



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMOMECAÁNICO DE LA JUNTA SOLDADA TIPO K, APLICADA EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍA DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES.”

**MAYANZA BALLA JANNETH ALEXANDRA
TUQUINGA SAGÑAY GRICELDA PATRICIA**

TRABAJO DE TITULACIÓN **TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERA MECÁNICA

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

MAYANZA BALLA JANNETH ALEXANDRA

Titulado:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMOMECAÁNICO DE LA JUNTA
SOLDADA TIPO K, APLICADA EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍA DE
AUTOBUSES INTERPROVINCIALES.”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
DIRECTOR

Ing. Julio César Villavicencio Cevallos
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

TUQUINGA SAGÑAY GRICELDA PATRICIA

Titulado:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMOMECAÁNICO DE LA JUNTA
SOLDADA TIPO K, APLICADA EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍA DE
AUTOBUSES INTERPROVINCIALES.”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
DIRECTOR

Ing. Julio César Villavicencio Cevallos
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MAYANZA BALLA JANNETH ALEXANDRA

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMOMECÁNICO DE LA JUNTA SOLDADA TIPO K, APLICADA EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍA DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES”

Fecha de Examinación: 2018-10-18

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR			
Ing. Julio César Villavicencio Cevallos MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TUQUINGA SAGÑAY GRICELDA PATRICIA

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMOMECÁNICO DE LA JUNTA SOLDADA TIPO K, APLICADA EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍA DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES”

Fecha de Examinación: 2018-10-18

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR			
Ing. Julio César Villavicencio Cevallos MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Mayanza Balla Janneth Alexandra

Tuquinga Sagñay Gricelda Patricia

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotras, Mayanza Balla Janneth Alexandra y Tuquinga Sagñay Gricelda Patricia, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Mayanza Balla Janneth Alexandra
Cedula de Identidad: 060418461-4

Tuquinga Sagñay Gricelda Patricia
Cedula de Identidad: 060478449-6

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a Dios por darme la vida y su infinita bondad para llegar a culminar esta etapa de mi vida. A mi madre María Balla por haberme apoyado en todo momento a pesar de las dificultades, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. A mi padre Luis Mayanza por apoyo y sus consejos que ha sabido guiarme desde la niñez hasta el momento. A mis hermanos Paúl, Mateo, Sami que siempre han estado junto a mí con sus sonrisas, abrazos sinceros y por todas las oraciones que ahora se hicieron realidad. A Luis lema por sus valiosas palabras de ánimo que no me dejaba decaer para que siguiera adelante y que cumpla mis sueños. A mis tíos José Luis, Francisco, Joaquín, Cesar, Rosario, Rebeca, a mis abuelitos por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante. A mis amigos y amigas por formar parte de esta gran experiencia profesional. A todas aquellas personas que creyeron en mí, muchas gracias y que Dios les Bendiga.

Mayanza Balla Janneth Alexandra

Dedico el presente trabajo a mis padres Jhoni Tuquinga y Mercy Sagñay por haberme apoyado con todo el amor y voluntad que solo ustedes saben dar, lo dedico también a mis abuelitas Luz María y María Manuela que con sus consejos siempre me guiaron por un buen camino, pero también va dedicado para mi sobrina Heybri Mayte quien siempre con su sonrisa y travesuras me alegraban en los días grises, A mis hermanos Mirian Katherine, Jhony Fernando y Erika Vanesa quienes siempre estuvieron tras mis pasos y me dieron enseñanzas que solo ustedes me podrían dar.

Tuquinga Sagñay Gricelda Patricia

AGRADECIMIENTO

Agradecido con Dios por tener a una gran familia lleno de valores, principios y sobre todo humildad. A todos mis profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica por impartir sus conocimientos y experiencias que han sido de una valiosa ayuda para formarme profesionalmente, en especial a nuestro director de tesis Ing. Santiago López por su invaluable colaboración para poder terminar exitosamente este trabajo. A la empresa Eurocarrocerías que me brindó toda la información necesaria para hacer posible este proyecto y a las personas especiales que han estado en momentos buenos y malos de mi vida. Por lo cual. Muchas Gracias.

Mayanza Balla Janneth Alexandra

Primeramente agradeciendo a Dios por haberme permitido lograr cumplir mi meta planteada a pesar de que en el trayecto existieron adversidades, A mis padres Jhoni y Mercy por todo su esfuerzo, sacrificio, dedicación y amor, a mi hermana Mirian por haberme dado el mejor regalo, a Mayte mi sobrina, a mis hermanos Jhony y Erika por animarme siempre cuando las cosas no salían como quería y decirme “ ya te falta poco”, a mi mamilu (Luz María) y mami Manu (María Manuela) quienes siempre se preocupaban por mí, a mis tíos José, Narcisa, Jipson y en especial a mi tía Martha Sagñay quien nos cuidó a mis hermanos y mi cuando nos quedamos solos por adversidades de la vida, a mis amigos, primos y demás familiares, les digo un Dios les pague por apoyarme de manera que solo ustedes lo sabían hacer.

Tuquinga Sagñay Gricelda Patricia

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problematización.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Alcance.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 MARCO TEORICO.....	4
1.6 Marco Teórico Conceptual.....	4
1.6.1 Historia de la carrocería.....	4
1.6.2 La industria automotriz en el Ecuador.....	4
1.6.3 Carrocería Metálicas.....	8
1.6.4 Partes de la Carrocería.....	9
1.6.4.1 Chasis.....	9
1.6.4.2 Estructura.....	9
1.6.4.3 Cubierta Externa.....	10
1.6.4.4 Instrumentación.....	11
1.6.5 Clases de Carrocerías.....	11
1.6.5.1 Carrocería con Chasis Independiente.....	11
1.6.5.2 Carrocería con Chasis Plataforma.....	12
1.6.5.3 Carrocería Compacta.....	13
1.6.6 Soldadura.....	13
1.6.6.1 Origen y Evolución de la Soldadura.....	14
1.6.7 Ventajas de la soldadura.....	14
1.6.8 Soldabilidad.....	15
1.6.9 Aporte Térmico.....	15
1.6.10 Dilución.....	16

1.6.11	Metalurgia de la Soldadura.....	16
1.6.12	Características del Cordón de Soldadura.....	16
1.6.13	Clasificación de Soldadura.....	17
1.6.14	Junta soldada.....	18
1.6.15	Perfiles utilizados en la construcción de la carrocería de autobuses	21
1.6.16	Acero ASTM A-500 grado A	21
1.6.16.1	Ventajas del Acero Estructural	22
1.6.17	Soldadura en perfiles tubulares.....	22
1.6.17.1	Soldadura SMAW.....	23
1.6.17.2	Soldadura FCAW	24
1.6.17.3	Soldadura GMAW.....	24
1.6.18	Tratamiento Térmico Previo y Posterior de Perfiles Tubulares	26
1.6.19	Fatiga Térmica.....	27
1.6.20	Esfuerzos Residuales macroscópicos y microscópicos	28
1.6.21	Esfuerzos Térmicos Durante la Soldadura y Como se Producen	29
1.6.22	Energía de Aportación en un Proceso de Soldadura.....	30
1.6.23	Análisis de las Deformaciones en las uniones soldadas	31
1.6.24	Ecuaciones Básicas utilizadas en la simulación del Proceso de Soldadura	33
1.6.24.1	Ecuaciones del Análisis Termomecánico de la soldadura	34
1.6.24.2	Modelo de fuente de calor de doble elipsoide	34
1.6.25	Movimiento del modelo de fuente de calor y su expresión matemática.....	36
1.6.26	Establecimiento de los Procedimientos de Soldadura (WPS)	37
1.6.26.1	Procedimiento de Soldadura.....	37
1.6.26.2	Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR)	38
1.6.26.3	Calificación del Soldador (WPQ).....	39
1.6.27	Ensayos no Destructivos.....	39
1.6.27.1	Método de líquidos penetrantes	39
1.6.27.2	Método De Inspección Visual	41
1.6.27.3	Defectología y Tipo de Discontinuidades.....	42

1.6.28	Descripción de la Norma de Diseño para Estructura de Carrocerías.....	46
1.6.28.1	Norma Técnica Ecuatoriana (NTE-INEN 1323:2009)	46
1.6.29	Norma RTE-043 para Autobús de Tipo Interprovincial e Intraprovincial	48
1.6.29.1	Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 043:2010)	48
1.6.29.2	Requisitos	49
1.6.29.3	Especificaciones del chasis.....	49
1.6.29.4	Especificaciones de la Carrocería.....	50
CAPÍTULO II		52
2.	DISEÑO METODOLÓGICO	52
2.1	Diseño Experimental	52
2.2	Concepto de Robustez	52
2.3	Diseño de Experimentos	53
2.3.1	Factores Controlables	53
2.3.1.1	Voltaje	53
2.3.1.2	Velocidad del alambre	54
2.3.1.3	Flujo de CO ₂	55
2.3.2	Preparación de Muestras.....	56
2.4	Matriz de Involucrados	58
2.5	Árbol de Problemas	59
2.6	Árbol de Objetivos.....	60
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. 62	
3.1	Resultados.....	62
3.1.1	Tiempo de avance en cada cordón de la soldadura.....	62
3.1.2	Medición de los resultados con el Método experimental	63
3.1.3	Resultados obtenidos mediante el Análisis de métodos de elementos finitos	64
3.1.1.1	Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E01.1.....	65
3.1.1.2	Energía Aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.1.....	66
3.1.1.3	Análisis mediante el método de elementos finitos- Probeta E01.2.....	67
3.1.1.4	Energía Aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.2.....	68
3.1.1.5	Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E02.1.....	69
3.1.1.6	Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.1.....	69

3.1.1.7	Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E02.2.....	70
3.1.1.8	Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.2.....	71
3.1.1.9	Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E03.1.....	72
3.1.1.10	Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.1.....	72
3.1.1.11	Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E03.2.....	73
3.1.1.12	Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.2.....	74
3.1.2	Resultados de las combinaciones mediante el software Minitab.....	75
3.1.3	Análisis de los cordones de soldadura mediante el Ensayos no Destructivos.	76
3.1.4	Análisis de Resultados.....	76
3.1.4.1	Análisis de la Temperatura inicial	76
3.1.4.2	Relación de la Energía Aportada, Deformación y Ensayos no Destructivos.....	76
3.1.4.3	Análisis de la Deformación vs. Temperatura	82
	CONCLUSIONES	84
	RECOMENDACIONES	85

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1: Lista de Empresas carroceras del Ecuador.	6
Tabla 1-1 (continua): Lista de Empresas carroceras del Ecuador.	7
Tabla 2-1: Composición Química del Acero ASTM 500 grado A	21
Tabla 3-1: Intervalo de valores de EBA para algunos procesos de soldadura por arco	31
Tabla 4-1: Rendimiento de algunos procesos de soldadura por arco	31
Tabla 5-1: Tipos de Discontinuidades	42
Tabla 1-2: Valores recomendados de voltaje, velocidad de alimentación del alambre.....	54
Tabla 2-2: Variables del Experimento	58
Tabla 3-2: Matriz de Involucrados	59
Tabla 1-3: Tiempo de avance en cada cordón de Soldadura.....	63
Tabla 2-3: Recopilación de Datos del Ensayo Experimental	64
Tabla 3-3: Composición y propiedades del Acero ASTM A500 grado A	65
Tabla 4-3: Análisis de la probeta E01.1.....	66
Tabla 5-3: Energía Aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.1	67
Tabla 6-3: Análisis de la probeta E01.2.....	67
Tabla 6-3(continua): Análisis de la probeta E01.2	68
Tabla 7-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.2.....	68
Tabla 8-3: Análisis de la probeta E02.1	69
Tabla 9-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.1	70
Tabla 10-3: Análisis de la probeta E02.2.....	70
Tabla 10-3(continua): Análisis de la probeta E02.2	71
Tabla 11-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.2.....	71
Tabla 12-3: Análisis de la probeta E03.1	72
Tabla 13-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.1	73
Tabla 14-3: Análisis de la probeta E03.2.....	73
Tabla 14-3(continua): Análisis de la probeta E03.2	74
Tabla 15-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.2.....	74
Tabla 15-3(continua): Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.2	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Producción de Vehículos 2017.....	6
Gráfico 2-1: Tipos de Soldabilidad.....	15
Gráfico 1-3: Gráficas de los resultados de las combinaciones.....	75
Gráfico 2-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E01.1	77
Gráfico 3-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E01.2	78
Gráfico 4-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E02.1	79
Gráfico 5-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E02.2	80
Gráfico 6-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E03.1	80
Gráfico 7-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E03.2	81
Gráfico 8-3: Gráfica de deformación total vs. temperatura	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Evolución de la carrocería	4
Figura 2-1: Construcción de la carrocería	5
Figura 3-1: Empresas carroceras a nivel nacional	8
Figura 4-1: Carrocería de buses interprovinciales	8
Figura 5-1: Chasis de un bus Interprovincial	9
Figura 6-1: Estructura de la Carrocería.....	9
Figura 7-1: Forrado de la carrocería	10
Figura 8-1: Instrumentación de la carrocería.....	11
Figura 9-1: Carrocería con chasis Independiente.....	12
Figura 10-1: Carrocería con chasis plataforma.....	12
Figura 11-1: Carrocería compacta	13
Figura 12-1: Soldadura en carrocería de buses interprovinciales	14
Figura 13-1: Cálculo de la Dilución	16
Figura 14-1: Componentes básicos de la soldadura por arco	17
Figura 15-1: Proceso de Soldadura por arco eléctrico	18
Figura 16-1: Junta Tipo Tope y la soldadura aplicable.....	19
Figura 17-1: Junta Tipo L y la soldadura aplicable	19
Figura 18-1: Junta Tipo T y la soldadura aplicable.	19
Figura 19-1: Junta solapada y la soldadura aplicable	20
Figura 20-1: Junta en Borde y la soldadura aplicable.....	20
Figura 21-1: Nomenclatura de la junta soldada	20
Figura 22-1: Soldadura en Perfiles Tubulares	23
Figura 23-1: Soldadura GMAW	23
Figura 24-1: Soldadura SMAW	23
Figura 25-1: Soldadura FCAW.....	24
Figura 26-1: Soldadura vertical 180 °	25
Figura 27-1: Soldadura vertical ascendente.....	25
Figura 28-1: Soldadura Horizontal	26
Figura 29-1: Soldadura en perfiles rectangulares	26
Figura 30-1: Ilustración esquemática de una carga térmica cíclica.	28
Figura 31-1: Esfuerzos residuales macroscópicos.....	28
Figura 32-1: Cambios de temperatura y esfuerzos durante la soldadura.	29
Figura 33-1: Distribución de esfuerzos residuales en la soldadura.....	32
Figura 34-1: Malla tridimensional de elementos finitos.	33
Figura 35-1: Análisis térmico de la soldadura	33
Figura 36-1: Modelo de fuente de calor de doble elipse.....	35

Figura 37-1: Sistema de coordenadas empleados en la modelación	37
Figura 38-1: Inspección de Soldadura	39
Figura 39-1: Kit Tintas Penetrantes	40
Figura 40-1: Instrumentos de Inspección Visual	42
Figura 41-1: Poros Superficiales Aislados	43
Figura 42-1: Inclusiones de Escoria Superficiales.....	43
Figura 43-1: Radiografía de una Junta con Falta de Penetración	43
Figura 44-1: Exceso de Penetración	44
Figura 45-1: Falta de Fusión en la superficie de la Soldadura.....	44
Figura 46-1: Socavación Adyacente en una Soldadura de Filete.....	45
Figura 47-1: Salpicaduras.....	45
Figura 48-1: Fisura Transversal.....	46
Figura 1-2: Diseño Experimental	52
Figura 2-2: Tipo de factores en un experimento.....	53
Figura 3-2: Equipo utilizado para la soldadura GMAW.....	55
Figura 4-2: Regulador de CO ₂	56
Figura 5-2: Junta K, a) Corte de los elementos y b) Medidas reales de la junta.....	56
Figura 6-2: Junta K, a) Denominación de los elementos, b) Puntéo de los elementos	57
Figura 7-2: Aplicación de la soldadura GMAW.....	57
Figura 8-2: Árbol de Problema.....	60
Figura 9-2: Árbol de Objetivos.....	61
Figura 1-3: Numeración de los cordones de soldadura.....	62
Figura 2-3-: Análisis del Método de Elementos Finitos de la junta.....	64
Figura 3-3: Porosidad en el cordón de soldadura E01.1	77
Figura 4-3: Discontinuidad en el cordón de soldadura E01.2.....	78
Figura 5-3: Uniformidad del cordón de soldadura en la junta E02.1.....	79
Figura 6-3: Cordón de la junta soldada E02.2	80
Figura 7-3: Porosidad en la junta soldada E03.1	81
Figura 8-3: Cordón irregular de la junta soldada E03.2.....	82
Figura 9-3: Deformaciones de la junta soldada tipo k	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Procedimiento de soldadura en filete según la norma AWS D1.1
Anexo B	Procedimiento de inspección visual en soldadura
Anexo C	Reporte de inspección visual
Anexo D	Procedimiento de tintas penetrantes en soldadura
Anexo E	Reporte de tintas penetrantes

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en el análisis de la junta soldada tipo K aplicada en la fabricación de la carrocería de autobuses interprovinciales con el objetivo de determinar el grado de deformación causado por el efecto de temperatura luego del proceso de soldadura, la misma que repercute en la desalineación de la estructura y deterioro prematuro de la misma. Se recreó la junta soldada tipo K con la finalidad de realizar el ensayo experimental y obtener los resultados de deformación producida en la junta considerando los factores controlables como el voltaje, velocidad del alambre y flujo de gas (CO₂) según lo que establece el procedimiento de soldadura en filete de acuerdo con la norma AWS D1.1. Mediante el Método de elementos finitos basados en el modelo matemático de fuente de calor de doble elipsoide se realizó el análisis termomecánico de la junta, tomando en cuenta datos reales de fabricación y planteando dos nuevas combinaciones, con la cual encontramos datos de deformación, complementando con ensayos no destructivos como tintas penetrantes e inspección visual la cual nos ayudó a verificar la calidad de la soldadura. Posteriormente se realizó la comparación de datos obtenidos en el ensayo experimental y el método de elementos finitos para corroborar dichos. La nueva combinación E02.1 y E02.2 que posee una velocidad de alambre de 5.0 m/min, voltaje de 18.6 voltios y flujo de gas (CO₂) de 10.0 lt/min, posee la menor deformación en el proceso de soldadura con un valor de 7.53mm, la misma que se encuentra dentro del rango de 10.0 mm de tolerancia permitida y mediante los ensayos no destructivos de inspección visual y tintas penetrantes, se concluye que los cordones de soldadura disminuyen notablemente las discontinuidades dándonos un cordón de buena calidad. Se recomienda continuar con la investigación con otros tipos de juntas que constituyen la carrocería ya que es gran aporte para la Industria Carrocera y que contribuirá en la mejora del sistema de fabricación garantizando la calidad del producto.

Palabras claves: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA MECÁNICA>, <INDUSTRIA CARROCERA>, <JUNTA SOLDADA TIPO K>, <ANÁLISIS TERMOMECÁNICO>, <ENSAYO NO DESTRUCTIVO>, <DISEÑO EXPERIMENTAL>, <MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS >.

ABSTRACT

This research focused on the analysis of the welded joint type K applied in the manufacture of the bodywork of interprovincial buses in order to determine the degree of deformation caused by the effect of temperature after the welding process, which affects the misalignment of the structure and its premature deterioration. The welded joint type K was recreated in order to perform the experimental test and obtain the results of deformation produced in the joint, considering the controllable factors such as; voltage, wire speed and gas flow (CO₂) according to what establishes the fillet Welding procedure and in accordance to its standard AWS D1.1. (All Water System). The thermomechanical analysis of the joint was carried out, using the finite Element Method based on the mathematical model of double ellipsoid heat source, taking into account real manufacturing data and proposing two new combinations, with which it was found deformation data, complementing with non-destructive test such as penetrating inks and visual inspection which helped us to verify the quality of the welding. Subsequently, the comparison of data obtained in the experimental test and the finite element method was made to corroborate saings. The new combination E02.1 and E02.2 which has a wire speed of 5.0m/min, voltage of 18.6 volts and gas flow (CO₂) of 10.0lt/min, has the least deformation in the welding process with a value of 7.53 mm, which is within the range of 10.0 mm allowed tolerance and through non-destructive test of visual inspection and penetrating inks, It is concluded that the weld seams significantly decrease the discontinuities giving us a quality cord. It is recommended to continue with the investigation with other types of joints that constitute the bodywork since it is a great contribution for the Bodywork Industry and that will contribute in the improvement of the manufacturing system guaranteeing the quality of the product.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <MECHANICAL ENGINEERING>, <BODYWORK INDUSTRY>, <WELDED JOINT TYPE K>, <THERMOMECHANICAL ANALYSIS>, <NON-DESTRUCTIVE TESTING>, <EXPERIMENTAL DESING>, <FINITE ELEMENT METHOD>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

La industria carrocerera en la actualidad forma parte de la matriz productiva del Ecuador, existen aproximadamente 54 empresas en nuestro país dedicadas a la construcción de carrocerías interprovinciales e intraprovinciales, buses urbanos y minibuses. Para el desarrollo de esta investigación se lo realizó en una empresa dedicada a este tipo de trabajo la misma que reconocida por la ANT (agencia nacional de Transito) y CANFAC (Cámara nacional de fabricantes de carrocerías), en la cual se utilizan materiales como el Acero A500 Grado A y otros materiales exportados para su construcción. En todo el proceso de la etapa estructural ocurre la deformación en la unión de juntas soldada tipo K, donde se emplea el proceso de soldadura GMAW la misma que utiliza un alambre consumible ER70S-6 con un diámetro de 0.9 mm, para el desarrollo de esta soldadura es necesario el voltaje, la velocidad de alambre y una cantidad adecuada de flujo gas CO₂ para proteger el charco fundido.

En este trabajo tiene como objetivo analizar la deformación causa por la temperatura al transcurrir el avance de soldadura con los valores reales a la cual está trabajando dicha empresa donde se realizó la investigación, posteriormente se encuentra cantidad adecuado de factores controlables (voltaje, flujo de gas y velocidad de alambre) para disminuir el efecto termomecánico por medio del análisis del método de elementos finitos, basados en la ecuación de modelo de fuente de calor de doble elipse. Este estudio aporta al desarrollo de la construcción de la parte lateral de la carrocería en la cual se encuentra la junta tipo K, la misma que requiere una buena calidad en la unión de soldadura para soportar fuerzas de flexión y torsión, brindando así un producto que garantice la durabilidad y la seguridad.

1.1 Problematización.

Desde los años 1960 el único transporte en el Ecuador fue el transporte ferroviario, pero fue en el gobierno del Dr. Isidro Ayora en la cual se implementó el Ministerio de obras públicas y Comunicación con el objetivo de mejorar el Transporte público terrestre ya en los años 1969 se dio inicio las primeras empresas de carrocerías metálicas en el Ecuador sobre un chasis Ford, con motor a gasolina. La producción más grande de carrocería se encuentra en la Ciudad de Ambato, la misma que genera el 65% de la producción a nivel nacional aproximadamente con un monto de 84 millones de dólares anuales y alrededor de 2 400 plazas de trabajo (El telégrafo, 2017).

La mayoría de las empresas carroceras realizan la construcción de las estructuras con perfil cuadrado ASTM A500 grado A unida por medio de un cordón de soldadura, debido a los esfuerzos que están sometidos las juntas soldadas tipo K en el proceso de soldadura se produce el efecto de deformación, por ende se somete a trabajos correctivos en la que se alinea mediante golpes generando esfuerzo residuales y deterioro prematuro de la estructura, lo que repercute en los retrasos en los tiempos de producción ya que al operario le tomara más del estimado entregar el trabajo a la siguiente etapa que es forrado, sin contar que al realizar el trabajo correctivo corre el riesgo de sufrir un accidente laboral.

1.2 **Justificación**

La industria carrocera se ha incrementado en los últimos años por lo cual estas se basan en la norma ecuatoriana INEN 1323 para la selección del tipo de acero y la norma internacional AWS D 1.1, que especifica el proceso de soldadura que se debe seguir para cada tipo de juntas soldadas, para la presente investigación se analiza la parte lateral de la estructura y se observa que la junta soldada tipo K constituye la mayor parte de esta, por lo cual es considerada para el presente estudio por ser la más relevante. Por falta de estudio de la deformación causada por el aumento de temperatura, se evidencian procesos de manufactura deficientes y aparición de fallas estructurales.

En la actualidad existe un problema con la carrocería de autobuses interprovinciales en donde la deformación en proceso de soldadura tiene como resultado: desalineamiento en la estructura lo cual retrasa los tiempos de producción estimados, así como fallas en la siguiente etapa de producción que es forrado, sin considerar también lo riesgos que corre el operario al realizar las correcciones de alineamiento al tener que treparse a la estructura la mayoría de las veces sin ninguna protección. Para dar solución a este problema en el proceso de manufactura, el operario realiza las correcciones de forma manual, mediante golpes que generan cargas puntuales las mismas que ocasiona esfuerzos residuales afectando a la vida útil de material, hasta el momento no se ha realizado un estudio que brinde una solución, este estudio aportará y dará a conocer el fenómeno termomecánico en la junta soldada tipo K, definiendo las variables controlables como son: voltaje, flujo

de CO₂ y velocidad de alambre las cuales son las más relevantes y repercuten en la calidad del cordón de soldadura.

1.3 Alcance

El alcance del presente trabajo tiene como finalidad determinar el grado de deformación ocasionada por temperatura en la junta soldada tipo K de perfil estructural 50x50x2 mm el cual se utiliza en la fabricación de carrocería de autobuses interprovinciales, con el fin de garantizar la durabilidad, confiabilidad del producto y optimizar el proceso de manufactura.

1.4 Objetivos.

1.4.1 *Objetivo general.*

Analizar el comportamiento termomecánico de la junta soldada tipo K en el proceso de soldadura aplicada en la fabricación de carrocerías de autobuses interprovinciales mediante un diseño experimental, el cual ayudará a determinar el grado de deformación en dicha junta para garantizar la calidad y seguridad del producto.

1.4.2 *Objetivos específicos.*

- Revisar el estudio del arte de la termofluencia, en libros, normas, artículos científicos para recopilar información que nos ayude con la investigación planteada.
- Determinar el grado de deformación de los elementos que constituyen la junta soldada tipo k, modificando las variables controlables: voltaje, flujo de CO₂ y velocidad de alambre con el fin de encontrar una combinación que disminuya el efecto termomecánico.
- Realizar el ensayo experimental y el análisis con MEF (Método de Elementos Finitos) de la junta soldada, tomando en cuenta las condiciones reales de fabricación, mediante un diseño de experimentos, para comparar los resultados obtenidos de la deformación.
- Inspeccionar el cordón de soldadura mediante los ensayos no destructivos tales como inspección visual y tintan penetrantes, basándonos en la norma AWS D1.1 para verificar la calidad de soldadura en la junta.

1.5 MARCO TEORICO

1.6 Marco Teórico Conceptual

1.6.1 *Historia de la carrocería*

La historia de la carrocería inicio en el año de 1770 donde nacen los primeros modelos de carruajes con un diseño simple en la cual se utilizó la madera como materia prima, después de varias modificaciones y pruebas se diseñó las primeras carrocerías a base de acero y aluminio añadiendo formas curvadas que fueron implementadas en un motor de vapor creado por Nicolás-Joseph Cugnot (1725-1804). Con el transcurso del tiempo se han desarrollado carrocerías con el efecto de absorber los impactos generados en una colisión distribuyendo de mejor manera las deformaciones producidas sin afectar al ocupante.



Figura 1-1: Evolución de la carrocería

Fuente: Alberto Fernández, 2010

1.6.2 *La industria automotriz en el Ecuador*

El sistema Automotriz se ha convertido en uno de los factores económicos más importantes dentro del país debido a que genera grandes ingresos por su alto valor agregado y los componentes tecnológicos usados en la fabricación de automóviles. La industria de metalmecánica es uno de los pilares fundamentales de la cadena productiva del país, según datos del INEC en el 2010 más de 21.000 personas dependen de esta actividad en el Ecuador. *“A nivel global, la importancia de la industria automotriz en las economías nacionales y su papel como propulsor para el desarrollo de otros sectores de alto valor agregado, han provocado que diversos países tengan como uno de sus principales objetivos el desarrollo y/o fortalecimiento de esta industria” (Secretaría de Economía, 2012).*



Figura 2-1: Construcción de la carrocería

Fuente: Autores

La industria automotriz ecuatoriana dio sus inicios en el año de 1970, a continuación, se detalla el año y la cantidad de producción:

- 1973 la producción alcanzo de 144 unidades.
- 1988 la producción sobrepaso las 12.000 unidades.
- 1999 la producción alcanzo las 9.794 unidades debido a la crisis política-económica-social.
- 1988 la producción sobrepaso las 12.000 unidades.
- 2000 la producción ha experimentado una tendencia creciente.
- 2012 la producción cubrió 56.395 unidades
- 2015 la producción disminuyó entre 10% o 12% debido a la crisis del país.
- 2017 la producción alcanzó 2391 unidades. (Revista Perspectiva, 2017).



Producción de vehículos*

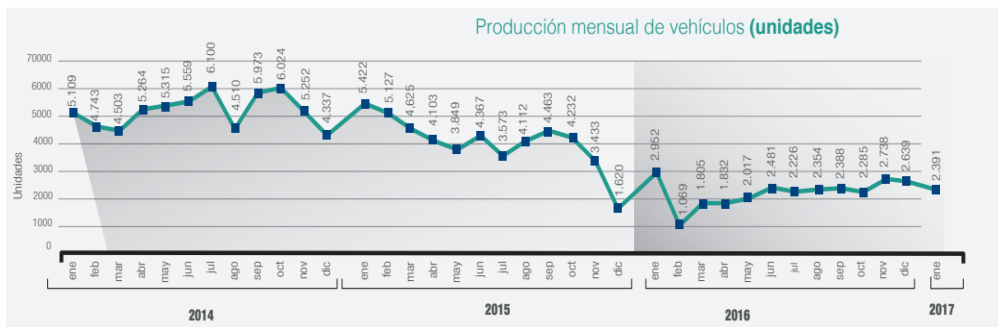


Gráfico 1-1: Producción de Vehículos 2017

Fuente: AEADE Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2017

En nuestro país existen 54 empresas dedicadas a la elaboración de carrocerías de buses urbanos, interprovinciales y escolares que están legalmente certificada por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y de la Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías (CANFAC) (Revista Lideres,2015).

Tabla 1-1: Lista de Empresas carroceras del Ecuador.

LISTA DE EMPRESAS CARROCERAS DEL ECUADOR		
EMPRESA	REPRESENTANTE	CIUDAD
ALME	Sr. Alberto Medina	Ambato
ALTAMIRANO	Sr. Anibal Altamirano	Ambato
ALVARADO	Sr. Fausto Sánchez	Riobamba
AMBATOUR	Sr. Oscar Mayorga	Quito
BUSCARS	Sr. Mario Remache	Guayaquil
CEPEDA	Sra. Tania Cepeda	Ambato
COPSA	Sr. Ernesto Copo	Ambato
CUENCA	Sr. Carlos Zhagui	Ambato
DARWIN CEPEDA	Sr. Darwin Cepeda	Guayaquil
ECUACAR	Sr. José Gagñay	Quito
FIALLOS	Sr. Juan Fiallos	Ambato
GENIUS	Sr. Genaro Landi	Cuenca
IBIMCO	Sr. Geovanny Constante	Ambato
ICEDCA	Sr. Jorge Morales	Guayaquil
IMCE	Sr. Rocio de Cepeda	Ambato
IMETAM	Sr. Luis Mosquera	Quito
IMPA	Sr. Edison Paredes	Ambato

Tabla 2-1 (continua): Lista de Empresas carroceras del Ecuador.

IMPEDSA	Sr. Pedro Santos	Ambato
INMAY	Sr. Froilan Pulgarin	Cuenca
JACOME	Sr. Luis Jácome	Ambato
LEMAN´S	Sr. Enrique Lema	Ambato
LOS ANDES	Sr. David Quirola	Ambato
M&L	Sr. Milton López	Ambato
MANBUSS	Sr. Ángel Manobanda	Ambato
MARIELBUS	Sr. Carlos Paredes	Ambato
MAYORGA	Sr. Raúl Mayorga	Riobamba
MEGABUSS	Sr. Luis Alvarado	Riobamba
MIRAL	Sr. José Miranda	Ambato
MODELO	Sr. Abel Herrera	Santo Domingo
MONCAYO	Sr. Rubén Moncayo	Santo Domingo
OLIMPICA CUENCA	Sr.Darwin Rosales	Cuenca
OLIMPICA QUITO	Sr.Camilo Rosales	Quito
PAPER´S	Sr.Patricio Pérez	Ambato
PATRICIO CEPEDA	Sra. Alejandra Cepeda	Ambato
PEDROTTI	Sra.Elizabethe Pedrotti	Quito
PICOSA	Sra.Fanny Barrionuevo	Ambato
R.GUZMAN	Sr.Rodrigo Guzmán	Cuenca
RODRIGUEZ	Sr.Danilo Rodríguez	Duran
SANTACRUZ	Sr.Fernado Santacruz	Ambato
SANTA GEMA	Sr.Telmo Cedeño	Tosagua
SANABRIA	Sr.Iván Sanabria	Ambato
VIPESA	Sr.Freddy Villa	Cuenca
VARMA	Sr.Santiago Vargas	Ambato
METALICAS PILLAPA	Sr.Anibal Pillapa	Pelileo
PAREGO	Sr.Washington Paredes	Ambato
PEREZ	Sr.Rafael Pérez	Ambato
SOLIS	Sr.Nelson Solis	Ambato

Fuente: SILVA ORTIZ, Paola Karina.

Realizado por: Autores

“En todo el país se producen 127 carrocerías al mes, lo que suma 1.524 unidades al año. De este total, el 65% sale de empresas de Tungurahua. Según un estudio de la Canfac en todo el país cada año se renuevan cerca de 2.200 unidades de transporte de pasajeros. Se estima que al menos el 90% del nuevo parque automotor tiene carrocerías ensambladas en talleres nacionales.” (El Telégrafo, 2017).

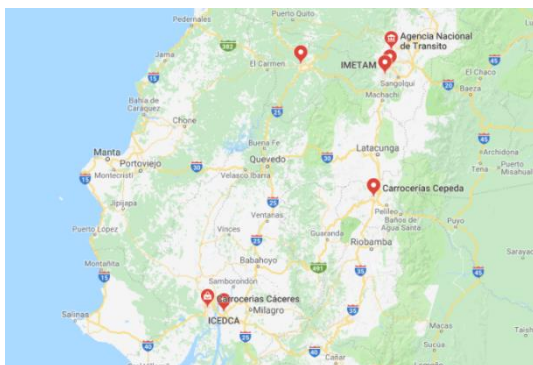


Figura 3-1: Empresas carroceras a nivel nacional
Fuente: (El Telégrafo, 2017).

En el Ecuador existen empresas carroceras entre grandes, medianas y pequeñas las mismas que se encuentran en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura y en otras ciudades a rededor del país, pero la provincia de Tungurahua es la que predomina ya se encuentra 26 empresas dedicadas al sector metalmecánico carrocerero que generaron más de 2.800 puestos de empleo, con un porcentaje de 65% de la producción total por lo que cada año factura alrededor de \$ 80 millones (El Telégrafo, 2017).

1.6.3 *Carrocería Metálicas*

La carrocería es toda la parte estructural que se encuentra sobre el chasis, está destinada a la movilidad de pasajeros o de carga, dependiendo a la utilidad que está asignada. El material que se utiliza para la fabricación de autobuses es el acero por su resistencia, ductilidad y su bajo costo económico en comparación con otros elementos.



Figura 4-1: Carrocería de buses interprovinciales
Fuente: Autores

En el sector automotriz es elemental el diseño de la carrocería con el fin de brindar confort, seguridad, habitabilidad y ergonomía. Hay factores que se debe tomar en cuenta para la construcción como, por ejemplo:

- Dimensiones totales del vehículo
- Dimensiones del habitáculo del piloto
- Dimensiones del cofre del motor
- Coeficiente aerodinámico. (Andrade L. 2012)

1.6.4 *Partes de la Carrocería*

1.6.4.1 *Chasis*

Es la parte interna que proporciona movilidad al bus donde se ubica múltiples elementos mecánicos como el motor, la suspensión de las ruedas y entre otros accesorios. Para su fabricación se utiliza el hierro y aleaciones de acero por su beneficio en cuanto a la rigidez y flexibilidad, en caso de alguna colisión debe absorber las fuerzas de impacto evitando mayores deformaciones.



Figura 5-1: Chasis de un bus Interprovincial

Fuente: Autores

1.6.4.2 *Estructura*

Todo tipo de carrocería está compuesto de un sistema rígido y resistente, apto para absorber y disipar la energía que se deriva de las cargas muertas y carga vivas que se presenta en la estructura a través de uniones resistentes.



Figura 6-1: Estructura de la Carrocería

Fuente: Autores

Tipos de cargas:

Carga muerta:

Se define como una carga constante durante toda la vida útil de la estructura, está relacionada como el peso del material utilizado en la construcción de la carrocería.

Carga Viva

Se define como fuerzas externas no permanentes, estos aspectos se deben tomar en consideración al momento de realizar el diseño de la carrocería siendo las máximas cargas que se espera que ocurra en dicha estructura, su determinación es complicada debido a dos factores:

- 1) La incertidumbre de la magnitud de la carga.
- 2) El punto sobre el que actúa la carga en cualquier instante. Orozco Marco, Velásquez Juan, 2005, pg. 18)

Algunas cargas vivas son:

- Cargas debidas al viento.
- Cargas de ocupación o uso.
- Temperatura y errores de fabricación.

1.6.4.3 *Cubierta Externa*

En la construcción de la carrocería se encuentra la etapa de forrado que se refiere a la colocación la cubierta externa con planchas de acero en la parte lateral derecha e izquierda, faldones y bodegas del autobús.



Figura 7-1: Forrado de la carrocería
Fuente: Autores

1.6.4.4 Instrumentación

Esta etapa se considera la finalización de la construcción de la carrocería que incluye la colocación de asientos, climatización e instrumentos de control. Brindando a los ocupantes el confort al momento de viajar.



Figura 8-1: Instrumentación de la carrocería
Fuente: Autores

1.6.5 Clases de Carrocerías

Existen tres clases de carrocerías:

- Carrocería con chasis Independiente
- Carrocería con chasis plataforma
- Carrocería compacta

1.6.5.1 Carrocería con Chasis Independiente

Este diseño de carrocería es el más antiguo soporta el total de peso de la estructura., está constituida de un chasis que tiene en si un conjunto de sistemas mecánicos que van empernados al chasis.

Tiene las siguientes ventajas:

- Designada al transporte de personas o cargamento
- Designada a recorrer por vías en mal estado

La estructura está formada a por vigas longitudinales o largueros y vigas transversales unidas por medio de remaches, tornillos o soldaduras. (Andrade Lui, Méndez Pablo, 2012, pg. 56)



Figura 9-1: Carrocería con chasis Independiente
Fuente: Autores

1.6.5.2 Carrocería con Chasis Plataforma

Este tipo de carrocería está destinada al diseño de furgonetas y minibuses, ya que el piso está unido al chasis por medio de soldadura, la plataforma soporta todo el conjunto de sistema mecánico.



Figura 10-1: Carrocería con chasis plataforma
Fuente: Autores

Tiene las siguientes ventajas:

- La plataforma es un chasis aligerado.
- Designada a recorrer por vías en mal estado. (Andrade Lui, Méndez Pablo, 2012: pg. 56)

1.6.5.3 Carrocería Compacta

El chasis compacta o autoportante consiste en una estructura construida mediante el ensamblado de chapas metálicas a lo largo de toda la carrocería.



Figura 11-1: Carrocería compacta

Fuente: Autores

Características:

- Ensamblaje de las chapas se realiza mediante soldadura.
- Soldadura dota a la carrocería de gran rigidez.

Este tipo de carrocerías tiene un diseño especial porque se montan los elementos exteriores, como puertas, aletas delanteras y traseras, capós, hasta completar la carrocería del vehículo y los elementos mecánicos (Andrade Lui, Méndez Pablo, 2012: pg. 57).

1.6.6 Soldadura

La soldadura se define como el proceso que une dos tipos de metales por medio de la fusión o la interacción de calor, con o sin aporte de material base. El efecto de soldadura resulta cuando el calor suministrado funde el material y ambos elementos se unen entre sí, hay que tomar en cuenta que la fuerza de adherencia debe ser mayor a la fuerza de cohesión evitando así varios factores que son perjudiciales en una soldadura como por ejemplo la porosidad, falta de fusión, mordedura de borde, que en lo posterior podría causar la ruptura del material (Cristóbal Monroy, 2015).

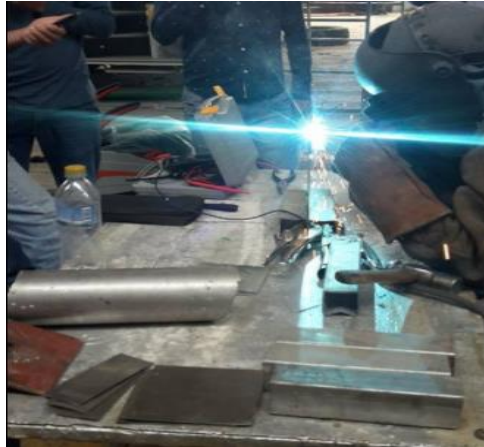


Figura 12-1: Soldadura en carrocería de buses interprovinciales

Fuente: Autores

1.6.6.1 *Origen y Evolución de la Soldadura*

La soldadura fue un arte en la antigua Grecia desde hace tres mil años, pero esta se había practicado durante muchos siglos antes de aquellos días. La soldadura antigua era probablemente un proceso de forja en el que los metales eran calentados a cierta temperatura y unidos a golpe de martillo. La mayoría de los procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías las cuales son soldadura por presión, la cual se realiza sin la aportación de otro material, mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor y soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto con o sin aportación de otro metal (McCormick, 2012, pg. 469).

La soldadura es un procedimiento de conformación metálica que se utiliza cuando los otros procedimientos son imposibles de aplicar. Un ejemplo típico de la soldadura es el ensamblaje de partes de una pieza compleja o de una instalación de una estructura metálica de un edificio, puente, etc. La soldadura, como procedimiento de unión entre elementos metálicos, constituye un procedimiento versátil y aplicable en general a prototipos y pequeñas series (Pere, 1992, pg. 8).

1.6.7 *Ventajas de la soldadura*

Algunas de las ventajas de la soldadura son:

- El uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso de acero a utilizar, por lo tanto, es favorable en el área de la economía.
- Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión (empalme) tan necesarias en las estructuras remachadas o atornilladas, así como la eliminación de las cabezas de remaches o tornillos.

- Las estructuras soldadas son estructuras más rígidas, porque los miembros por lo general están soldados directamente uno a otro.

1.6.8 Soldabilidad

Se conoce por soldabilidad la capacidad con que un metal se puede conformar por soldadura de sus partes, así como la habilidad de la unión soldada para soportar las condiciones de servicio (kortizeg, 2012).

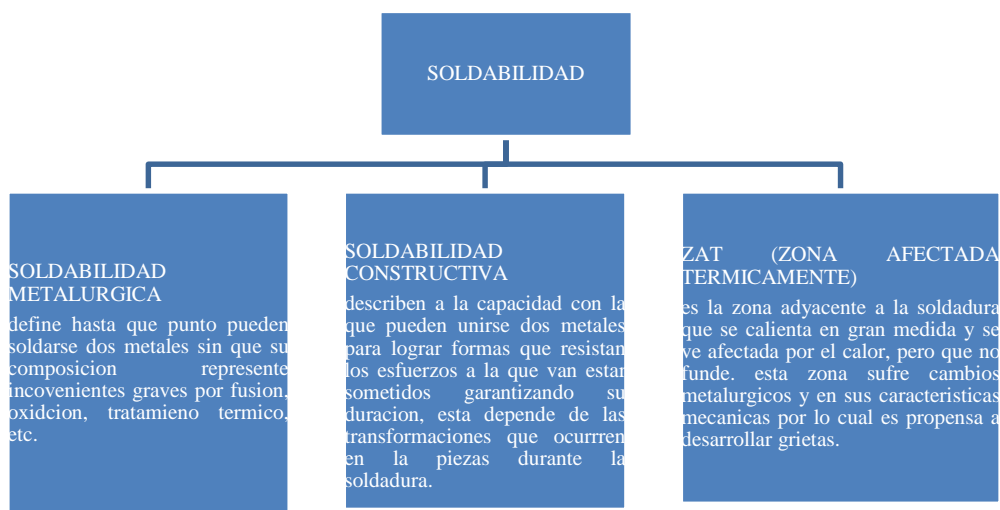


Gráfico 2-1: Tipos de Soldabilidad

Realizado por: Autores, 2018

1.6.9 Aporte Térmico

El aporte térmico es aquel calor aportado para realizar la soldadura durante un proceso de soldeo.

La cual depende de las siguientes variables:

- Tensión e intensidad de soldeo: siendo mayor el aporte térmico cuantos mayores son estas variables.
- La velocidad de soldeo: cuanto menor es la velocidad mayor será la energía aportada.
- El rendimiento térmico es el calor generado por la fuente de energía la cual no es utilizado en su totalidad para realizar la soldadura, una parte se pierde durante el soldeo calentando el aire, gases circundantes y los productos fundentes. Cuanto mayor es el rendimiento térmico menores son las pérdidas calor y cuanto mayor sea el rendimiento del proceso mayor será la energía neta aportada a la unión a soldar. (kortizeg, 2012)

1.6.10 *Dilución*

Es la proporción en la que el metal base, o de soldadura previamente depositado a través de su propia fusión, en la composición química de la zona fundida. Se puede decir que es el porcentaje de metal base fundido e incorporado a la soldadura. En otras palabras, es el peso con que el metal base contribuye a la composición del cordón. La dilución influye, naturalmente, en la composición química del cordón de soldadura y puede calcularse para predecir el contenido de cualquier elemento en el mismo (kortizeg, 2012).

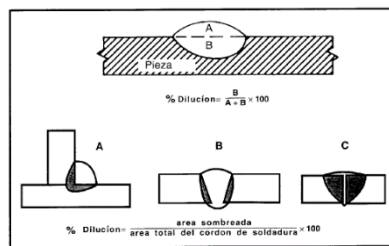


Figura 13-1: Cálculo de la Dilución

Fuente: (kortizeg, 2012)

1.6.11 *Metalurgia de la Soldadura*

En la soldadura habitual, en que tiene lugar la fusión del metal, el calor del sistema de soldar se desarrolla en una zona muy localizada y crea un gradiente elevado de temperatura. Parte del metal a soldar se funde y origina el metal líquido que formará el cordón (Pere, 1992, pg. 8).

La soldadura por fusión crea ciclos de calentamiento y de enfriamiento en el metal base, adyacente al cordón, y los efectos dependerán de la naturaleza del metal soldado y de las condiciones de la operación. El metal del cordón se sobrecalienta siempre algo en todos los procesos; la cantidad de calor que cede al metal adyacente dependerá del proceso, velocidad de calentamiento y conductividad térmica del metal soldado. En la soldadura con arco de electrodo consumible (MIG) realizada con una velocidad menor de producción de calor, se puede alcanzar la misma temperatura en el metal del cordón, pero calentándose menos el metal adyacente (Pere, 1992, pg. 11).

1.6.12 *Características del Cordón de Soldadura*

La aleación del cordón de soldadura puede ajustarse casi siempre a una composición química definida por elección del electrodo y las técnicas de fusión. De esta manera es posible evitar muchos defectos metalúrgicos. La complejidad se encuentra en controlar el metal que se suelda,

puesto que forma parte de una estructura y se selecciona para que tenga las propiedades mecánicas adecuadas y no para que sea idealmente adecuado para la soldadura (Pere, 1992, pg. 12).

Al soldar, mientras el metal del cordón permanece en estado líquido, disuelve gases en cantidad mayor de los que puede mantener cuando solidifica, por lo que se produce un desprendimiento gaseoso. Si la solidificación es rápida, algunas burbujas quedan atrapadas en el cordón formando sopladuras. Este problema es muy parecido al de la formación de sopladuras en las piezas moldeadas, pero se diferencia de él en dos aspectos importantes:

- a) El calentamiento y el enfriamiento son mucho más rápidos que en la fabricación de piezas moldeadas, ya que el metal a unir actúa de “molde” metálico y, por tanto, con gran velocidad de enfriamiento.
- b) Se pueden controlar bastante bien la atmósfera de la región de la soldadura y la escoria que se forma sobre el cordón ajustando la naturaleza del revestimiento del electrodo (Pere, 1992, pg. 12).

1.6.13 Clasificación de Soldadura

Existe varios procesos de soldadura para las diferentes aplicaciones debido a que las propiedades de los materiales son distintos, la soldadura por arco es uno de varios procesos de fusión para la unión de metales, mediante la aplicación de calor intenso el metal en la unión entre las dos partes se funde y se entremezclan directamente, Tras el enfriamiento y la solidificación, se crea una unión metalúrgica. Puesto que la unión es una mezcla de metales, la soldadura final, potencialmente tiene las mismas propiedades de resistencia como el metal de las piezas.

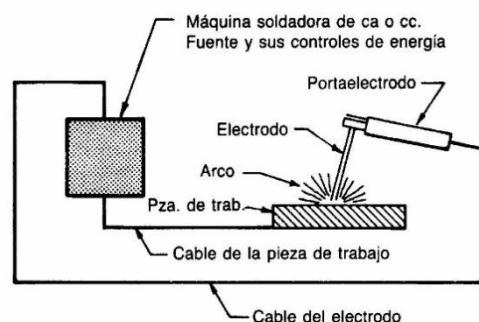


Figura 14-1: Componentes básicos de la soldadura por arco

Fuente: (De Máquinas y Herramientas, 2016)

En la soldadura por arco, el intenso calor necesario para fundir el metal es producido por un arco eléctrico. El arco se forma entre el trabajo actual y un electrodo (recubierto o alambre) que es manual o mecánicamente guiado a lo largo la junta. El electrodo es una varilla con el simple propósito de transportar la corriente entre la punta y el trabajo. O puede ser una varilla o alambre

especialmente preparado que no solo conduce la corriente, sino también se funde y suministra metal de relleno a la unión. La mayor parte de la soldadura en la fabricación de productos de acero utiliza el segundo tipo de electrodo. A continuación, se presenta la clasificación del proceso de soldadura por arco eléctrico.



Figura 15-1: Proceso de Soldadura por arco eléctrico

Fuente: (Salvador Bravo Vargas, 2015)

1.6.14 *Junta soldada*

Para cada tipo de junta se aplica varios tipos de soldadura dependiendo del diseño y su aplicación, existen cinco uniones soldadas elementales utilizadas en la soldadura de metales:

- Tipo Tope: Es uno de los tipos más comunes en la soldadura, se trata de acoplar dos metales entre sus extremos (Andrés Marín, 2016).

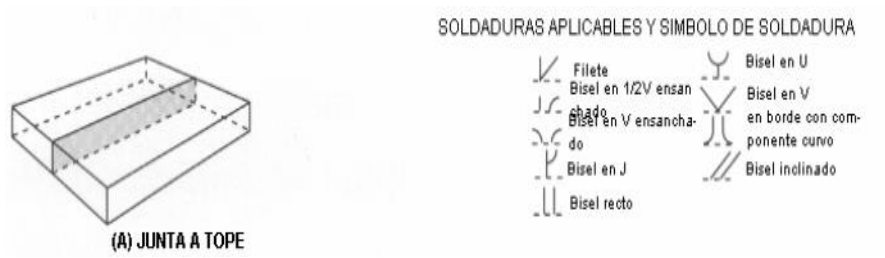


Figura 16-1: Junta Tipo Tope y la soldadura aplicable

Fuente: Ingeniería, Geometría de las Juntas Soldadas y Simbología

- Tipo L: Es la unión entre dos miembros formando un ángulo de 90° (Andrés Marín, 2016).



Figura 17-1: Junta Tipo L y la soldadura aplicable

Fuente: Ingeniería, Geometría de las Juntas Soldadas Y Simbología

- Tipo T: Este tipo de junta forma una T, la misma que une los dos miembros formando un ángulo de 90° (Andrés Marín, 2016).



Figura 18-1: Junta Tipo T y la soldadura aplicable.

Fuente: Ingeniería, Geometría de las Juntas Soldadas Y Simbología

- Tipo solapada: Es la unión superpuesta entre sí, dándole una forma singular a la soldadura (Andrés Marín, 2016).

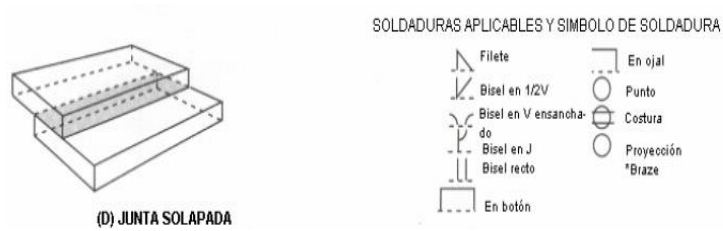


Figura 19-1: Junta solapada y la soldadura aplicable

Fuente: Ingeniería, Geometría de las Juntas Soldadas Y Simbología

- Tipo en Borde: Es la unión de cada uno de los bordes de los dos elementos de forma paralelo (Andrés Marín, 2016).

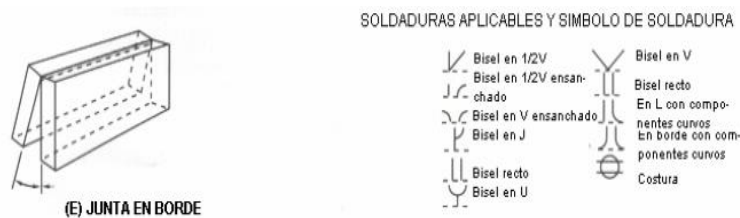


Figura 20-1: Junta en Borde y la soldadura aplicable.

Fuente: Ingeniería, Geometría de las Juntas Soldadas Y Simbología

Es necesario identificar variables que describan exactamente el diseño de junta requerido. La nomenclatura utilizada es:

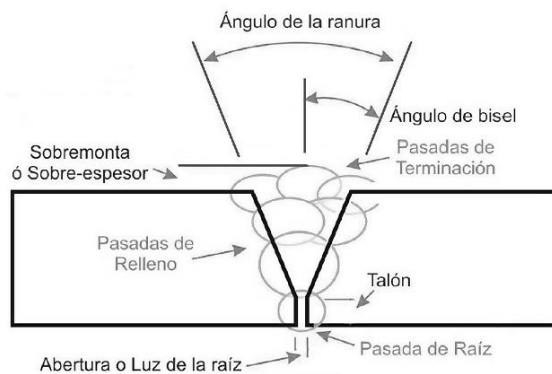


Figura 21-1: Nomenclatura de la junta soldada

Fuente: Terminología de juntas

- Abertura de raíz
- Pasada de raíz

- Sobremonta
- Talón
- Pasada de relleno
- Ángulo de ranura
- Pasada de Terminación
- Ángulos de bisel (Andrés Marín, 2016).

1.6.15 *Perfiles utilizados en la construcción de la carrocería de autobuses*

La resistencia y capacidad de absorción de energía de una carrocería depende, fundamentalmente, de los materiales con los que se fabrique en general el acero y la chapa de acero, aunque últimamente se utiliza aluminio, y su forma más o menos compleja que marcará su capacidad para soportar cargas. Cada material tiene propiedades mecánicas y químicas determinadas, que le harán idóneo para una función concreta, dependiendo del tipo de sollicitaciones a que se encuentre sometido (Andrade, 2012, pg. 66).

1.6.16 *Acero ASTM A-500 grado A*

Es un tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal. Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares, son utilizadas en estructuras livianas y pesadas, carrocerías, tijerales postes. Posee una longitud de 6m y un recubrimiento con zinc. Este acero estructural posee 3 grados, el grado más común tiene un esfuerzo de fluencia y una resistencia de ruptura a la tensión de 46 y 58 ksi (320 MPa o 3 200 kg/cm² y 405 MPa o 4 100 kg/cm²) (Aceros Arequipa, 2014). La composición química del acero ASTM A-500 grado A se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Composición Química del Acero ASTM 500 grado A

Elementos del material	Cantidad %
Carbono, C	0.30
Cobre, Cu	0.18
Hierro, Fe	99.0
Fosforo, P	0.050
Azufre, S	0.00630

Fuente: ASTM A500 Steel, grade A, Round Structural Tubing

Realizado por: Autores, 2018

1.6.16.1 *Ventajas del Acero Estructural*

Alta resistencia: La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras (Andrade Alex, Jaramillo Guido, 2009: pg. 50).

Elasticidad: El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos (Andrade Alex, Jaramillo Guido, 2009: pg. 50).

Durabilidad: si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durarán indefinidamente (Andrade Alex, Jaramillo Guido, 2009, pg. 50).

Ductilidad: La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura.

En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras (Andrade Alex, Jaramillo Guido, 2009: pg. 50).

Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su formación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. (Andrade Alex, Jaramillo Guido, 2009: pg. 50)

1.6.17 *Soldadura en perfiles tubulares*

El proceso de soldadura empleado por la mayoría de empresa carroceras para la unión de los diferentes elementos de la estructura es el proceso de soldadura, GMAW (Gas Metal Arc Welding), es el único que puede soldar todos los metales y aleaciones comerciales, emplea un gas de protección que puede ser activo (MAG, metal active gas CO₂) o inerte (MIG, metal inerte gas Ar y He). La función principal del gas es proteger el charco de soldadura de la atmosfera, ayudar a estabilizar el arco, regular la penetración y mejorar las propiedades mecánicas del metal de soldadura (Hatytit Hernández, 2013).

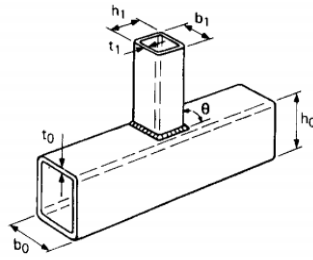


Figura 22-1: Soldadura en Perfiles Tubulares
Fuente: José Pérez, 2011

Para realizar la unión de perfil tubular se lo desarrolla por medio de una soldadura, las mismas que son detalladas a continuación:

- Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW).
 - Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW).
 - Soldadura por arco metálico y gas (GMAW).

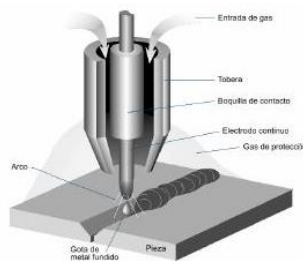


Figura 23-1: Soldadura GMAW
Fuente: The Lincoln Electric, Company, new lessons Arc Welding

1.6.17.1 Soldadura SMAW

Sus siglas en Inglés shielded metal Arc welding es un proceso en la que el material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo produciendo coalescencia de metales. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida (Adam, 2015).

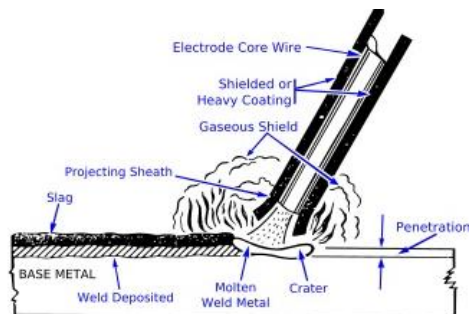


Figura 24-1: Soldadura SMAW
Fuente: <http://www.ceti.cl/blog/procesos-y-definiciones-smaw/>

1.6.17.2 Soldadura FCAW

Sus siglas en Inglés sus siglas significan Flux Corred Arc Welding es un proceso en la cual se utiliza un núcleo fundente, es decir el flux interior que aporta a la estabilización del arco, el ajuste de la composición química de la soldadura introduciendo elementos de aleación y la protección por medio de los humos y la escoria entre otros. El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco de metal protegido (SMAW), la soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW) (Marín Andres, 2016).

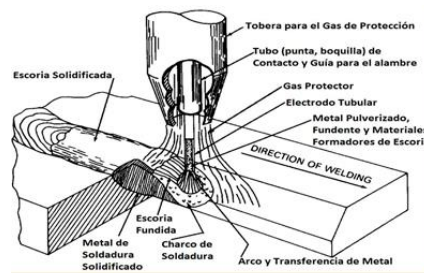


Figura 25-1: Soldadura FCAW

Fuente: <http://www.ceti.cl/blog/procesos-y-definiciones-fcaw/>

1.6.17.3 Soldadura GMAW

La soldadura por arco de metal y gas (Gas Metal Arc Welding (GMAW o MIG)) es un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente y sin aplicación de presión (Benito Mareiro, 2013).

Ventajas de la soldadura MIG/MAG (GMAW)

- Las ventajas de la soldadura GMAW a comparación de la convencional por arco con electrodo son varias. Los fabricantes de automóviles, las compañías de seguros, y órganos dependientes del Ministerio de Industria requieren o recomiendan que se use este proceso en casi todas las reparaciones de soldaduras (Benito Mareiro, 2013).
- Es fácil de aprender. El soldador puede aprender a utilizar el equipo de soldadura GMAW con pocas horas de instrucción y práctica. Puede que se necesite más tiempo para dominar los ajustes del equipo.
- Puede producir soldaduras de mejor calidad, más rápidamente y con más consistencia que las convencionales de electrodo recubierto.
- Se puede utilizar baja corriente para soldar metales finos.

- Las altas velocidades de soldadura y las bajas corrientes evitan que las áreas adyacentes se dañen debido al calor con pérdida de resistencia y alabeo.
- Casi todas las carrocerías de automóviles fabricadas con acero se pueden soldar con el sistema GMAW, con un tipo común de hilo para soldar.
- Con GMAW se pueden soldar metales de diferentes espesores utilizando el mismo diámetro de hilo

Dependiendo de la posición y de la movilidad de los elementos estructurales, se muestran a continuación tres posiciones para soldar en nudos de perfiles tubulares estructurales, junto con las secuencias de soldadura.

Soldadura vertical ascendente de 180°: Todas las soldaduras se hacen en la parte superior y después el panel gira sobre sí mismo 180° para completar la operación.

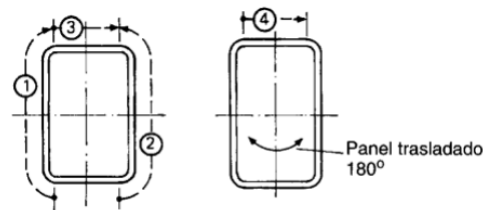


Figura 26-1: Soldadura vertical 180 °
Fuente: Jose Perez, 2011

- Soldadura vertical ascendente: Esta posición sólo es válida cuando los perfiles tubulares no se pueden mover.

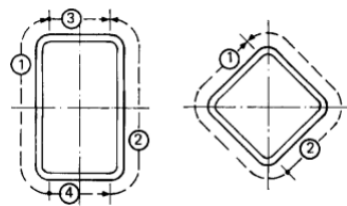


Figura 27-1: Soldadura vertical ascendente
Fuente: José Pérez, 2011

- Soldadura horizontal Esta posición es necesaria cuando las barras están en posición vertical y no se pueden mover. Si las barras se encuentran en posición horizontal, las soldaduras se hacen en posición vertical.

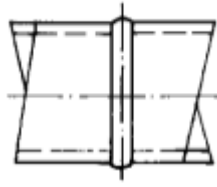


Figura 28-1: Soldadura Horizontal
Fuente: José Pérez, 2011

El punteado de la soldadura es una soldadura corta hecha para la unión preliminar de las barras de perfil tubular de una estructura, obteniendo una sujeción temporal previa a la soldadura definitiva del montaje. El espesor de la garganta del punteado de soldadura tiene que estar de acuerdo con la posición de la raíz.

1.6.18 *Tratamiento Térmico Previo y Posterior de Perfiles Tubulares*



Figura 29-1: Soldadura en perfiles rectangulares
Fuente: Autores, 2018

En general, la baja temperatura ambiente y una atmósfera húmeda, así como el uso de perfiles tubulares de pared gruesa pueden dar lugar a un estado crítico además de provocar fisuras por enfriado. Esto se puede prevenir de forma efectiva precalentando la pieza entre 50°C y 200°C, dependiendo del tipo de acero.

La temperatura de precalentamiento se determina basándose en el contenido de carbono equivalente CEV, la intensidad de corriente de soldadura, el voltaje y la velocidad, el espesor de la pieza, el tipo de soldadura y el contenido de hidrógeno en los electrodos. Para los aceros estructurales sin alear S235, S275 y S355, generalmente no se necesita precalentamiento. Sin embargo, se recomienda para una temperatura ambiente inferior a + 5°C y para espesores de pared ≥ 30 mm.

El tratamiento térmico después del soldeo se basa en calentar las piezas hasta una cierta temperatura y enfriarlas según se establezca.

Los objetivos del tratamiento térmico después del soldeo son:

- Disminuir el nivel de tensiones residuales que se han podido obtener durante el soldeo, en este caso se suele denominar tratamiento de alivio de tensiones y basarse en calentamiento y enfriamiento lento.
- Mejorar alguna propiedad o característica de la soldadura o de la ZAT que haya podido quedar afectada durante el soldeo.

1.6.19 *Fatiga Térmica*

La fatiga térmica es el producto de variaciones de temperatura a comparación de la fatiga a temperaturas elevadas que es causada por ciclos de deformaciones. Son necesarias dos condiciones para este fenómeno ocurra, son la existencia de una forma de contracción mecánica y cambios de temperatura (Gustavo Flores, 2015, pg. 24).

El cambio de temperatura induce una expansión térmica en el material:

$$\varepsilon_T = \alpha \Delta T \quad (1)$$

Donde:

ΔT = cambio de temperatura que causa la expansion termica [K]

α = Coeficiente de expansion lineal [K^{-1}]

ε_T = Expansion termica [mm/mm]

Si la expansión es obstaculizada, se producen esfuerzos térmicos cuya magnitud es tal que es como si se aplicara un esfuerzo externo.

Los esfuerzos térmicos pueden producirse por restricciones internas o externas:

- Las restricciones internas son causadas por una distribución no uniforme de la temperatura o por propiedades no homogéneas del material. Se habla de esfuerzo térmico puro o esfuerzo térmico si la carga es causada por estas restricciones.
- Si los esfuerzos son causados por restricciones externas se habla de esfuerzos termomecánico (Gustavo Flores, 2015, pg. 25).

Si la carga de fatiga se origina solamente por cargas térmicas cíclicas y el esfuerzo mayor coincide con la temperatura mayor se dice que la carga está en fase y fuera de fase si la temperatura más elevada coincide con el esfuerzo menor, como se muestra en la fig.2-32.

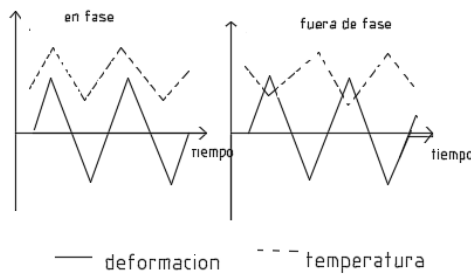


Figura 30-1: Ilustración esquemática de una carga térmica cíclica.
Fuente: Dr. I. Virkkunen; Helsinki.

1.6.20 *Esfuerzos Residuales macroscópicos y microscópicos*

Los esfuerzos residuales son aquellos que existirían en un cuerpo si todas las cargas externas fueran removidas. Los esfuerzos residuales también ocurren cuando un cuerpo es sometido a cambios de temperatura no uniforme a estos esfuerzos se los denomina esfuerzos térmicos.

Las áreas en las cuales los esfuerzos residuales pueden existir varían ampliamente en escala, desde una gran porción de una estructura metálica hasta áreas medibles únicamente a escala atómica. La figura 2-32 muestra esfuerzos residuales macroscópicos en diferentes escalas. Cuando una estructura es calentada por radiación solar desde un lado, se producen en toda la estructura distorsión térmica y esfuerzos térmicos como se muestra en la figura 2-32 (a). La figura 2-32 (c) muestra como los esfuerzos residuales producidos por pulido son altamente localizados en una delgada capa cercana a la superficie (Álvaro Ospina, 1996, pg. 24).

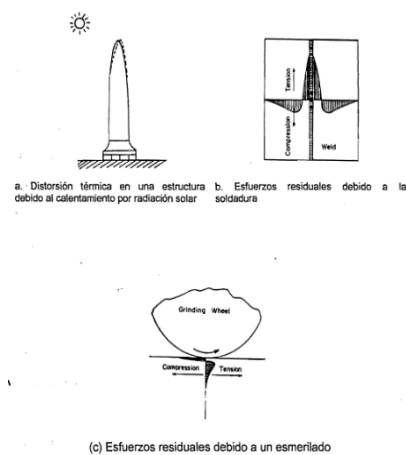


Figura 31-1: Esfuerzos residuales macroscópicos..
Fuente: Ospina A. 1996

1.6.21 Esfuerzos Térmicos Durante la Soldadura y Como se Producen

En la figura 32-1 (b), se muestran esquemáticamente los cambios de temperatura y los esfuerzos resultantes que ocurren durante la soldadura. Un cordón sobre la platina está siendo depositado a lo largo del eje X. El arco de soldadura, el cual se desplaza a una velocidad V, está localizado en el origen 0, como se muestra en la figura 32-1 (a) (Nicolás Farfán, 2010, pg. 9).

La figura 33-1 (b) muestra la distribución de temperatura a lo largo de algunas secciones transversales. A lo largo de la sección A-A, la cual está delante del arco, el cambio de temperatura debido a la soldadura ΔT es siempre cero. A lo largo de la sección B-B, la cual cruza el arco, el cambio en la temperatura es extremadamente rápido y su distribución es muy irregular. A lo largo de la sección C-C, la cual esta alguna distancia detrás del arco, la distribución del cambio de temperatura es como se muestra en la figura 33-1 (b). A lo largo de la sección D-D, la cual está muy lejos del arco, el cambio de temperatura debido a la soldadura disminuye otra vez (Nicolás Farfán, 2010, pg. 9).

