenido de Metalografía: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-4-1-pruebas-no-destructivas-superficiales/>

Willcox Co. (30 de Junio de 2008). *Juntas de soldaduras y tipos de soldaduras*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, obtenido de https://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781590708668_ch06.pdf

Zoombd24. (15 de Febrero de 2015). Recuperado el 1 de Febrero de 2017, obtenido de <http://www.zoombd24.com/eddy-current-testing/>

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **LUIS
FELIPE JIMÉNEZ PRUNA.**

En la ciudad de Latacunga, a los **15 días del mes de marzo del 2018.**

Ing. Mauricio Cruz.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO