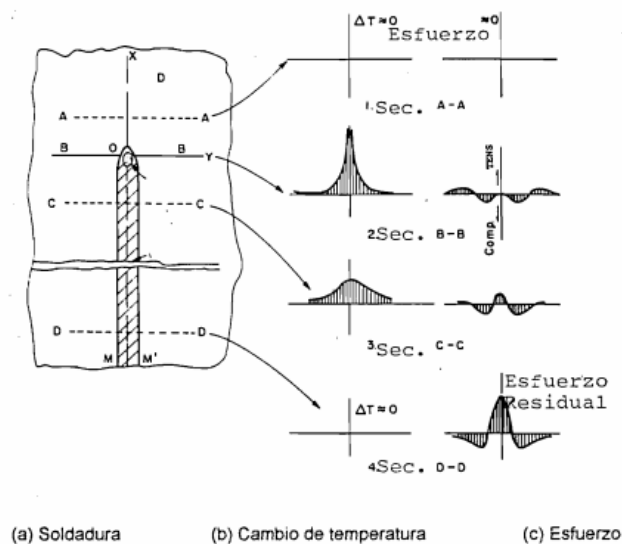


Figura 32-1: Cambios de temperatura y esfuerzos durante la soldadura.
Fuente: Ospina A. 1996

La figura 33-1(c) muestra la distribución de esfuerzos a lo largo de esas secciones en la dirección x, σ_x y en la dirección y, σ_y . También existen en un campo de esfuerzos bidimensional esfuerzos cortantes, σ_{xy} (Nicolás Farfán, 2010, pg. 9).

Para realizar la simulación de deflexiones y esfuerzos residuales en juntas soldadas se debe considerar primeramente la dilatación térmica, además, del coeficiente de dilatación térmica lineal, también existe un coeficiente de dilatación volumétrica. Este coeficiente es 3 veces el coeficiente de dilatación térmica lineal. La distribución de temperatura de un proceso de soldadura

desempeña un papel fundamental en el estudio de las deformaciones de un elemento soldada, seguidamente dichas deformaciones causan deflexión y esfuerzos térmicos. Considerando el caso de una placa plana uniforme, al realizar un embridamiento de la misma en sus extremos para evitar la dilatación longitudinal, y luego durante la realización de un proceso de soldadura, la temperatura aumenta y como consecuencia se produce una deflexión de la pieza en dirección vertical, lo cual genera esfuerzos residuales de compresión por gradiente térmico en dicha pieza debido a la dilatación térmica ocasionada por la alta temperatura del proceso de soldadura (Ríos R., 2015). Para el caso de esfuerzos por gradiente térmicos, la ecuación matemática que describe el fenómeno se presenta en la ecuación:

$$\sigma_t = -\frac{\alpha \cdot \Delta T \cdot E}{1-\nu} \quad (2)$$

donde:

σ_t : Esfuerzos por gradiente térmico, Pa;

α : Coeficiente de dilatación termica, $1 / ^\circ\text{C}$;

E: Módulo de elasticidad del metal, Pa; y

ν : Coeficiente de Poisson del material, mm/mm.

1.6.22 *Energía de Aportación en un Proceso de Soldadura*

Se refiere al flujo de calor que se genera durante el proceso de soldadura. Esta energía, comúnmente llamada Energía Bruta Aportada (EBA) se expresa en función de los parámetros del arco eléctrico de la soldadura en unidades de Joule (J), la cual se presenta en la ecuación 3 (Manuel Reina, 2003 pg. 3).

$$EBA = U * I * t \quad (3)$$

Donde:

U: Voltaje de soldadura, V;

I: Corriente del arco, A;

t: Tiempo de fusión del electrodo durante el cual se aporta calor a la pieza, s.

Si se expresa la EBA por unidad de longitud de soldadura, J/cm; la ecuación resultante se presenta en la ecuación anterior se obtiene:

$$EBA = \frac{60 * U * I}{v} \quad (4)$$

Donde:

v: Velocidad de avance de la soldadura, cm/min.

En la siguiente tabla se presenta los intervalos de valores de la EBA para algunos procesos de soldadura por arco.

Tabla 4-1: Intervalo de valores de EBA para algunos procesos de soldadura por arco

PROCESO DE SOLDADURA	EBA. KJ/m
Soldadura Eléctrica con Electrodo Revestido (SMAW)	500-3000
Soldadura por Arco de Tungsteno y Protección Gaseosa (GTAW)	300-2000
Soldadura por Arco con Protección Gaseosa (GMAW)	500-3000

Realizado por: Autores

Fuente: Ríos Raúl, 2015

No obstante, la Energía Neta Aportada (ENA) que recibe la pieza durante la operación de soldadura se expresa mediante la ecuación siguiente:

Donde:

$$ENA = n_p * EBA \quad (5)$$

n_p : Rendimiento del proceso de soldadura.

Normalmente los intervalos de rendimiento varían según el proceso de soldadura. En la Tabla 2-4, se presentan los rendimientos de algunos procesos de soldadura por arco.

Tabla 5-1: Rendimiento de algunos procesos de soldadura por arco

Proceso	n_p
Soldadura Eléctrica con Electrodo Revestido (SMAW)	0.75-0.80
--Soldadura por Arco con Protección Gaseosa (GMAW)	MIG 0.70/0.90MAG
Soldadura por Arco de Tungsteno y Protección Gaseosa (GTAW)	0.65

Realizado por: Autores, 2018

Fuente: Modulo 093 Soldadura en atmosfera natural

1.6.23 *Análisis de las Deformaciones en las uniones soldadas*

En el proceso de soldadura ocurren diferentes fenómenos físicos como consecuencias de las interacciones de los campos térmicos que producen deformaciones mecánicas y cambio al estado microestructural. La formación de esfuerzos residuales y distorsiones en la soldadura depende de factores que se encuentran interrelacionados tales como propiedades del material, campo térmico, condiciones de borde, tipo de soldadura y condiciones de soldadura (Borja M.).

Los problemas de transmisión del calor aparecen en numerosas aplicaciones en ingeniería civil, mecánica, química, eléctrica, aeronáutica, entre otros. La solución analítica de estos problemas es imposible, a excepción de algunos sencillos casos unidimensionales y bidimensionales de interés meramente académico (Borja M.).

En el artículo presentado por (Araque O., Arzola N., 2013) manifiesta que la utilización de los métodos de análisis numérico, especialmente de elementos finitos, ha sido de gran contribución para realizar este tipo de análisis así también de la comprensión de la vida residual y la integridad

estructural de uniones soldadas con presencia de un campo de esfuerzos residuales bajo cargas cíclicas, presencia de defectos y concentraciones de esfuerzos geométricos en los materiales fusionados.

Cuando en la pieza de trabajo se producen deformaciones no uniformes a lo largo del elemento, causadas por procesos de fabricación o condiciones de servicio, esta desarrolla esfuerzos residuales. Estos son esfuerzos que permanecen en el material en ausencia de cargas externas. Así, en el caso de los esfuerzos residuales producidos por gradientes térmicos, se desarrollan procesos de expansiones y contracciones locales que generan deformación no uniforme. Siempre que se realice la unión de dos piezas mediante soldadura, el cordón de soldadura y una zona contigua están sometidos a esfuerzos de tracción longitudinal de un valor elevado, estando a esfuerzos de compresión el resto de la pieza según se presenta en la Fig. 33-1. Los esfuerzos, especialmente los esfuerzos de tracción favorecen la aparición de discontinuidades y la generación de fisuras. (Ríos R., 2015 pg. 27). Para el cálculo de los esfuerzos residuales, se debe tomar en consideración el ciclo completo de carga y descarga del elemento (en el caso de soldadura, el ciclo térmico) como una superposición de una carga positiva (acción de carga) sobre una carga negativa (acción de descarga) (Ríos R., 2015).

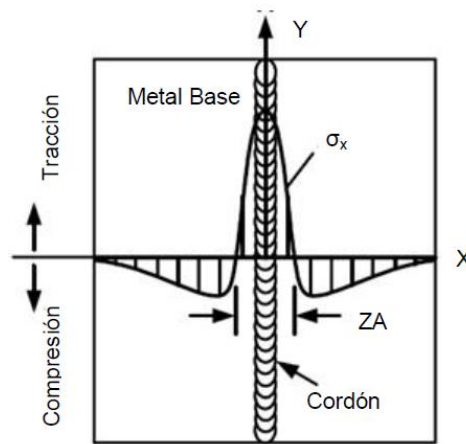


Figura 33-1: Distribución de esfuerzos residuales en la soldadura
Fuente: Raúl Ríos, 2015

Normalmente los esfuerzos residuales se pueden determinar numéricamente mediante el método de los elementos finitos a través de la utilización de algún software. El planteamiento de un modelo matemático es algo complejo por lo cual se va a realizar una introducción de los conceptos que se tomara en cuenta para el proceso de soldadura mediante elementos finitos. A continuación, se presenta un planteamiento matemático básico del cálculo de los perfiles térmicos y deformaciones de una junta soldada. Existe una relación directa entre las deformaciones y el cambio de temperatura en la junta, traducida directamente en dilatación térmica (Raúl Ríos, 2015).

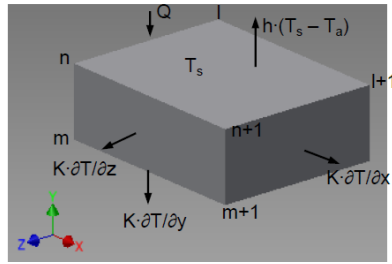


Figura 34-1: Malla tridimensional de elementos finitos.
Fuente: Raúl Ríos, 2015

En el modelo únicamente se considera los procesos de transferencia de calor por conducción y convección, por lo cual la relación matemática que se utilizará durante el calentamiento de la junta es la ecuación que se presenta a continuación:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K * \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K * \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K * \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q + h(T_s - T_a) = 0 \quad (6)$$

Donde:

Q: Flujo de calor aportado por el equipo de soldadura o ENA, KW.

h: Coeficiente de convección con el ambiente, W/m² K.

Ts: Temperatura de la superficie del volumen de control, K.

Ta: Temperatura del ambiente, K.

La resolución de esta ecuación diferencial se lleva a cabo utilizando las condiciones de frontera de cada uno de los nodos del elemento tridimensional de malla.

1.6.24 Ecuaciones Básicas utilizadas en la simulación del Proceso de Soldadura

Para esta simulación se emplea un software especialmente enfocados a la aplicación de la soldadura que se análisis por el método de elemento finito, por medio de este programa se analiza el cambio de deformación ocurrido en el proceso de soldadura (Islam M. et al. 2014, pg. 55).

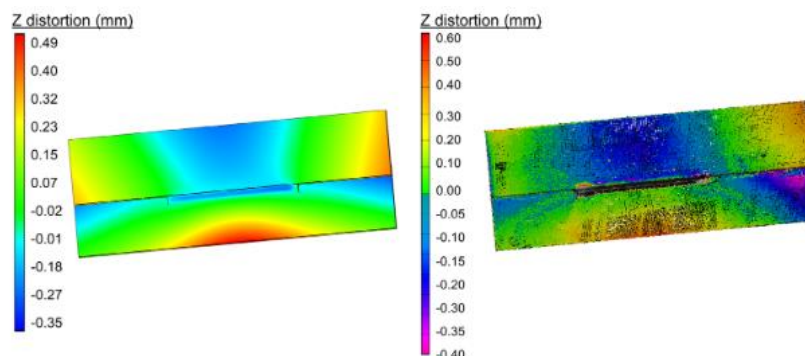


Figura 35-1: Análisis térmico de la soldadura
Fuente: M. Islam, A. Buijk b, M. Rais-Rohani, K. Motoyama, 2014

1.6.24.1 Ecuaciones del Análisis Termomecánico de la soldadura

La ecuación en la que se basa para la simulación es la conservación de la energía que ayuda en el análisis térmico en la soldadura. El análisis de la temperatura en cada nodo se calcula mediante la conducción de calor transitoria que varía en el intervalo de tiempo (Islam M. et al. 2014, pg. 56).

$$\rho \cdot cp \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = Q + \nabla \cdot q \quad (7)$$

La ecuación del flujo del calor en la que se basan los programas para realizar el análisis térmico de una soldadura se expresa de la siguiente manera:

$$\rho(T) \cdot cp(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = Q + \frac{\partial}{\partial x} \left[Kx(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[Ky(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[Kz(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = Q + \frac{\partial}{\partial x} \left[Kx(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[Ky(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[Kz(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (9)$$

Simbología	Magnitud	Unidad
P	densidad del material	g/mm^3
Cp	capacidad calorífica	$J/g \cdot ^\circ C$
T	Temperatura	$^\circ C$
Q	flujo de calor	W/mm^2
Q	Tasa de generación de calor por unidad de volumen.	W/mm^3
∇	Operación de gradiente espacial	$\partial / \partial x; \partial / \partial y; \partial / \partial z.$
T	Tiempo	s
H	Entalpia específica	KJ/Kg
Kx, Ky, Kz	coeficientes de conductividad térmica en las tres direcciones	$\frac{J}{m \cdot s \cdot ^\circ C}$

1.6.24.2 Modelo de fuente de calor de doble elipsoide

El modelo de fuente de calor de doble elipsoide fue gracias a la investigación realiza por Goldak, quién propuso uno de los modelos matemáticos universales que se aplica en la simulación de las soldaduras. Este modelo está establecido por las dos partes, la primera parte que está constituida desde la mitad hacia la parte frontal que constituye desde el eje “x” hacia el eje “z” negativo

ubicada dentro de la fuente elipsoidal y la segunda parte que constituye desde la parte mitad hacia el posterior que constituye desde el eje “x” hacia el eje “z” positivo dentro de dicha fuente (Morejón J. et al.2011, pg. 257).

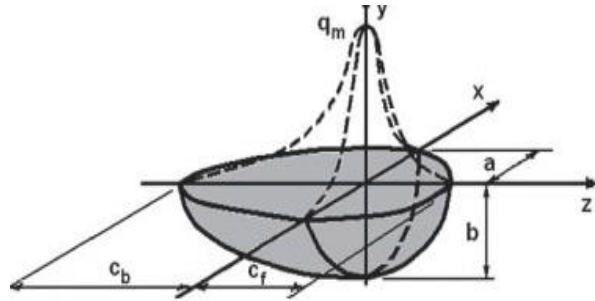


Figura 36-1: Modelo de fuente de calor de doble elipse

Fuente: Juan A. Pozo-Morejón, Pablo E. Quintero-Acosta, Amado Cruz-Crespo, Eduardo Díaz-Cedré, 2011

La ecuación de la densidad de potencia térmica que se define como la cantidad de calor que emana de un volumen calentada (Morejón J. et al.2011, pg. 257).

$$q(x, y, z) = \frac{W}{m^3} \quad (10)$$

A continuación, se representa dicha ecuación para los distintos puntos que se encuentran ubicados dentro del margen del cuadrante frontal del elipsoide en el sistema de coordenadas cartesiano:

$$q(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}.rf.P}{a.b.c_f.\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2} - \frac{3y^2}{b^2} - \frac{3z^2}{c_f^2}\right) \quad (11)$$

La ecuación para los puntos que se encuentra en la parte posterior del cuadrante elipsoide es:

$$q(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}.rb.P}{a.b.c_b.\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2} - \frac{3y^2}{b^2} - \frac{3z^2}{c_b^2}\right) \quad (12)$$

Donde:

<i>Simbología</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>
a	Semiancho de la zona fundida	m
b	Penetración	m
c_f	Largo frontal de la zona fundida	m
c_b	Largo posterior de la zona fundida	m
rf	coeficientes de la fracción de aporte del calor en la parte frontal de la fuente	

r_b	coeficientes de la fracción de aporte del calor en la parte posterior de la fuente	-
P	Es la entrada potencia que se determina a partir de la corriente de entrada, el voltaje de arco y el arco eficiencia.	-
x, y, z	coordenadas sobre cada eje del punto de interés dentro del elipsoide respecto a su centro	$\frac{W}{m}$

Se toma en consideración que las variables r_f y r_b representa las fracciones de aporte de calor tanto en la parte frontal como el posterior respectivamente, y la suma de las dos variables es igual a 2 (Morejón J. et al.2011, pg. 257).

$$r_f = \frac{2c_f}{(c_f+c_b)} \quad (13)$$

$$r_b = \frac{2c_b}{(c_f+c_b)} \quad (14)$$

El calor se determina por medio de la siguiente expresión:

$$Q = \eta \cdot I \cdot V \quad (15)$$

Donde:

<i>Simbología</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>
η	eficiencia térmica de la fuente de calor	-
V	voltaje de arco	V
I	corriente de soldadura	A

1.6.25 *Movimiento del modelo de fuente de calor y su expresión matemática*

En los modelos de elementos finitos que simulan un proceso de soldeo existe un sistema de coordenadas cartesiano fijo global (X, Y, Z) y se declara un sistema móvil (x, y, z) que se encuentra ubicado en el centro de la fuente de calor y que se desplaza (Morejón J. et al.2011, pg. 259).

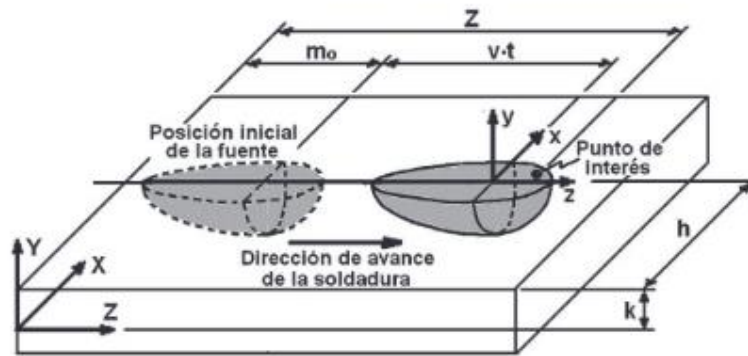


Figura 37-1: Sistema de coordenadas empleados en la modelación
 Fuente: Juan A. Pozo-Morejón, Pablo E. Quintero-Acosta, Amado Cruz-Crespo, Eduardo Díaz-Cedré, 2011

El punto de interés en este caso está en dirección paralela al eje z, y el modelo de fuente se expresa de la siguiente manera:

$$q(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}.rf.Q}{a.b.c.f.\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3(X-h)^2}{a^2} - \frac{3(Y-k)^2}{b^2} - \frac{3(Z-m_0-vt)^2}{c_b^2}\right) \quad (16)$$

Donde

<i>Simbología</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>
<i>t</i>	Tiempo transcurrido	s
<i>h</i>	Distancia sobre el eje “X” entre el origen del sistema de coordenadas fijo y el móvil que se desplaza con la fuente.	<i>m</i>
<i>k</i>	Distancia sobre el eje “Y” entre el origen del sistema de coordenadas fijo y el móvil que se desplaza con la fuente.	<i>W</i>
<i>V</i>	Velocidad de la soldadura	<i>m/s</i>
<i>m₀</i>	Define la posición del centro de la fuente	<i>m</i>
X, Y, Z	coordenadas del punto de interés dentro del elipsoide	<i>m</i>

1.6.26 *Establecimiento de los Procedimientos de Soldadura (WPS)*

1.6.26.1 *Procedimiento de Soldadura.*

El procedimiento de soldadura o WPS (Welding Procedure Specification) es un documento que provee las directrices para realizar la soldadura con base en los requerimientos del código, proporciona igualmente la información necesaria para orientar al soldador u operador de soldadura y asegurar el cumplimiento de los requerimientos del código. Describe las variables

esenciales, no esenciales y cuando se requiera, las variables suplementarias esenciales de cada procedimiento de soldadura. Debe estar firmado por el Inspector de Soldadura. El Código AWS tiene una serie de procedimientos precalificados, por lo cual cuando se va a soldar con base en este código es necesario únicamente cumplir con lo establecido en el código (Torres M., 2007).

Ventajas de desarrollar un WPS

- Disminución del riesgo por medio de procedimientos de soldadura acertados
- Mantener las dimensiones controlando la distorsión y reducir las tensiones residuales y localizadas
- Cumplimiento de exigencias legales y de gobiernos locales
- Reducción de costos en posibles reprocesos por malos procedimientos de soldadura
- Aumento de imagen de favorabilidad hacia una empresa por su apropiado sistema de gestión en la calidad

Variables que se encuentran en la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS).

- Uniones
- Metal base.
- Metales de Aporte.
- Posición.
- Precalentamiento.
- Tratamiento térmico después de soldar.
- Gas (Atmosfera de protección).
- Características eléctricas.
- Se anota la corriente de soldadura y si es alterna (ca) o directa (cd).
- Técnica.
- Registro de clasificación de procedimientos

1.6.26.2 Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR)

La Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR Procedure Qualification Record) se realiza con base en el WPS y se detallan los rangos de calificación y se anexan los ensayos mecánicos realizados a la muestra, ya sea tensión, doblado, impacto o dureza. En el PQR se debe detallar además el nombre del soldador, su estampa y su número de Identificación, el Inspector responsable de realizar las pruebas con su respectiva firma, el inspector responsable de diseñar el WPS, la fecha y el código bajo el cual se calificó el procedimiento (Torres M., 2007).



Figura 38-1: Inspección de Soldadura

Fuente: Dilago Ingeniería

1.6.26.3 *Calificación del Soldador (WPQ)*

La calificación del soldador con base en el procedimiento de soldadura (WPS) previamente calificado (PQR) y aprobado, es un documento que registra los ensayos de calificación de desempeño requeridos por el código para determinar la habilidad de los soldadores, para producir soldaduras sanas.

La calificación del soldador consiste en una prueba de su habilidad para soldar y dependiendo de las necesidades del proyecto, esta prueba se realiza en diferentes posiciones, 1G, 2G, 3G, 4G, 5G o 6G, para soldadura a tope. La posición vertical con la progresión hacia abajo es calificada únicamente para API. La soldadura en filete es calificada según AWS D1.1 (Torres M., 2007).

1.6.27 *Ensayos no Destructivos*

1.6.27.1 *Método de líquidos penetrantes*

La examinación por líquidos penetrantes es un método para detectar discontinuidades que se encuentran abiertas a la superficie y que no son apreciables a simple vista. Consiste en aplicar un líquido sobre la superficie dejándolo actuar durante unos minutos para que penetre en los posibles defectos. Después se retira el exceso, limpiando la superficie y aplicando un revelador, polvo u otros productos que se impregnan con el líquido evidenciando claramente el defecto. Se emplean dos tipos de líquidos penetrantes como son fluorescentes que son los más indicados para la inspección en taller y coloreados para la inspección en obra. Puede ser aplicado tanto en soldaduras, tuberías, fundiciones, partes de aluminio, entre otros. Las discontinuidades típicas detectadas por este método son fisuras, laminaciones, poros, falta de adhesión, etc. (Corrales J., 2016, pg. 19).



Figura 39-1: Kit Tintas Penetrantes
Fuente: Corrales Jairo, 2016

Clasificación Por El Tipo De Tinte

El penetrante debe ser visible después de haber entrado y subsecuentemente haber salido de una discontinuidad. Para cumplir con esto, se agrega un tinte al penetrante, para proporcionar un color que contraste con el fondo. (Franco J. 2015) Los líquidos penetrantes y sus procedimientos de inspección pueden ser clasificados en términos de sus tintes trazadores como:

a) Penetrantes con tinte visible (color contrastante).

- El rojo proporciona un color altamente contrastante con muchos colores típicos de partes metálicas.
- Los tintes rojos son obtenidos en muchos matices, son económicos y fáciles de mezclar.
- Son usados los matices más oscuros y las concentraciones más altas posibles de tinte. Los penetrantes más sensibles contienen un tinte rojo muy oscuro y la máxima cantidad que pueda suspenderse sin que se precipite.
- Usados normalmente en conjunto con reveladores húmedos o secos.
- Su ventaja es porque pueden usarse con iluminación ordinaria y aplicarse con un juego pequeño portátil de inspección (Franco J. 2015).

b) Penetrantes con tinte fluorescente (brillantez contrastante).

- La sensibilidad de los penetrantes fluorescentes es influenciada por la concentración del tinte y el matiz del color.
- Los sistemas con penetrantes fluorescentes tienen más aplicaciones potenciales y son considerados más sensibles porque producen una indicación con un menor volumen de penetrante.
- Los materiales fluorescentes absorben energía de ondas de luz ultravioleta, la cual, es convertida y emitida como luz con diferente longitud de onda.

- La más comúnmente usada en pruebas no destructivas es luz ultravioleta (UV) con longitud de onda de 365 nanómetros (1 nanómetro = 10^{-9} m), conocida comúnmente como “luz negra”.
- Los tintes penetrantes emiten luz que se encuentra en el espectro visible en el rango verde a amarillo.
- La calidad de los tintes fluorescentes está determinada por su eficiencia para absorber luz ultravioleta y convertirla en luz visible (Franco J. 2015).

Variables que afectan la fluorescencia:

- Los tintes fluorescentes requieren un espesor mínimo de película para emitir fluorescencia
- La intensidad de iluminación de la luz negra.
- La capacidad de absorber luz ultravioleta y la cantidad de luz visible producida son controladas por la mezcla de tintes.
- La cantidad de tinte agregado al penetrante. Pueden decolorarse con la edad, exposición a la luz (negra y de día) y el calor (Franco J. 2015).

1.6.27.2 Método De Inspección Visual

Es el método de inspección utilizado con mayor frecuencia, ya que permite observar salpicaduras, existencia de cenizas y grietas superficiales; con este método se tiene la limitante de que únicamente se puede aplicar para detectar discontinuidades abiertas a la superficie (Jiménez D., Bejarano D., 2017, pg. 9).

El Ensayo Visual es un método óptico cuyo examen se efectúa empleando el sentido de la vista humana y como energía interactuante es la luz (380 a 770 nm de longitud de onda) y que puede ser directo e indirecto. En el primer caso se emplea la vista directa sin ayuda de accesorios y en el segundo caso se emplean estos tales como: lupas, espejos, endoscopios, binoculares. Este método, proporciona indicaciones inmediatas que frecuentemente no precisan de interpretación elaborada. Sin embargo, no debe concluirse que todo “lo que se ve” es “como se ve”. Esto depende de la técnica de observación, color de luz empleada, si es o no polarizada, incidencia de la iluminación, etc. La interpretación debe conducir a la identificación de la discontinuidad que genera la indicación proporcionada por la técnica aplicada (Ruiz A., 1996).



Figura 40-1: Instrumentos de Inspección Visual
Fuente: Su casa de Soldadura, 2008

1.6.27.3 Defectología y Tipo de Discontinuidades

En defectología se escucha hablar de defectos y/o discontinuidades la diferencia entre estos dos se basa en que todo defecto es siempre una discontinuidad, pero no siempre una discontinuidad es un defecto (Corrales J., 2016 pg. 23). Una discontinuidad puede producirse en cualquier momento de la vida de una pieza metálica como se detalla en la tabla:

Tabla 6-1: Tipos de Discontinuidades

TIPOS DE DISCONTINUIDADES					
Inherentes		De proceso			De servicio
lingote	Fundición	Primarios		Secundarios	Tensiones Fatiga Corrosión
Inclusiones no metálicas Inclusiones gaseosas (Porosidad) Contracciones Segregaciones	Solapado en frío Salpicaduras Desgarro en caliente Segregaciones Rechupes Porosidad inclusiones	Forjados	Laminados	Maquinado Amolado Tratamientos térmicos Soldadura	
		Pliques Laminaciones Estallido fisuras	Cordones Laminaciones Costuras	Desgarramientos Fisuras	Fisuras

Realizado por: Ricardo Echeverría, 2002

Fuente: Corrales Jairo, 2016

Porosidad

Se da a partir de la formación de poros y se presenta por la discontinuidad que se origina a partir de gases que se generan durante el proceso de solidificación del cordón de soldadura y los mismos quedan atrapados en este, considerándose uno de los elementos principales para que se de este defecto es la presencia de hidrógeno en exceso (Corrales J., 2016).



Figura 41-1: Poros Superficiales Aislados
Fuente: Adalberto Ruiz

Inclusiones

Las inclusiones son elementos no metálicos que se quedan depositados en el baño de soldadura, y que son frecuentes en la soldadura por arco. Se dan debido al soldeo incorrecto por el mal acceso a la unión soldada, o la mala limpieza entre pasada y pasada de soldadura (Corrales J., 2016 pg. 25).



Figura 42-1: Inclusiones de Escoria Superficiales
Fuente: Adalberto Ruiz

Falta de Penetración

Este problema se debe a una fusión incompleta entre el metal base, debido a que el metal de aporte no penetra hasta la raíz de la junta. Se localiza fácilmente porque se observa que en el reverso de la chapa soldada no sobresale el cordón (Corrales J., 2016 pg. 25).

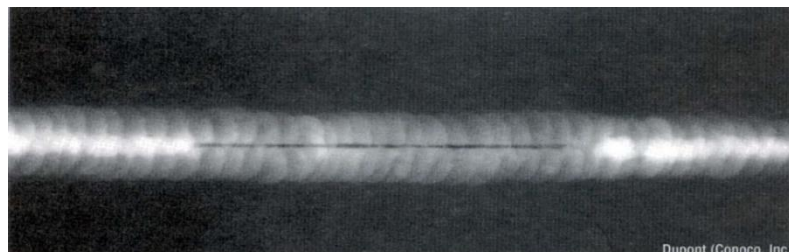


Figura 43-1: Radiografía de una Junta con Falta de Penetración

Fuente: Adalberto Ruiz

Exceso de penetración

Se producen por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas. Este exceso de penetración produce una chorreadura interna de material la que puede retener escoria en su interior (Corrales J., 2016 pg. 26).



Figura 44-1: Exceso de Penetración

Fuente: <http://www.aendur.ancap.com.uy/>

Falta de Fusión

Se produce a causa del uso de una técnica inadecuada de soldadura o de la mala preparación de las juntas a soldar. También se puede producir por el uso de niveles muy bajos de energía de soldadura, la presencia de óxidos, escorias y otros materiales extraños sobre la superficie del material, condiciones que se resumen con los términos la falta de limpieza (Corrales J., 2016 pg. 27).



Figura 45-1: Falta de Fusión en la superficie de la Soldadura

Fuente: Adalberto Ruiz

Socavaduras o mordeduras de bordes:

La socavadura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la sobremonta, que no ha sido llenada por el material. Son debidas a un arco incorrecto (por la corriente utilizada por la longitud del mismo), se produce extracciones de materiales en la superficie del elemento a soldar la cual puede ser anterior (del lado de la sobremonta) o posterior (lado de la raíz o primera pasada), un electrodo húmedo puede provocar socavado (Eyheralde M., 2005).



Figura 46-1: Socavación Adyacente en una Soldadura de Filete
Fuente: Adalberto Ruiz

Salpicaduras:

Son imperfecciones consistentes, como su nombre lo indica, en esférulas de metal fundido, depositadas aleatoriamente sobre el cordón y su vecindad. Pueden ser provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo. Generalmente, no tiene importancia respecto a la calidad de la soldadura (Corrales J., 2016 pg. 27).



Figura 47-1: Salpicaduras
Fuente: Adalberto Ruiz

Fisuras

Es la discontinuidad más crítica. La criticidad es debida a las fisuras caracterizadas como lineales, como también a las que muestran condiciones de extremo muy filosas. Dado que los extremos de las fisuras son muy afilados, hay una tendencia de la fisura a crecer, o a propagarse, si es aplicada una tensión.

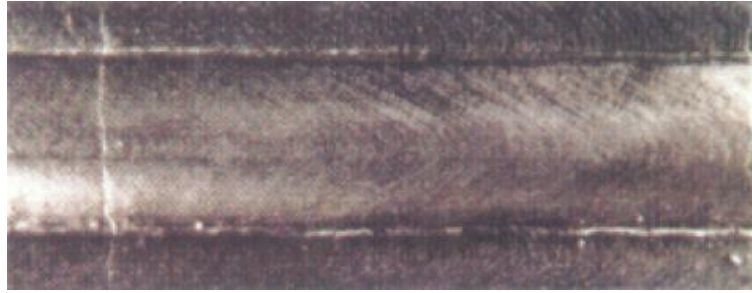


Figura 48-1: Fisura Transversal

Fuente: Adalberto Ruiz

1.6.28 *Descripción de la Norma de Diseño para Estructura de Carrocerías*

1.6.28.1 *Norma Técnica Ecuatoriana (NTE-INEN 1323:2009)*

Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades, además se aplica a todas las carrocerías de autobuses, sean importadas o de construcción nacional. (INEN 1323:2009)

Definiciones:

Para los efectos de la presente NTE - INEN se adoptan las definiciones establecidas en la NTE INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1155 vigente y las que a continuación se detallan:

Carrocería. - Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas. (INEN 1323:2009, pg.4)

Carrocería autoportante. Aquella que en su diseño conforma el bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico. (INEN 1323:2009, pg.4)

Bastidor o chasis. - Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos). (INEN 1323:2009, pg. 4)

Peso máximo admisible para el chasis. - Conocido también como capacidad de carga, es la carga útil máxima emitida para el cual fue diseñado el vehículo, este valor es proporcionado por el fabricante del chasis. (INEN 1323:2009, pg4)

Disposiciones Generales

Consideraciones de diseño de la carrocería y se debe considerar lo siguiente:

Las especificaciones del chasis, lo cual incluye:

- Tipo de servicio de la carrocería
- Peso bruto vehicular (PBV)
- Capacidad de carga de los ejes.
- Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes.
- Relación peso/potencia. (INEN 1323:2009: pp5)

La estabilidad, lo cual incluye:

- Distribución de masa.
- Altura del centro de gravedad.
- Dimensiones de la carrocería.
- Rigidez de suspensión
- Capacidad de inclinación. (INEN 1323:2009: pp5)

El confort, lo cual incluye:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Ventilación.
- Hermeticidad.
- Ergonomía. (INEN 1323:2009: pp5)

El mantenimiento, lo cual incluye:

- Accesibilidad a los elementos del vehículo

La seguridad, lo cual incluye:

- Seguridad activa y pasiva.

Método de anclaje y montaje, lo cual incluye:

- Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis.

Estructura, lo cual incluye:

- Materiales metálicos y no metálicos.
- Uniones y juntas.
- Tratamientos de materiales.
- Geometría y Resistencia estructural. (INEN 1323:2009: pg5)

1.6.29 *Norma RTE-043 para Autobús de Tipo Interprovincial e Intraprovincial*

1.6.29.1 *Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 043:2010)*

Este Reglamento Técnico Ecuatoriano establece los requisitos que deben cumplir los autobuses interprovinciales e interprovinciales de transporte masivo de pasajeros con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas. Aplica a autobuses diseñados y equipados para el transporte interprovincial e interprovincial, que van a ingresar al parque automotor ecuatoriano, importado o ensamblado dentro del país (INEN 043:2010).

DEFINICIONES

Para los efectos del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano se adoptan las definiciones establecidas en las NTE INEN 960, 1 155, 1 323, 1 669, 2 292, 2 204, 2 207, 612, INEN ISO 3779, en los Reglamentos Técnicos Ecuatorianos RTE INEN 011, 034 y en la Ley Orgánica de Transporte Terrestres, Tránsito y Seguridad Vial y su Reglamento General y adicionalmente las que a continuación se detallan:

Altura de un vehículo. - Dimensión vertical total de un vehículo, desde la superficie de la vía hasta la parte superior del mismo (INEN 043:2010).

Ancho de un vehículo. - Dimensión transversal de un vehículo en su parte más extensa (INEN 043:2010).

Ángulo de aproximación. - Es el ángulo en un plano desde el punto de vista del vehículo, formado por el nivel de la superficie en la cual el vehículo está parado y la línea tangente que se forma entre el punto de contacto del radio del neumático delantero y la parte más baja de la parte delantera del vehículo (INEN 043:2010).

Ángulo de salida. - Es el ángulo en un plano desde el punto de vista del vehículo, formado por el nivel de la superficie en la cual el vehículo está parado y la línea tangente que se forma entre el punto de contacto del radio del neumático posterior y la parte más baja de la parte posterior del vehículo (INEN 043:2010).

Compartimiento de pasajeros. - El espacio destinado a los pasajeros, excluido cualquier espacio ocupado por instalaciones fijas (INEN 043:2010).

Corredor central. - Espacio libre o área útil del vehículo excluyendo las áreas de entrada y salida, cobranza, conductor y asientos de pasajeros (INEN 043:2010).

Diseño original. - Comprende los planos, normas técnicas de fabricación y demás documentos técnicos en los cuales se sustentan los requisitos del diseño de origen del vehículo (INEN 043:2010).

Escotilla. - Abertura en la parte superior de la carrocería para efectos de ventilación y salida de emergencia (INEN 043:2010).

Longitud de un vehículo. - La distancia total entre los puntos extremos del vehículo en el eje longitudinal (incluido los parachoques) (INEN 043:2010).

Piso. - La parte de la carrocería en la que reposan los pies de los pasajeros sentados y los del conductor, así como los soportes de los asientos (INEN 043:2010).

Salidas de emergencia. - Son las ventanas laterales, puertas o cualquier otro medio de fácil y rápido desprendimiento o apertura desde el interior del vehículo, a ser usados en circunstancias excepcionales para salida de los ocupantes en casos de peligro (INEN 043:2010).

Vista total. - Visión libre de obstáculos con excepción central del parabrisas y los parantes del frente del vehículo (INEN 043:2010).

1.6.29.2 *Requisitos*

Los autobuses interprovinciales e interprovinciales deben cumplir con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034” Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores”, en lo que corresponda:

Los aspectos fundamentales de los autobuses interprovinciales e interprovinciales son: motor, chasis, carrocería, organización externa, organización interna, detalles exteriores e interiores y elementos de seguridad y control (INEN 043:2010).

1.6.29.3 *Especificaciones del chasis*

Debe ser certificado, de diseño original para transporte de pasajeros, sin modificaciones, aditamentos o extensiones a su diseño original y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas

NTE INEN aplicables vigentes. Para el caso de chasis con motor delantero debe ser adelantado con respecto al eje delantero, de diseño original (INEN 043:2010).

Capacidad del chasis. - El chasis debe disponer de una capacidad mínima de pasajeros, de conformidad con lo establecido en la ley de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial y su Reglamento General (INEN 043:2010).

1.6.29.4 *Especificaciones de la Carrocería*

Material de la estructura. - Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN correspondientes vigentes.

- Cualquiera que sea el material utilizado en la estructura de la carrocería del vehículo, las partes que la componen deben presentar sólida fijación entre sí a través de, entre otros, soldadura, remaches o tornillos, de modo de evitar ruidos y vibraciones del vehículo, cuando se encuentre en movimiento, además de garantizar a través de los refuerzos necesarios, la resistencia suficiente para soportar en los puntos de concentración de carga (apoyos soportes, uniones, aberturas, todo tipo de esfuerzo al que puedan estar sometidos (INEN 043:2010).

Parachoques frontal y posterior. - Deben disponer de parachoques frontal y posterior. No deben sobresalir de la carrocería en más de 300mm y debe contar con elementos de sujeción que aseguren la absorción de impactos (INEN 043:2010).

- La parte delantera inferior del parachoques delantero estará a una altura máxima de 500mm desde la calzada y, la parte posterior inferior del parachoques posterior estará a una altura máxima de 600mm desde la calzada (INEN 043:2010).
- El material de los parachoques debe ser metálico dúctil o de poliéster reforzado con fibra de vidrio y estructura metálica y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes de la carrocería (INEN 043:2010).

Ventanas laterales. - Deben ser de cierres herméticos y vidrios de seguridad para uso automotor con un espesor mínimo de 4mm y que cumplan los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 669 vigentes. La altura máxima debe ser de 1000mm (INEN 043:2010).

Unión chasis carrocería. - Las uniones entre chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para autobús, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de autobuses (INEN 043:2010).

En los autobuses, en el caso que existan desniveles en el pasillo de tránsito interno para pasajeros, debe accederse mediante rampas o peldaños con las siguientes características.

- Peldaños. - Huella de 250mm y contrahuella de 200mmm (INEN 043:2010).

- Rampa. - Inclinación máxima del veinte por ciento (20%) cuando no existan escalones en el pasillo. De quince por ciento (15%) en el caso que existan escalones (INEN 043:2010).

- Debe evitarse, que los bordes de los escalones existentes en el pasillo de tránsito de pasajeros se sitúen en las zonas entre asientos o entre otros asientos y mamparas (INEN 043:2010).

CAPÍTULO II

2. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Diseño Experimental

El diseño experimental es una herramienta estadística que ayuda a determinar si un factor influye en un variable de modo que se cuantifica. Tiene como objetivo planificar una prueba o varias pruebas de modo que reúna toda la información que influye en el problema con la finalidad de obtener un análisis objetivo. El propósito del diseño experimental es arrojar buenos resultados en el menor tiempo, dinero, personal, material de experimento de forma eficiente.

Ventajas:

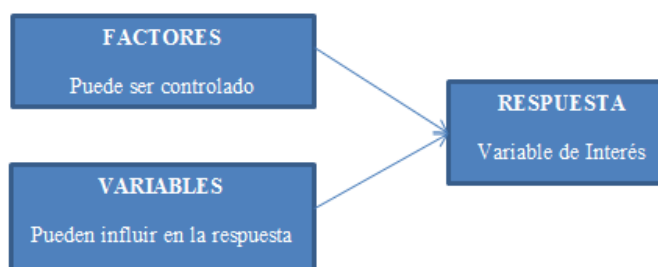


Figura 1-2: Diseño Experimental
Realizado por: Autores, 2018

2.2 Concepto de Robustez

El diseño robusto tiene su origen en las ideas del ingeniero japonés Genichi Taguchi, quien desarrolló su propia filosofía y métodos de ingeniería de la calidad desde los años 1950. Fue a partir del éxito de los japoneses en las industrias tan importantes como la automotriz y la electrónica que se comienza a fijarse en los métodos utilizados por ellos. De esta manera, los métodos de Taguchi y de otros autores japoneses se introducen en Estados Unidos a partir de la década de los años ochenta (Taguchi, 1987). Taguchi hace varias contribuciones a la calidad, es precisamente en el diseño de experimentos donde hace sus aportaciones más importantes con la introducción de lo que él llama diseño de parámetros y que se convirtió en lo que ahora se conoce como el diseño de robustez. (Gutiérrez, 2008, pg. 296).

En la figura 2-2 se muestra los dos tipos de factores que interviene en un experimento:

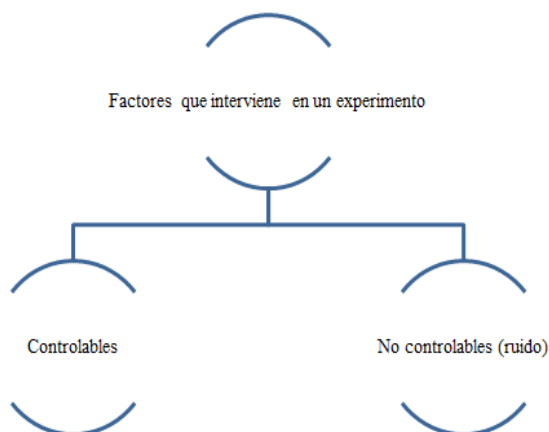


Figura 2-2: Tipo de factores en un experimento
Fuente: Misael Gonzales

En este trabajo de investigación se tomaron en cuenta tres factores controlables las mismas que son modificadas con el fin de obtener una buena calidad de soldadura que garantice la confiabilidad de la estructura.

2.3 Diseño de Experimentos

2.3.1 Factores Controlables

2.3.1.1 Voltaje

Se denomina la tensión eléctrica que impulsa a los electrones que son necesarios para realizar el trabajo de soldadura, todas las máquinas cuentan con un regulador de voltaje que funciona con corriente continua con la cual se obtiene un arco más estable. La tensión se mide en voltios y es un parámetro regulable en la fuente de energía del equipo, cuando el hilo toca la pieza se establece el arco cuya longitud es función de la tensión elegida en la fuente. La longitud de arco es la distancia entre el extremo del hilo y la pieza. A mayor longitud del arco, mayor será la tensión y viceversa. Con longitudes largas de arco se obtienen cordones más anchos y menos profundos; y con longitudes cortas se producen cordones más estrechos y de mayor penetración (Pérez, C., 2016, pg. 2). En la tabla 2-1 se muestra los valores recomendados para el voltaje según el diámetro del alambre ER70S-6, en este investigación se utilizó un diámetro de alambre correspondiente a 0,9 mm.

Tabla 1-2: Valores recomendados de voltaje, velocidad de alimentación del alambre

Diámetro, gas protector de polaridad	CTWD ^(S) mm (in)	Velocidad de alimentación de alambre m/min (pulgadas/min)	Voltaje (voltios)	Corriente aproximada (amperios)	Relación de fusión kg/hr (lb/hr)
0.030 pulgadas (0.8mm), CD+					
Transferencia de corto circuito 100% CO ₂	9-12	1.9 (75)	17	35	0.4 (0.9)
	(3/8-1/2)	3.6 (150)	18	70	0.8 (1.6)
		7.6 (300)	22	130	1.6 (3.6)
0.035 pulgadas (0.9 mm): CD+					
Transferencia de corto circuito 100% CO ₂ ⁽⁶⁾	9-12	2.5 (100)	18	80	0.7 (1.6)
	(3/8-1/2)	3.8 (150)	19	120	1.1 (2.4)
		6.4 (250)	22	175	1.8 (4.0)
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO ₂	12-19	9.5 (125)	23	195	2.7 (6.0)
	(1/2-3/4)	12.7 (500)	29	230	3.6 (8.0)
		15.2 (600)	30	275	4.4 (9.6)
0.045 pulgadas (1.1 mm): CD+					
Transferencia de corto circuito 100% CO ₂ ⁽⁶⁾	12-19	3.2 (125)	19	145	1.5 (3.4)
	(1/2-3/4)	3.8 (150)	20	165	1.8 (4.0)
		5.1 (200)	21	200	2.5 (5.4)
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO ₂	12-19	8.9 (350)	27	285	4.2 (9.2)
	(1/2-3/4)	12.1 (475)	30	335	5.7 (12.5)
		12.7 (500)	30	340	6.0 (13.2)
0.052 pulgadas (1.3 mm): CD+					
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO ₂	12-19	7.6 (300)	30	300	4.8 (10.6)
	(1/2-3/4)	8.1 (320)	30	320	5.2 (11.5)
		12.3 (485)	32	430	7.8 (17.1)
1/16 pulgadas (1.6 mm): CD+					
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO ₂	12-25	5.3 (210)	25	325	4.8 (10.7)
	(1/2-1)	6.0 (235)	27	350	5.4 (12.0)
		7.4 (290)	28	430	6.7 (14.8)

Realizado por: Autores, 2018

Fuente: Lincoln Electric

En nuestro caso se puede modificar el voltaje para los tres casos señalados, verificando que todos estos valores están dentro del rango dada por el catálogo *Lincoln Electric* como se indica en la tabla 2-1, correspondiente al alambre ER70S-6 con un diámetro de alambre 0.9 mm que son utilizados en la construcción en dicha carrocería en la cual se realizó la investigación, como se señala continuación.

- Primera posición: 18,8 voltios
- Segunda posición: 18,6 voltios
- Tercera posición: 19 voltios

2.3.1.2 Velocidad del alambre

En el proceso de soldadura GMAW se utilizó gas de protección que actúa junto a un electrodo consumible la misma que es generada por un alambre continuo que sale de la boquilla con una cierta velocidad. La velocidad de alimentación de hilo (alambre) es un parámetro regulable en la máquina, y está relacionada con los valores de tensión e intensidad, el ajuste de la velocidad del hilo conllevará un mayor o menor flujo de fundente en la zona a soldar. Si se disminuye la

velocidad de hilo lo que ocurre es que aumenta la penetración. Con una velocidad de soldeo alta, se produce una soldadura irregular (Pérez, C., 2016, pg. 2).

A continuación, se presentan los valores que se utilizó para la investigación, basándonos en la tabla 2-1 que corresponde al catálogo *Lincoln Electric*, las cuales se encuentra dentro del rango establecido.

- Primera posición: 5.0 m/min
- Segunda posición: 5.5 m/min
- Tercera posición: 6.0 m/min



Figura 3-2: Equipo utilizado para la soldadura GMAW
Fuente: Autores, 2018

2.3.1.3 Flujo de CO_2

El gas de protección juega un papel muy importante en este tipo de proceso de soldadura, ya que se encarga de formar una capa protectora en metal de soldadura fundido evitando que entre en contacto con el medio externo, caso contrario forman óxidos, nitruros que causa deficiencia en la soldadura. El caudal de gas, el cual debe ser el apropiado influye en los resultados, un caudal bajo generará una protección insuficiente, y un caudal muy alto puede generar turbulencias formando cráteres, por lo cual se recomienda que este valor de caudal sea 10 veces mayor al diámetro del alambre (Pérez, C., 2016, pg. 2).

Se coloca tres posiciones de flujo de CO_2

- Primera posición: 8.0 lt/min
- Segunda posición: 10.0 lt/min
- Tercera posición: 12.0 lt/min



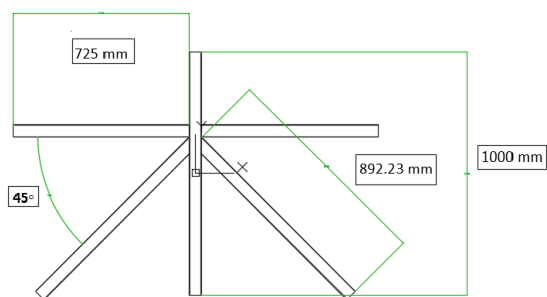
Figura 4-2: Regulador de CO₂
Fuente: Autores, 2018

2.3.2 Preparación de Muestras

Para la preparación de la muestra se utilizó tubos cuadrados con la designación ASTM 500 grado A, con las dimensiones 50x50x2 mm las mismas que se cortaron con medidas que se muestran en la figura 2-5 (b). Para realizar los cortes se utilizó la trazadora de la marca Dewalt D28720 con un disco de 14 pulgadas con se muestran en la figura 5-2 (a).



(a)

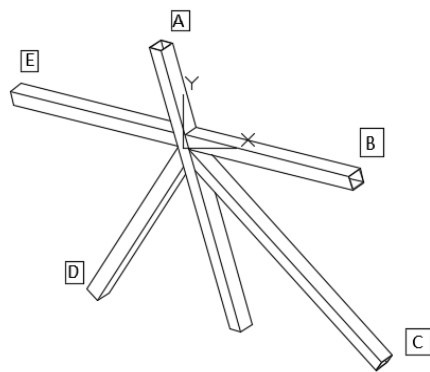


(b)

Figura 5-2: Junta K, a) Corte de los elementos y b) Medidas reales de la junta
Realizado por: Autores, 2018

Armado de la junta tipo K

Luego de obtener los elementos con sus respectivas dimensiones, se procedió a la primera conexión con los elementos horizontal B y E, conectados al elemento vertical A, posteriormente se finaliza la conexión con los elementos C y D. Todas las uniones se los aplicó un punteado con el electro revestido E-6011 como se muestra en la figura 2-6, con el fin de tener una correcta alineación, para luego hacer el remate de la soldadura con el proceso GMAW aplicando todos los factores señalados en la Tabla 2-2.



(a)



(b)

Figura 6-2: Junta K, a) Denominación de los elementos, b) Punteo de los elementos
.....Realizado por: Autores, 2018

Aplicación de la soldadura GMAW

Luego del punteo de todos los elementos que conforma la junta tipo k, se realizó la soldadura con el proceso GMAW. El material de aporte fue el ER70S-6 con un diámetro de alambre 0.9 mm, el gas de protección fue el CO₂ de la marca Indura. Se utilizó una fuente de poder marca Lincoln Electric 256 Power MIG, en la cual se puede modificar variables de voltaje y velocidad de alambre como se muestra en la figura 2-3, las especificaciones de este proceso de soldadura se detallan en el Anexo A para este tipo de junta.



Figura 7-2: Aplicación de la soldadura GMAW
Fuente: Autores, 2018

Se aplicó las tres combinaciones en cada probeta, las cuales se pueden observar en la tabla 2-2. Cabe recalcar que se realizó dos ensayos con cada combinación para corroborar los resultados a obtener.

Tabla 2-2: Variables del Experimento

Denominación de la Probeta	Voltaje (voltios)	Flujo de CO₂ (lt/min)	Velocidad del alambre (m/min)	Resultados esperados en la junta
E01.1	18.8	8.0	6.0	-Encontrar los valores de deformación.
E01.2	18.8	8.0	6.0	-Encontrar los valores de deformación.
E02.1	18.6	10.0	5.0	-Menor número de discontinuidades. -Soldadura uniforme -Menor deformación.
E02.2	18.6	10.0	5.0	-Menor número de discontinuidades. -Soldadura uniforme - Menor deformación.
E03.1	19.0	12.0	5.5	-Buena penetración, -Buena fusión -Menor deformación.
E03.2	19.0	12.0	5.5	-Buena penetración -Buena fusión -Menor deformación.

Realizado por: AUTORES

Fuente: Autores

En la tabla 2-2 se plasma las combinaciones que serán aplicadas en la probetas con la finalidad de realizar el ensayo experimental y el análisis de método de elementos finitos tomando en cuenta los datos reales a la cuales se realizan la conexión de la unión soldada tipo k, en cada probeta se le aplicara la cantidad de voltios, flujo de CO₂ y velocidad de alambre con el fin de obtener en la mejor combinación de factores controlables que disminuya el efecto de deformación causada por la temperatura.

2.4 Matriz de Involucrados

Se considera como una herramienta que identifica los actores principales que se encuentran involucrados en la investigación, con el fin de definir las necesidades y capacidades de los interesados. Se trata de una información que marcará la planificación y gestión del proyecto (Vera R., 2015, pg. 3). En la tabla 3-2 se detalla la matriz de involucrados del presente trabajo.

Tabla 3-2. Matriz de Involucrados

<i>INVOLUCRADOS</i>	<i>INTERESES</i>	<i>PROBLEMAS PERCIBIDOS</i>	<i>ESTRATEGIAS</i>
Empresas Carroceras	Obtener la apertura necesaria, para obtener los datos que ayuden a desarrollar la investigación	Hallar deformaciones en las juntas soldadas de la carrocería las cuales ocasionan retrabajos, por ende, retrasan el proceso de fabricación	Facilitar el apoyo técnico necesario.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Realizar estudios posteriores a esta investigación que ayuden a las empresas carroceras.	Ninguno	Organizar el correcto desarrollo del proyecto
Responsables	Encontrar la mejor combinación de factores que interviene en el proceso de soldadura que disminuya la deformación	Falta de Información sobre soldadura en perfiles estructurales de espesores pequeños.	Una vez seleccionado la mejor combinación de factores realizar ensayos no destructivos con las cuales validaremos la combinación.

Realizado por: AUTORES

Fuente: Autores

2.5 **Árbol de Problemas**

Es una herramienta o técnica que es muy utilizada en el campo de la investigación con el fin de encontrar una solución, el árbol de problemas que nos permite desglosar el problema en causas y efectos de una forma ordenada, la misma que es presentada en un esquema para su fácil comprensión, permitiendo así un análisis general de la situación del problema que se debe resolver como se muestra la figura 8-2.

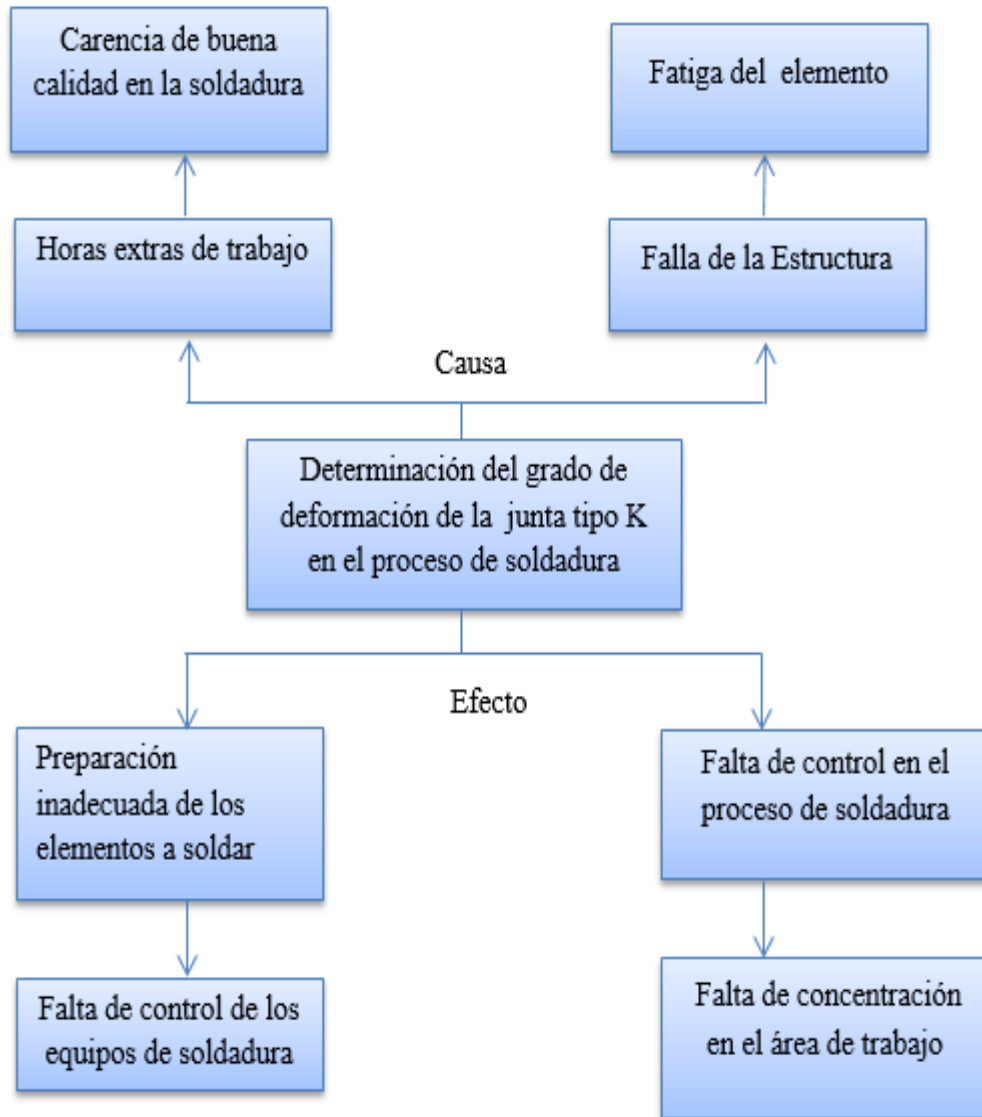


Figura 8-2: Árbol de Problema
Fuente: Autores

2.6 Árbol de Objetivos

Es un esquema gráfico que nos permite describir posibles soluciones a un problema partiendo de un objetivo. En la figura 9-2 se detalla el árbol de objetivos para el presente trabajo.

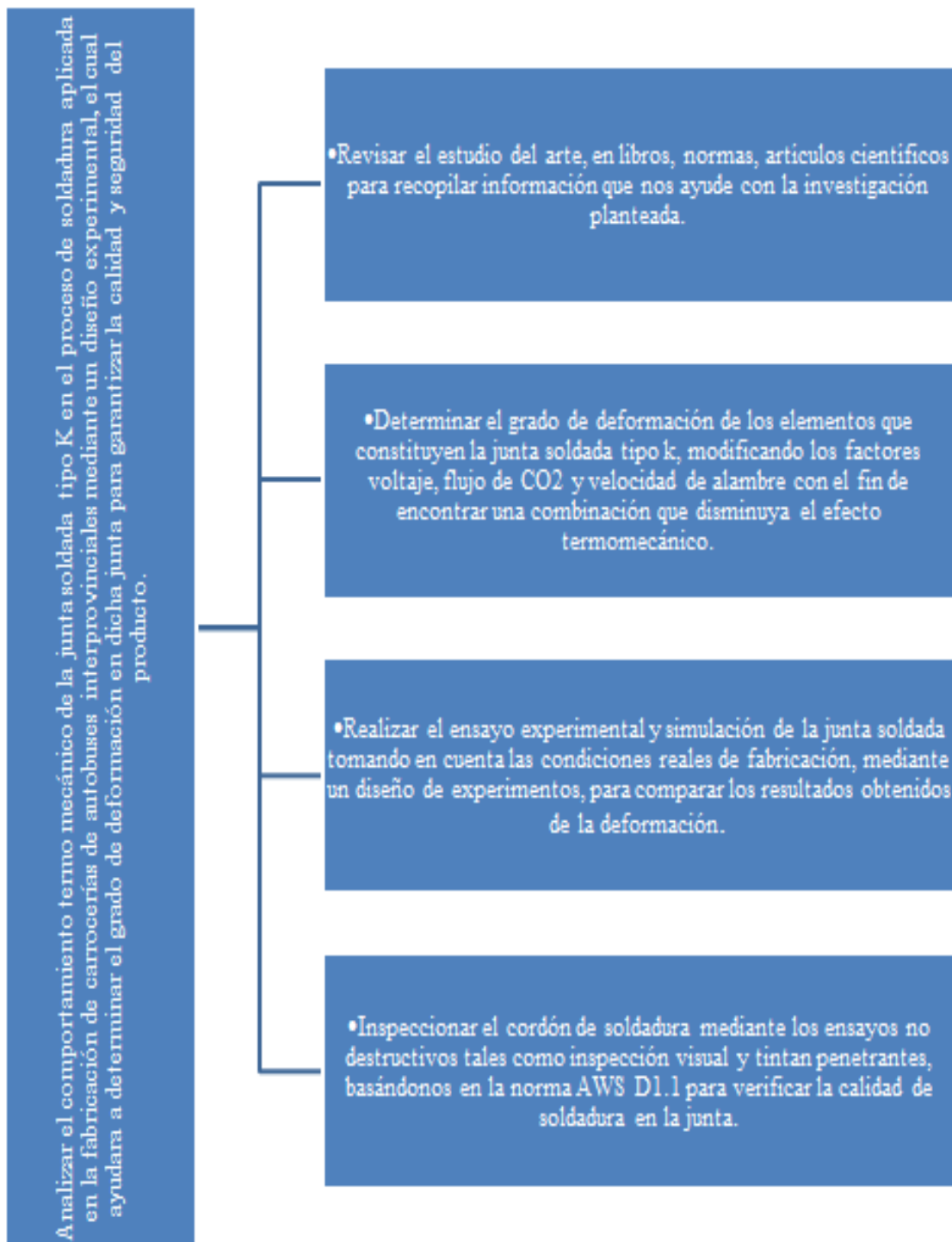


Figura 9-2. Árbol de Objetivos
 ... Fuente: Autores

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados

3.1.1 *Tiempo de avance en cada cordón de la soldadura*

Después de que se realizó el proceso de soldadura en las todas las juntas, se procedió a la numeración de los seis cordones de soldadura en todas las probetas, como se puede observar en la siguiente figura 1-3.

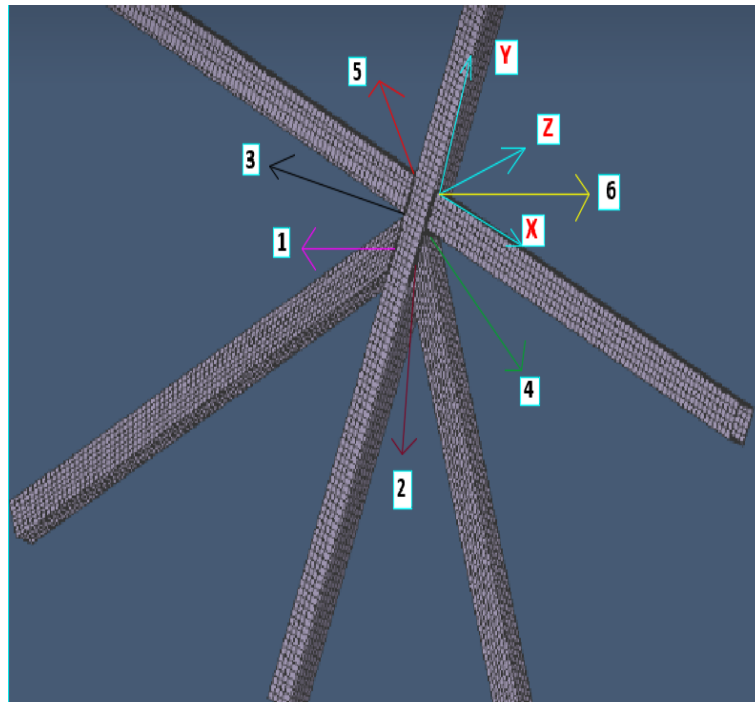


Figura 1-3: Numeración de los cordones de soldadura
Fuente: Autores, 2018

A continuación, se presenta la siguiente Tabla 1-3, en la cual se procedió a tomar datos del tiempo de avance (con la ayuda de un cronómetro) para realizar cada cordón de soldadura y con un flexómetro medir la longitud del cordón.

Tabla 1-3: Tiempo de avance en cada cordón de Soldadura

Denominación del Ensayo	Número de cordón	Tiempo de avance (s)	Longitud del cordón(cm)
E01.1	Cordón C1	44.10	12.5
	Cordón C2	44.58	12.5
	Cordón C3	39.60	5.0
	Cordón C4	37.56	5.0
	Cordón C5.	40.44	5.0
	Cordón C6	39.90	5.0
E01.2	Cordón C1	41.10	12.5
	Cordón C2	46.80	12.5
	Cordón C3	39.60	5.0
	Cordón C4	36.84	5.0
	Cordón C5	42.66	5.0
	Cordón C6	41.10	5.0
E02.1	Cordón C1	42.06	12.5
	Cordón C2	45.66	12.5
	Cordón C3	49.86	5.0
	Cordón C4	45.66	5.0
	Cordón C5	34.98	5.0
	Cordón C6	33.72	5.0
E02.2	Cordón C1	39.66	12.5
	Cordón C2	38.70	12.5
	Cordón C3	17.58	5.0
	Cordón C4	17.70	5.0
	Cordón C5	49.98	5.0
	Cordón C6	48.96	5.0
E03.1	Cordón C1	39.18	12.5
	Cordón C2	45.66	12.5
	Cordón C3	18.72	5.0
	Cordón C4	18.06	5.0
	Cordón C5	51.54	5.0
	Cordón C6	49.14	5.0
E03.2	Cordón C1	41.88	12.5
	Cordón C2	42.00	12.5
	Cordón C3	17.70	5.0
	Cordón C4	17.10	5.0
	Cordón C5	52.50	5.0
	Cordón C6	51.18	5.0

Realizado por: Autores**Fuente:** Autores

3.1.2 Medición de los resultados con el Método experimental

Para cual se utilizó una plantilla de la junta tipo k, la misma que fue elaborada con la ayuda de un software CAD y respectivamente impresa en tamaño real, se procedió a colocar las juntas soldadas sobre la plantilla y se procedió a la toma de datos de deformación en los distintos ejes partiendo del punto de origen ubicados en el centro de cada probeta. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de la deformación final en los tres ejes (x, y, z) correspondiente al ensayo experimental.

Tabla 2-3: Recopilación de Datos del Ensayo Experimental

Denominación del Ensayo	Eje X	Eje Y	Eje Z
E01.1	8.00	9.02	7.90
E01.2	9.10	9.20	9.80
E02.1	3.40	5.60	6.50
E02.2	4.42	3.50	8.70
E03.1	8.10	4.80	9.60
E03.2	3.80	4.50	11.00
OBSERVACION	Fecha del experimento 2018/05/09, día lluvioso, la toma de mediciones se realizó de (3-6) pm. Los datos presentados se expresan en milímetros.		

Realizado por: Autores, 2018

Fuente: Autores

Se puede observar que los valores de deformación más relevantes son los de la probeta E01.2 que tiene los valores de 9.10 mm en eje “x”, de 9.20 mm en el eje “y” y de 9.8 mm en el eje “z”. Así como también la menor deformación la posee la probeta E02.1 con 3.40mm en el eje “x”, 5.60 mm en el eje “y” y 6.50 en el eje “z”.

3.1.3 Resultados obtenidos mediante el Análisis de métodos de elementos finitos

Se realizó el análisis con diferentes combinaciones de variables que se detalla en la Tabla 2-2, con el propósito de obtener datos de deformación, basados en la ecuación (16) denominada *Modelo de Fuente de Calor de doble Elipsoide* (Morejón J.et al.2011, pg. 257).

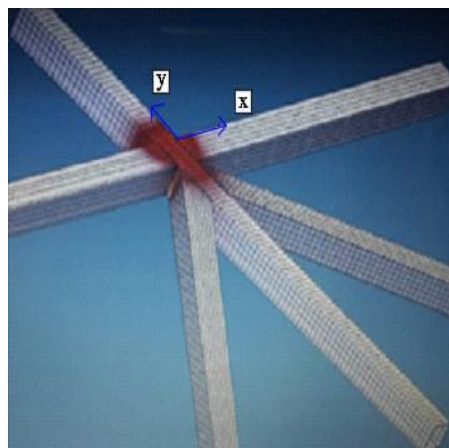


Figura 2-3-: Análisis del Método de Elementos Finitos de la junta

Fuente: Autores, 2018

Para el análisis del fenómeno termomecánico se toma en cuenta los datos reales obtenidos en el proceso de la soldadura de junta tipo K utilizados en la empresa donde se hizo la investigación, para este análisis es elemental el tiempo de avance y la longitud de cada una de ellas, las cuales se puede observar en la tabla 3-1. El perfil estructural este hecho de acero ASTM A 500 grado A, la cual es utilizada en la estructura de la carrocería, cuyas propiedades se detalla en la tabla 3-3, estos valores son requeridos para el análisis mediante método de elementos finitos.

Tabla 3-3: Composición y propiedades del Acero ASTM A500 grado A
Propiedades del acero ASTM A500 grado A

Elementos	Cantidad	Unidades
Carbono, C	0.30	%
Cobre, Cu	0.18	%
Hierro, Fe	99.0	%
Fósforo, P	0.05	%
Azufre	0.00638	%
Porcentaje de Elongación	25.0	%
Resistencia a la Tracción	310.0	Mpa
Módulo de Elasticidad, E	200.0	GPa
Resistencia a la Fluencia, Fy	320.0	Mpa
Resistencia última, Fu	405.0	Mpa

Realizado por: Autores

Fuente: José Alfredo Hernández Proaño, 2016

3.1.1.1 *Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E01.1*

En la siguiente tabla 4-3 se puede visualizar los datos de factores controlables como el voltaje, flujo de gas CO₂ y la velocidad de alambre, con los cuales se obtiene los valores de deformación partiendo desde el valor de temperatura inicial hasta la temperatura máxima alcanzada en los tres ejes (x, y, z) correspondiente a la probeta E01.1.

Para este estudio de investigación cabe recalcar que estos valores son con las que trabajan en la actualidad la industria carrocera en la cual se realizó esta investigación y el tiempo en que se ejecuta este análisis fue de 26.10 minutos en realizar los seis cordones de soldadura para la conexión de la junta soldada tipo k en la que también se incluye el tiempo en que se toma en realizar la limpieza de la tobera para eliminar las partículas de impurezas que afecta en la calidad de soldadura y el tiempo en que tarda esta tarea es de 22 minutos.

Tabla 4-3: Análisis de la probeta E01.1

FACTORES CONTROLABLES	VALOR			UNIDAD
<i>Voltaje</i>	18.8			voltios
<i>flujo de Gas CO₂</i>	8.0			lt/min
<i>velocidad del alambre</i>	6.0			m/min
Temperatura	Deformación			
T(K)	x(mm)	y(mm)	z(mm)	Total(mm)
293.15	-4.76	-4.79	-0.01	0.00
442.24	-3.47	-3.39	0.84	1.28
591.33	-2.19	-0.19	1.70	2.58
740.41	-0.90	-0.59	2.55	3.84
889.50	0.39	0.80	3.40	5.13
1038.59	1.68	2.20	4.26	6.41
1187.68	2.96	3.60	5.11	7.69
1336.76	4.25	4.49	5.97	9.04
1485.94	5.54	6.39	6.82	8.97
1634.94	6.83	7.79	7.63	11.53
1784.03	8.12	9.19	8.53	12.82
OBSERVACION			-Para este análisis se tomó en cuenta todos los datos reales que intervienen en el proceso de soldadura. -El signo negativo significa que la deformación está en el eje negativo respecto al eje x, y, z.	

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Luego de aplicar el método de elementos finitos en dicha probeta se encuentra visible los resultados a una temperatura de 1784.03°C:

- En el eje “x” se tiene un valor máximo de 8.12 mm.
- En el eje “y” se tiene un valor máximo de 9.19mm.
- En el eje “z” se tiene un valor máximo de 8.53mm.
- El valor de deformación total es de 12.82 mm.

3.1.1.2 *Energía Aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.1*

En la siguiente tabla 3-5 se muestra la cantidad de energía aportada en cada cordón de soldadura, se calculó según la ecuación (4) y (5). A continuación, se muestra la energía correspondiente a la probeta E01.1 para este cálculo se utilizó la corriente 88.0 amperios.

Tabla 5-3: Energía Aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.1

<i>N.º Cordón</i>	<i>Voltaje [V]</i>	<i>Flujo de CO₂ [lt/min]</i>	<i>Velocidad del alambre [m/min]</i>	<i>Longitud del cordón [cm]</i>	<i>Tiempo de avance [min]</i>	<i>Velocidad del avance de Soldadura [cm/min]</i>	<i>Energía aportada KJ/m</i>
C1	18.8	8.0	6.0	12.5	0.735	17.0	533.9
C2	18.8	8.0	6.0	12.5	0.743	16.8	540.3
C3	18.8	8.0	6.0	5.0	0.660	7.5	1198.6
C4	18.8	8.0	6.0	5.0	0.626	7.9	1136.8
C5	18.8	8.0	6.0	5.0	0.674	7.4	1224.9
C6	18.8	8.0	6.0	5.0	0.665	7.5	1207.9
OBSERVACIÓN					Para el cálculo de la energía aportada se tomó en cuenta el rendimiento del proceso GMAW, n= 0.7.		

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

En la tabla 5-3 se muestra los valores correspondientes a la energía de aporte en los seis cordones de soldadura respectivamente como se indica en el ANEXO A. El cordón que tiene menor valor de energía aportada es el cordón C1 con 533.9 KJ/m y el cordón que tiene máxima energía de aporte es el cordón C5 con 1207.9 KJ/m.

3.1.1.3 Análisis mediante el método de elementos finitos- Probeta E01.2

En la tabla 6-3 se muestra los valores de deformación, la misma que se ejecuta en un tiempo de 26.13 minutos, los datos de factores controlables como el flujo de gas CO₂ y la velocidad de alambre son valores con la que trabaja la industria carrocería donde se realizó dicha investigación.

Tabla 6-3: Análisis de la probeta E01.2

FACTORES CONTROLABLES	VALOR			UNIDAD
<i>voltaje</i>	18.8			voltios
<i>flujo de CO₂</i>	8.0			lt/min
<i>velocidad del alambre</i>	6.0			m/min
Temperatura	Deformación			
T(K)	x(mm)	y(mm)	z(mm)	Total (mm)
293.15	-2.23	-2.85	-0.01	0.00
442.24	-1.21	-1.46	0.98	1.29
591.33	-0.21	-0.43	1.97	2.63
740.41	0.80	0.79	2.95	3.87
889.50	1.82	2.00	3.95	5.17
1038.59	2.83	3.21	4.94	6.46
1187.68	3.84	4.43	5.93	7.75

Tabla 7-3(continua): Análisis de la probeta E01.2

1336.76	4.85	5.64	6.93	9.04
1485.94	6.99	6.85	7.92	10.33
1634.94	8.07	8.08	8.91	11.62
1784.03	9.15	9.28	9.90	12.92
OBSERVACION			-Para este análisis se tomó en cuenta todos los datos reales que intervienen en el proceso de soldadura. -El signo negativo significa que la deformación está en el eje negativo respecto al eje x, y, z.	

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Al realizar el análisis del método de elemento finito se puede observar que la deformación total en el ensayo E01.2 adquiere un valor de 12.92 mm a una temperatura máxima de 1784.03 K. Las deformaciones en el eje “x” es de 9.15 mm, en el eje “y” es de 9.28 mm, en el eje “z” es de 9.90 mm.

3.1.1.4 Energía Aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.2

Se halló el valor de Energía aportada en los seis cordones de soldadura que conforma la junta E01.2, en la que se aplica la ecuación (4) y (5).

Tabla 8-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E01.2

N.º Cordón	Voltaje	Flujo de CO ₂	Velocidad del alambre	Longitud del cordón	Tiempo de avance	Velocidad del avance de Soldadura	Energía aportada
	[V]	[lt/min]	[cm/min]	[cm]	[min]	[cm/min]	KJ/m
C1	18.8	8.0	6.0	12.5	0.685	18.2	497.6
C2	18.8	8.0	6.0	12.5	0.780	16.0	566.9
C3	18.8	8.0	6.0	5.0	0.660	7.5	1198.6
C4	18.8	8.0	6.0	5.0	0.614	8.1	1115.6
C5	18.8	8.0	6.0	5.0	0.711	7.0	1292.4
C6	18.8	8.0	6.0	5.0	0.685	7.2	1244.0
OBSERVACION					Para el cálculo de la energía aportada se tomó en cuenta el rendimiento del proceso GMAW, n= 0.7.		

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

De acuerdo con la tabla 7-3, la mayor energía aportada se encuentra en el cordón C5 ya que tiene un valor de 1292.4 KJ/m y se ejecuta en un tiempo de 42.66 segundos.

3.1.1.5 Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E02.1

En el análisis que corresponde al ensayo E02.1 se trabaja con un voltaje de 18.6 voltios, con una velocidad de alambre de 5.0 m/min y un flujo de gas de 10.0 lt/min, con el fin de obtener menor número de discontinuidades y una soldadura uniforme.

Tabla 9-3: Análisis de la probeta E02.1

FACTORES CONTROLABLES	VALOR			UNIDAD
<i>Voltaje</i>	18.6			voltios
<i>flujo de CO₂</i>	10.0			lt/min
<i>velocidad del alambre</i>	5.0			m/min
Temperatura	Deformación			
T(K)	x(mm)	y(mm)	z(mm)	Total (mm)
293.15	-3.61	-2.63	-0.04	0.00
442.24	-2.91	-1.80	0.62	0.75
591.33	-2.21	-0.97	1.28	1.51
740.41	-1.50	-0.15	1.94	2.26
889.50	0.80	0.68	2.60	3.01
1038.59	0.10	1.50	3.26	3.76
1187.68	0.60	2.33	3.92	4.52
1336.76	1.31	3.16	4.58	5.27
1485.94	2.01	3.98	5.23	6.02
1634.94	2.71	4.81	5.89	6.77
1784.03	3.42	5.63	6.55	7.53
OBSERVACIÓN			-Para este análisis se tomó en cuenta todos los datos reales que intervienen en el proceso de soldadura. -El signo negativo significa que la deformación está en el eje negativo respecto al eje x, y, z.	

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Al observar los resultados en la tabla 8-3, se puede apreciar que a medida que se incrementa la temperatura también va incrementando la deformación, llegando a un valor total es de 7.53 mm con una temperatura máxima de 1784.03 K.

3.1.1.6 Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.1

La cantidad de energía aportada en los cordones de soldadura que conforma la junta soldada E02.1, se muestra a continuación:

Tabla 10-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.1

Nº Cordón	Voltaje [V]	Flujo de CO ₂ [lt/min]	Velocidad del alambre [cm/min]	Longitud del cordón [cm]	Tiempo de avance [min]	Velocidad del avance Soldadura [cm/min]	Energía aportada KJ/ m
C1	18.6	10.0	5.0	12.5	0.701	17.8	547.8
C2	18.6	10.0	5.0	12.5	0.761	16.4	595.1
C3	18.6	10.0	5.0	5.0	0.831	6.0	1139.5
C4	18.6	10.0	5.0	5.0	0.761	6.5	1097.9
C5	18.6	10.0	5.0	5.0	0.583	8.5	1623.2
C6	18.6	10.0	5.0	5.0	0.562	8.8	1486.8
OBSERVACIÓN					Para el cálculo de la energía aportada se tomó en cuenta el rendimiento del proceso GMAW, n= 0.7.		

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Los cordones que tienen mayor energía de aporte son los cordones de C5 y C6 con valores de 1623.2 KJ/m y 1486.8 KJ/m respectivamente, los dos cordones tienen una longitud de 5 cm a una velocidad de avance de 8.5 cm/min y 8.8 cm/ min, respectivamente.

3.1.1.7 Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E02.2.

En la siguiente tabla 10-3 se puede visualizar los datos de factores controlables como: el voltaje de 18.6 voltios, flujo de CO₂ de 10.0 lt/min y la velocidad de alambre es 5.0 m/min, con los cuales se obtiene los valores de deformación en los tres ejes (x, y, z) correspondiente a la probeta E02.2.

Tabla 11-3: Análisis de la probeta E02.2

FACTORES CONTROLABLES	VALOR			UNIDAD
<i>Voltaje</i>	18.6			voltios
<i>flujo de CO₂</i>	10.0			lt/min
<i>velocidad del alambre</i>	5.0			m/min
Temperatura	Deformación			
T(K)	<i>x(mm)</i>	<i>y(mm)</i>	<i>z(mm)</i>	Total (mm)
293.15	-1.92	-4.12	-0.09	0.00
442.24	-1.28	-3.38	0.79	0.98
591.33	-0.52	-2.59	1.68	1.96
740.41	0.10	-1.83	2.56	2.94
889.50	0.63	-1.07	3.44	3.91

Tabla 12-3(continua): Análisis de la probeta E02.2

1038.59	1.27	-0.31	4.32	4.89
1187.68	1.91	0.46	5.20	5.67
1336.76	2.54	1.22	6.08	6.85
1485.94	3.16	1.98	6.98	7.83
1634.94	3.82	2.74	7.84	8.81
1784.03	4.48	3.51	8.72	9.79
OBSERVACIÓN		-Para este análisis se tomó en cuenta todos los datos reales que intervienen en el proceso de soldadura. -El signo negativo significa que la deformación está en el eje negativo respecto al eje x, y, z.		

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Al aplicar el método de elementos finitos en dicha probeta, se encuentra visible el resultado de deformación total de la junta que tiene un valor de 9.79 mm, en eje “x” se tiene un valor máximo de 4.48 mm, en el eje “y” se tiene un valor máximo de 3.51 mm, en el eje “z” se tiene un valor máximo de 8.72 mm, todos estos resultados suceden a una temperatura de 1784.03°C.

3.1.1.8 Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.2

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de energía aportada en cada cordón de soldadura correspondiente a la probeta E02.2.

Tabla 13-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E02.2

Nº Cordón	Voltaje [V]	Flujo de CO ₂ [lt/min]	Velocidad del alambre [cm/min]	Longitud del cordón [cm]	Tiempo de avance [min]	Velocidad de avance Soldadura [cm/min]	Energía aportada KJ/m
C1	18.6	10.0	5.0	12.5	0.661	18.8	517.0
C2	18.6	10.0	5.0	12.5	0.645	19.3	504.2
C3	18.6	10.0	5.0	5.0	0.293	17.0	573.2
C4	18.6	10.0	5.0	5.0	0.295	16.9	577.7
C5	18.6	10.0	5.0	5.0	0.833	5.9	1628.1
C6	18.6	10.0	5.0	5.0	0.816	6.1	1594.9
OBSERVACIÓN					Para el cálculo de la energía aportada se tomó en cuenta el rendimiento del proceso GMAW, n= 0.7.		

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

En la junta E02.2 se encuentra una energía mínima de 517.02 KJ/m en el cordón C2 con una longitud de 12.5 cm, y una energía máxima de 1628.1 KJ/m en el cordón C5 que corresponde a una longitud de 5 cm.

3.1.1.9 Análisis mediante el método de elementos finitos-Probeta E03.1

En este análisis se tomó en cuenta los factores controlables como: voltaje de 19 voltios, un flujo de gas de 12.0 lt/min y una velocidad de corriente de 120.0 amperios, las mismas que influyen en el análisis mediante el método de elemento finito.

Tabla 14-3: Análisis de la probeta E03.1

FACTORES CONTROLABLES	VALOR			UNIDAD
<i>Voltaje</i>	19.0			voltios
<i>flujo de CO₂</i>	12.0			lt/min
<i>velocidad del alambre</i>	5.5			m/min
Temperatura	Deformación			
T (K)	x(mm)	y(mm)	z(mm)	Total (mm)
293,15	-1.63	-7.09	-0.00	0.00
442,24	-0.65	-5.88	0.85	0.70
591,33	0.33	-4.67	1.75	1.41
740,41	1.32	-3.47	2.66	2.11
889,50	2.30	-2.26	3.56	2.82
1038,59	3.28	-1.06	4.47	3.52
1187,68	4.27	0.15	5.37	4.43
1336,76	5.25	1.35	6.28	4.93
1485,94	6.23	2.56	7.19	5.64
1634,94	7.21	3.76	8.09	6.34
1784,03	8.20	4.97	9.00	7.05
OBSERVACION			-Para este análisis se tomó en cuenta todos los datos reales que intervienen en el proceso de soldadura. -El signo negativo significa que la deformación está en el eje negativo respecto al eje x, y, z.	

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

En la tabla 12-3 se puede visualizar que la temperatura inicial es de 293.15 K y a una temperatura máxima de 1784.03 K, el resultado en el eje “x” se tiene un valor máximo de 8.20 mm, en el eje “y” se tiene un valor máximo de 4.97 mm, en el eje “z” se tiene un valor máximo de 9.00 mm, el valor de deformación total es de 7.05 mm.

3.1.1.10 Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.1

En la siguiente tabla 13-3 se muestra la cantidad de energía aportada en cada cordón de soldadura correspondiente a la probeta E03.1, la misma que se calculó mediante la ecuación (4) y (5).

Tabla 15-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.1

N.º Cordón	Voltaje [V]	Flujo de CO ₂ [lt/min]	Velocidad del alambre [cm/min]	Longitud del cordón [cm]	Tiempo de avance [min]	Velocidad del avance de Soldadura [cm/min]	Energía aportada KJ/ m
C1	18.6	12.0	5.5	12.5	0.653	19.1	510.2
C2	18.6	12.0	5.5	12.5	0.761	16.4	595.0
C3	18.6	12.0	5.5	5.0	0.312	16.0	609.9
C4	18.6	12.0	5.5	5.0	0.301	16.5	589.1
C5	18.6	12.0	5.5	5.0	0.859	5.8	1677.9
C6	18.6	12.0	5.5	5.0	0.819	6.0	1601.1
OBSERVACIÓN					Para el cálculo de la energía aportada se tomó en cuenta el rendimiento del proceso GMAW, n= 0.7.		

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

La energía aportada máxima en la junta soldada E03.1 es de 1677.9 KJ/m, la misma que ocurre en la junta C5 con una velocidad de avance 5.8 cm/min, a una longitud de soldadura de 5.0 cm.

3.1.1.11 Análisis mediante el método de elementos finitos-Prueba E03.2

En la siguiente tabla se detalla los resultados de deformación encontrados luego de aplicar el análisis de métodos de elementos finitos, en la cual se añade los factores controlables utilizados para la probeta E03.2.

En este análisis se aumentó el voltaje e igualmente el flujo de gas CO₂ con una velocidad de alambre considerada de 5.5 m/min para obtener una mejor penetración en el cordón de soldadura y disminuir la deformación causada por la temperatura.

Tabla 16-3: Análisis de la probeta E03.2

FACTORES CONTROLABLES	VALOR			UNIDAD
<i>voltaje</i>	18.6			voltios
<i>flujo de CO₂</i>	10.0			lt/min
<i>velocidad del alambre</i>	5.5			m/min
Temperatura	Deformación			
T(k)	x(mm)	y(mm)	z(mm)	Total(mm)
293.15	-3.81	-4.12	-0.05	0.00
442.24	-3.05	-3.26	1.04	1.15

Tabla 17-3(continua): Análisis de la probeta E03.2

591.33	-2.30	-2.40	2.13	2.30
740.41	-1.54	-1.54	3.22	3.45
889.50	-0.79	-0.68	4.31	4.61
1038.59	-0.03	0.18	5.41	5.76
1187.68	0.72	1.04	6.50	6.91
1336.76	1.48	1.90	7.59	8.06
1485.94	2.23	2.75	8.68	9.21
1634.94	2.99	3.61	9.77	10.36
1784.03	3.74	4.47	10.86	11.51
OBSERVACIÓN			-Para este análisis se tomó en cuenta todos los datos reales que intervienen en el proceso de soldadura. -El signo negativo significa que la deformación está en el eje negativo respecto al eje x, y, z.	

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Los resultados que se obtiene en la tabla 14-3 se detalla a continuación, que corresponde a los valores de deformaciones en los tres ejes de análisis en la cual se identifica los valores máximos del efecto termomecánico que adquiere la probeta luego del proceso de soldadura, a una temperatura máxima de 1784.03°C

- En el eje x se tiene un valor máximo de 3.74 mm.
- En el eje y se tiene un valor máximo de 4.47 mm.
- En el eje z se tiene un valor máximo de 10.86 mm.
- El valor de deformación total es de 11.51 mm.

3.1.1.12 Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.2

A continuación, se muestra la tabla de energía aportada en cada cordón de soldadura correspondiente a la probeta E03.2.

Tabla 18-3: Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.2

Nº Cordón	Voltaje [V]	Flujo de CO2 [lt/min]	Velocidad del alambre [cm/min]	Longitud del cordón [cm]	Tiempo de avance [min]	Velocidad del avance de Soldadura [cm/min]	Energía aportada [KJ/m]
C1	18.6	12.0	5.5	12.5	0.698	17.8	545.5
C2	18.6	12.0	5.5	12.5	0.700	17.8	546.8

Tabla 19-3(continua): Energía aportada en cada cordón de soldadura de la probeta E03.2

C3	18.6	12.0	5.5	5.0	0.295	16.9	577.4
C4	18.6	12.0	5.5	5.0	0.285	17.5	556.6
C5	18.6	12.0	5.5	5.0	0.875	5.7	1708.8
C6	18.6	12.0	5.5	5.0	0.853	5.8	1666.2
OBSERVACIÓN					Para el cálculo de la energía aportada se tomó en cuenta el rendimiento del proceso GMAW, n= 0.7.		

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

En la tabla 15-3 se muestra los valores correspondientes a la energía de aporte en los seis cordones de soldadura, la energía máxima se encuentra en el cordón C5 con un valor de 1708.8 KJ/m la misma que ocurre en un tiempo de avance de 52.50 segundos.

3.1.2 *Resultados de las combinaciones mediante el software Minitab.*

Para el análisis de resultados de deformación obtenidos mediante los métodos de elementos finitos de las seis juntas soldadas, se utilizó el software denominado Minitab la cual es una herramienta especializada en datos en la que se aplicó el teorema de Taguchi, donde se determinó la mejor combinación sugerida la cual se representa a continuación:

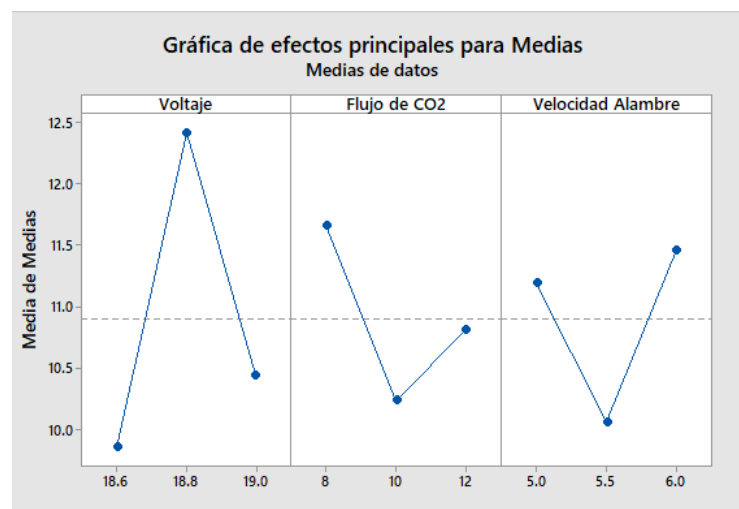


Gráfico 1-3: Graficas de los resultados de las combinaciones

Fuente: Autores

La gráfica 1-3 muestra la combinación óptima para que disminuyan las deformaciones en la junta soldada tipo K como: voltaje de 18.6 voltios, el flujo de CO₂ de 10.0 lt/min y la velocidad de alambre de 5.5 m/min. Después de aplicar el teorema de Taguchi se realizó ensayos no

destructivos en las juntas soldadas tipo K, con lo cual se obtendrá la junta con mejor calidad de soldadura aplicando los criterios de aceptación de la norma AWS D1.1 para su respectivo análisis.

3.1.3 *Análisis de los cordones de soldadura mediante el Ensayos no Destructivos.*

Se utilizó el procedimiento que debe seguir para realizar la inspección visual en la junta soldada tipo K, la misma que se adjunta en Anexo B, para luego desarrollar su respectivo reporte de aceptación o rechazo la cual se encuentra en el Anexo C.

Para el procedimiento de tintas penetrantes se siguió el procedimiento que se describe en el Anexo D, para luego desarrollar su respectivo reporte de aceptación o rechazo la misma que se puede visualizar en el Anexo E.

3.1.4 *Análisis de Resultados*

3.1.4.1 *Análisis de la Temperatura inicial*

Las deformaciones encontradas por medio del análisis de elementos finitos, donde se observa que la temperatura inicial es de 293.15 K, la misma que ocurre a causa de la distancia del electrodo, que es medido desde el borde de la boquilla hacia la punta del electrodo causando un incremento en la resistencia eléctrica y por ende se eleva la temperatura a la salida del electrodo. Para esta investigación los valores de extensión del electrodo es de 11 mm la cual se encuentran en el rango de 6.4mm a 12.7 mm para transferencia por corto circuito (Miller Electric Mfg. Co, 2012, pg. 31).

3.1.4.2 *Relación de la Energía Aportada, Deformación y Ensayos no Destructivos.*

Probeta E01.1

En el gráfico 1-3 se muestra la energía aportada en cada cordón de soldadura de la junta soldada E01.1 con los valores reales que actualmente trabajan la carrocería donde se realizó el ensayo, en la cual se observa que los valores 533.9 KJ/m y 540.5 KJ/m que corresponden al cordón 1 y 2 son los más bajos, a pesar que su longitud es de 12.5 cm, a comparación del cordón 5 y 6 que solo poseen una longitud de 5 cm, pero tienen la mayor energía aportada con valores de 1224.9 KJ/m y 1207.9 KJ/m, por lo que se puede decir que la energía aportada no se relaciona directamente con la longitud del cordón de soldadura, sino con el tipo de unión y con la dificultad de depositar el material.

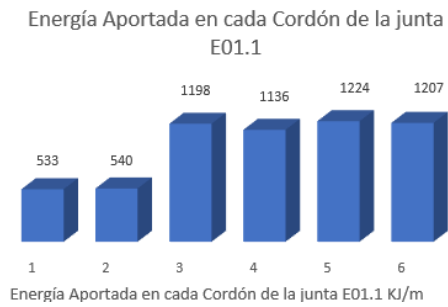


Gráfico 2-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E01.1

Realizado por: Autores, 2018

El valor de deformación total E01.1 es de 12.82mm a una temperatura máxima de 1784.03 K, la cual se encuentra fuera del rango de 10mm de tolerancia utilizada en dicha carrocería donde se hizo la investigación. Por medio de los ensayos no destructivos la probeta E01.1 tiene una porosidad en el cordón C3 y C4 mayores a 1/8 in (ver figura 3-3), la cual no cumple con los criterios de aceptación detallados en el Anexo C por lo tanto es rechazada.



Figura 3-3: Porosidad en el cordón de soldadura E01.1

Realizado por: Autores, 2018

Probeta E01.2

En el gráfico 3-2 se visualiza la energía aportada en cada condón de soldadura de la junta E01.2, los cordones con mayor valor de energía se encuentran en C5 y C6 tiene un de 1292.4 KJ/m y 1244 KJ/m, las mismas que tiene un tiempo de avance de 42.66 segundos y 41.10 segundos respectivamente donde se concluye que a mayor tiempo de avance, mayor será la energía de aporte en ese cordón.

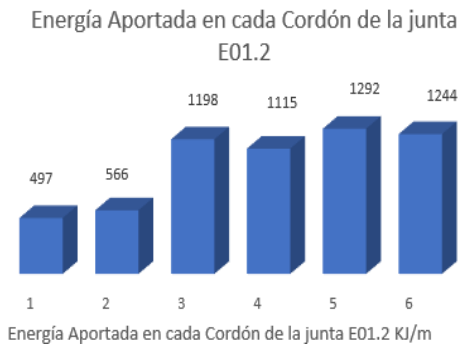


Gráfico 3-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E01.2
Realizado por: Autores, 2018

Los valores controlables que se utilizó en el ensayo E01.1 son datos reales con la que trabaja en la actualidad en la empresa en donde se realizó la investigación, hallando una deformación total de 12.92mm, la cual se encuentra fuera del rango de tolerancia que indica la empresa para dicho trabajo que es de 10.0 mm. Al realizar el análisis de ensayo no destructivo se encuentra una porosidad mayor a 1/8 in en el corcón C3, por lo tanto, no es aceptable



Figura 4-3: Discontinuidad en el cordón de soldadura E01.2

Realizado por: Autores, 2018

Probeta E02.1

Para la probeta E02.1 se planteó la nueva combinación de variables controlables con un voltaje de 18.6V, flujo de gas de 10.0 lt/min y velocidad de alambre de 5.0 m/min. En el cordón 1 y 2 se puede observar que la energía son menores comparados a los demás, ya que la velocidad de avance es 10.69 m/min y 9.840m/min respectivamente, pero en los cordones 3, 4, 5,6 tiene una unión con un ángulo de 45° por lo cual tiene dificultad para penetrarse y esto produce que adquiera mayores energías de aporte.

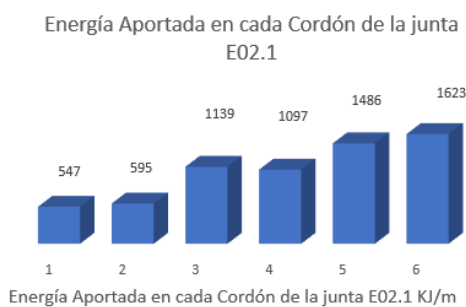


Gráfico 4-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E02.1
Realizado por: Autores, 2018

Aplicando el análisis de elemento finito en la probeta E02.1 se obtiene buenos resultados, la deformación total es de 7.53 mm, la misma que se encuentra dentro del rango de tolerancia de 10mm, donde se aplicó un voltaje de 18.6 voltios y una velocidad de alambre de 5 lt/min. Al realizar el ensayo no destructivo (ver ANEXO C y E), se visualiza que al utilizar un flujo de 10.0 lt/min se obtiene mayor recubrimiento de gas en los cordones de soldadura y como resultado cordones uniformes, sin encontrar porosidades y se acepta la soldadura (ver figura 5-3).



Figura 5-3: Uniformidad del cordón de soldadura en la junta E02.1

Realizado por: Autores, 2018

Probeta E02.2

En la probeta E02.2 se plantea las mismas combinaciones que la probeta E02.1 con el objetivo de corroborar los resultados, en la gráfica 5-3 se puede divisar que los cordones con mayor aporte de Energía se encuentran en la soldadura C5 y C6, con valores de 1628.1 KJ/m y 1594.9 KJ/m respectivamente por la dificultad que se presenta al momento de realizar el aporte del material. La deformación total tiene un valor de 9.79 mm la cual está dentro de la tolerancia de 10 mm para la fabricación de carrocería en dicha empresa.

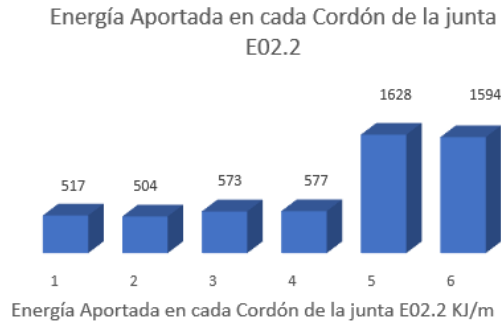


Gráfico 5-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E02.2
Realizado por: Autores, 2018

Al aumentar el flujo de CO₂ a 10 lt/ min se aumenta considerablemente la capa protectora, evitando que entre en contacto con el medio exterior obteniendo así un buen cordón de soldadura como lo muestra en la figura 6-3, por lo cual aprueba los criterios de aceptación definidos en el Anexo C y es aceptada al igual que la probeta E02.1.



Figura 6-3: Cordón de la junta soldada E02.2
Realizado por: Autores, 2018

Probeta E03.1

En este ensayo se aplicó una nueva combinación con los siguientes parámetros: voltaje de 19.0 voltios, flujo de CO₂ de 12.0 lt/min y la velocidad de alambre de 5.5 m/min que actúan a una corriente de 120 amperios. En el grafico 3-5 se muestra la energía que tiene mayor relevancia con un valor de 1677.9 KJ/m que corresponde al cordón de soldadura C5, que influenciada por la velocidad de avance de 5.8 cm/min, con la que se concluye que a menor velocidad mayor será el aporte de energía.

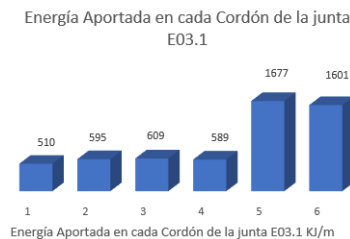


Gráfico 6-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E03.1
Realizado por: Autores, 2018

También se analiza por medio del ensayo no destructivo que consiste en la inspección visual y tintas penetrantes, donde existe 1 porosidad mayor a 1/8 in en el Cordón C5, por lo tanto, la soldadura no es aceptable a pesar de que las deformaciones encontradas son menores a 10 mm.



Figura 7-3: Porosidad en la junta soldada E03.1
Realizado por: Autores, 2018

Probeta E03.2

Por medio del análisis de método de elemento finitos se halló una deformación total de 11.51 mm, la misma que se encuentra fuera del valor de tolerancia en la construcción de carrocería de dicha empresa que es de 10 mm. Al realizar el análisis gráfico de la energía aportada en cada cordón de soldadura (ver gráfica 7-3), se visualiza que el cordón con C5 presenta la mayor energía que es de 1708 KJ/m, el tiempo en que se ejecutó este cordón es de 52.5 segundo, lo que se concluye que mayor tiempo de avance mayor será la energía de aporte.

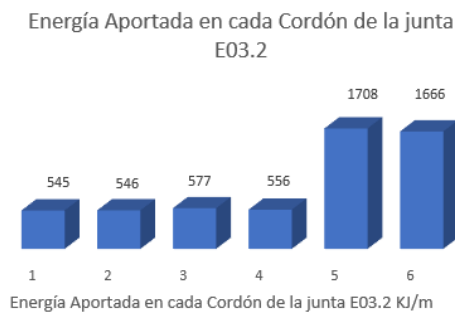


Gráfico 7-3: Energía Aportada en el cordón de soldadura E03.2
Realizado por: Autores, 2018

Mediante la inspección visual y tintas penetrantes se encontró una soldadura irregular, con falta de fusión y una porosidad mayor a 1/8 pulgada en el Cordón C4, por lo cual no es aceptable como se muestra en el siguiente la figura 8-3.



Figura 8-3: Cordón irregular de la junta soldada E03.2
Realizado por: Autores, 2018

3.1.4.3 Análisis de la Deformación vs. Temperatura

En la figura 9-3 se puede observar las seis curvas que representa las combinaciones aplicadas en el análisis mediante el método de elementos finitos, en misma se visualiza claramente que el ensayo E02.1 (color vino) tiene la menor deformación causada por la temperatura, por ende, este es la mejor combinación y al realizar los ensayos no destructivos se puede comprobar la calidad de soldadura.

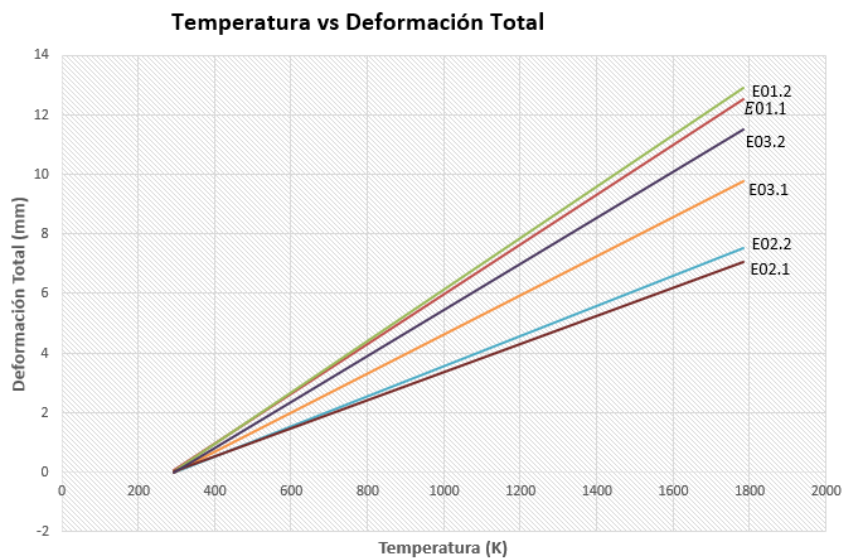


Gráfico 8-3: Gráfica de deformación total vs. temperatura
Realizado por: Autores, 2018

Para tener una mayor idea de la deformación de la junta soldada, a continuación se refleja el fenómeno que ocurre luego del proceso de soldadura con la tres combinaciones que se detallado anteriormente en la tabla 2-2.

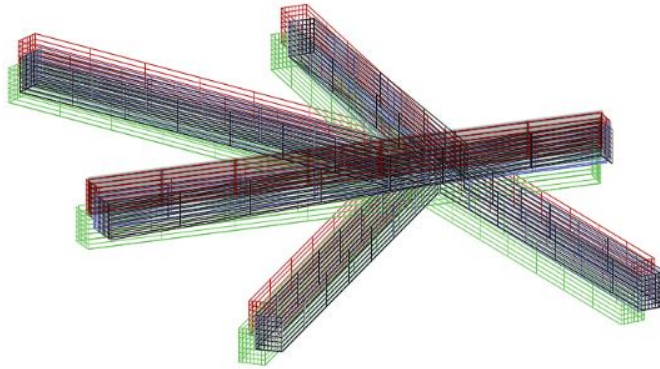


Figura 9-3: Deformaciones de la junta soldada tipo k
Fuente: Autores, 2018

A continuación, se identifica los colores que se muestra en la figura 9-3:

- Color negro: Es la junta sin deformaciones.
- Color rojo: Es la junta con la primera combinación E01.1-E01.2
- Color azul: Es la junta con la segunda combinación E02.1-02.2
- Color verde: Es la junta con la tercera combinación E03.1- E03.2

Se puede observar que la mejor combinación es el número 2(color azul), ya que luego de la soldadura, éste presenta la menor deformación en los tres ejes, la cual se apega a la junta origina (color negro).

CONCLUSIONES

- Las variables de la combinación E01.1 y E01.2 son datos reales con los cuales en la actualidad trabajan las empresas carroceras, al realizar el análisis experimental, mediante método de elementos finitos y aplicar ensayos no destructivos , se encuentra como resultado que la deformación total es de 12.93mm, por lo cual no cumple con el rango establecido para la fabricación de carrocería en dicha empresa que es de 10.0 mm, en el reporte de inspección visual y tintas penetrantes es rechazada la soldadura porque existe porosidades mayores de 1/8 pulgada.
- Mediante la aplicación del Método de Elemento Finito se concluye que la combinación E02.1 y E02.2 con la velocidad de alambre de 5.0 m/min, voltaje 18.6 voltios y flujo de CO₂ de 10.0 lt/min, posee la menor deformación en el proceso de soldadura con un valor de 7.53mm, la misma que se encuentra dentro del rango de 10.0 mm de tolerancia para la construcción de la carrocería en dicha empresa y mediante los ensayos no destructivos de inspección visual y tintas penetrantes, se concluye que los cordones de soldadura disminuye notablemente las discontinuidades sin encontrar porosidad, dándonos un cordón de buena calidad.
- Al realizar el análisis experimental, mediante método de elementos finitos y aplicar ensayos no destructivos de las probetas E03.1 y E03.1 se puede comprobar que los datos de deformación encontrados es de 7.05 mm y 11.51 mm respectivamente, por lo cual cumple con el rango establecido para la fabricación de carrocería en dicha empresa que es de 10 mm de tolerancia, pero al revisar el reporte de inspección visual y tintas penetrantes la soldadura es rechazada por encontrar porosidades mayores de 1/8 pulgada.
- Se realizó la comparación entre el análisis del método de elementos finitos y el ensayo experimental obteniendo valores semejantes lo cual valida la investigación.

RECOMENDACIONES

- Realizar la limpieza correcta de las partes de la junta soldada tipo k ya sea en la preparación y en el proceso de soldadura.
- Se recomienda verificar las mediciones de la junta en la etapa de preparación de las partes que constituyen la misma.
- Para estudios posteriores se recomienda utilizar software especializados en el proceso de soldadura, con el objetivo de facilitar el análisis de las deformaciones en las juntas estudiadas con mayor facilidad.
- Hacer una inspección de los equipos a utilizar en el proceso de soldadura con el objetivo de controlar que no exista variaciones en los parámetros establecidos.
- Para todo el proceso de soldadura se recomienda la utilización el equipo de protección con el propósito de precautelar las lesiones que pueden ocurrir.
- Se recomienda realizar un análisis metalográfico del cordón de soldadura de las combinaciones de las variables aplicadas, para garantizar la calidad de la junta.

BIBLIOGRAFÍA

REVISTA LIDERES. *La industria automotriz activa planes [en línea]*. Ecuador 2016. [Consultado el: 06 de 08 de 2017] Disponible en: <http://www.revistalideres.ec/lideres/industria-automotriz-ecuador-vehiculos-generalmotors.html>

FERNANDEZ, Alberto. *Publicación técnica del Centro de Experimentación y Seguridad Vial Mapfre*. Rioja-España. 2011. [Consulta: 06 de 08 de 2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/256997>

EI TELEGRAFO. *La industria automotriz crecerá entre 16 y 19% [en línea]*. Ecuador 2017. [Consultado el: 10 de 13 de 2017] Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/la-industria-automotriz-crecera-entre-16-y-19>

PERSPECTIVA. *La industria automotriz [en línea]*. Ecuador 2012. [Consultado el: 10 de 10 de 2017] Disponible en: <http://investiga.ide.edu.ec/index.php/70-estadisticas/empresas-sectores/384-industria-automotriz>

REVISTA LIDERES. *54 empresas carroceras ya tienen su certificación [en línea]*. Ecuador 2015. [Consultado el: 08 de 10 de 2017] Disponible en: <http://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-carroceras-buses-certificacionm-agencia.html>

ASOCIACION DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR. *Sector Automotor en cifras [En Línea]*, 2017, Quito-Ecuador, pg. 5. [Consultado el: 1 de 11 de 2017] Disponible en: http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/03/Sector-en-cifras_6-Marzo-2017.pdf

EI TELEGRAFO. *El sector carroceros factura \$ 80 millones al año*. Ecuador 2017. [Consultado el: 10 de 13 de 2018] Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/el-sector-carroceros-factura-usd-80-millones-al-ano>

MONROY, Cristóbal. *La soldadura. [en línea]*. I.E.S 2015. [Consultado el: 09 de 04 de 2018] Disponible en: <https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Soldadura.pdf>

ASTM 143-02 INTERNATIONAL. American Society of Testing Materials, *Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature.*

Oxgasa. *Manual del Soldador.* El Salvador: Paraninfo, 2015. pp. 5-18.

West arc. *Manual de Soldadura.* Bogotá-Colombia: Paraninfo, 2015. pp. 12.

MARTÍN, José . *Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval.* Barcelona-España. 2011. [Consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13730/PFC-%20Procesos%20soldadura%20aplicados%20en%20construccion%20naval.pdf>

Escuela Colombiana de Ingeniería. *Soldadura.* Colombia. Edición 2008-1. [Consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en :https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637_soldadura.pdf

ADIM. *Proceso y definiciones de Smaw.* [blog].17 de Marzo de 2015. Consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://www.ceti.cl/blog/procesos-y-definiciones-smaw/>

MARIN, Andres. *Soldadura y Estructuras.* [blog]. 2016. Consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>

MCCORMAC, Jack C. & CSERNAK, Stephen F., *Diseño de Estructuras de Acero.* 5^{ta} ed. Alfaomega México, 2012, pg. 469-472.

SOLA PERE, Morela. *Soldadura Industrial: clases y aplicaciones,* Barcelona-España Marcombo, 1992, pg., 9-11.

CORRALES CORDOVA, Jairo David. *Estudio del proceso de soldadura gmaw con alambre ER70S-3 y ER70S-6 en el proceso de fabricación de carrocerías utilizando perfiles conformados de acero galvanizado ASTM a-924M para determinar la defectología en las juntas soldadas en la empresa carrocerías Fiallos(tesis), (ingeniería), Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2016, pg. 29*

ANDRADE GARCÍA, Luis Eduardo & MÉNDEZ CANCHIG Pablo Xavier. *Estudio del diseño de una carrocería con análisis de esfuerzos estáticos y dinámicos de un autobús de la marca patricio cepeda calificada con norma ISO 9001-2008 mediante la aplicación de un*

software para el cálculo de las fuerzas (tesis), (ingeniería), Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador, 2012, pg. 109-111

GUTIERREZ PULIDO, Humberto & DE LA VARA SALAZAR Román. *Análisis y Diseño de Experimentos*, 2^{da} ed. México D. F. Mc Graw Hill, 2008, pg. 296-308.

GONZALES MACÍAS, Misael. *Diseño de Experimento Robusto (Taguchi)* [en línea], 2011. [Consulta: 12 abril 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/52364952/Diseno-de-Experimentos-Robusto-Metodo-de-Taguchi>

ANDRADE GARCIA, Lui Eduardo & MÉNDEZ CANCHIG, Pablo Xavier. *Estudio del diseño de una carrocería con análisis de esfuerzos estáticos y dinámicos de un autobús de la marca patricio cepeda calificada con norma ISO 9001-2008 mediante la aplicación de un software para el cálculo de las fuerzas* [En línea] (Tesis). Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. 2012. pg. 56-57. [Consulta: 2018-08-02]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5761>

ANDRADE ÁLVAREZ, Alex Fabián & JARAMILLO MADRID, Guido Antonio. *Diseño y Construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la fórmula automovilística universitaria (fau)*. [En línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2009. pg. 50-51. Consulta: 2018-08-02]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf>

CEDE. *Carrocerías y bastidores: Tipos, características, procesos de fabricación, elementos que los componen y métodos de ensamblado y unión de éstos*. Cartagena- Colombia. [Consulta: 2018-08-02]. Disponible en: https://www.serina.es/empresas/cede_muestra/304/TEMA/MUESTRA.pdf

OROZCO SALCEDO, Marco Andrés, & VELÁSQUEZ BENALCÁZAR, Juan Carlos. *Diseño de una estructura de carrocería de bus por software de computador bajo normas técnicas internacionales*. [En línea] (Tesis). Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. 2005. pg. 18.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (NTE-INEN 1323:2009). *Vehículos Automotores. Carrocerías de buses. Requisitos*.

REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO (RTE INEN 043:2015). *Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.*

VERA HERRERA, Rocio Monica. *La elaboración de la matriz de involucrados sociales en los proyectos de inversión pública (PIP).* [blog].2015. Consulta: 1 de Octubre de 2018]. Disponible en: http://aempresarial.com/servicios/revista/82_55_STOHYVXDHVKFMGSBNNRFSAJGAPCKWJZODOWBKTERPPWCVPDJCV.pdf

MILLER ELECTRIC Mfg. Co. *Soldadura por arco con electrodo metálico protegido por gas,* Winsconsin, Estados Unidos. [Consulta: 2018-10-09]. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario1/Downloads/SP_SAMPLE_Topic8_250834004.pdf

RIOS GONZALES, Raul Alexander. *Simulación de la deflexión en las juntas soldadas por GMAW de un hierro dulce, utilizando la técnica de elementos finitos.* [En línea] (Tesis). (ingeniería), Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, 2015, pg. 4-5.