



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN POR TEMPERATURA  
EN UNA JUNTA SOLDADA DE LA ESTRUCTURA  
LATERAL DE UNA CARROCERÍA DE UN AUTOBÚS  
INTERPROVINCIAL”**

**GARCIA BRAVO KEVIN RUBÉN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
TIPO: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-12-07

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**GARCÍA BRAVO KEVIN RUBÉN**

Titulado:

**“ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN POR TEMPERATURA EN UNA JUNTA  
SOLDADA DE LA ESTRUCTURA LATERAL DE UNA CARROCERÍA DE UN  
AUTOBÚS INTERPROVINCIAL”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Milton Israel Quinga Morales  
**DIRECTOR**

---

Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy  
**ASESOR**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GARCÍA BRAVO KEVIN RUBÉN

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN POR TEMPERATURA EN UNA JUNTA SOLDADA DE LA ESTRUCTURA LATERAL DE UNA CARROCERÍA DE UN AUTOBÚS INTERPROVINCIAL”

**Fecha de Examinación:** 2017-11-27

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB.DEFENSA</b>			
Ing. Milton Israel Quinga Morales <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* 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 DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de titulación que presento, 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.

---

**García Bravo Kevin Rubén**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Kevin Rubén García Bravo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi 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 autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de grado.

---

**García Bravo Kevin Rubén**  
Cédula de Identidad: 060393815-0

## **DEDICATORIA**

A mi querido Logan. A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional en cada una de mis etapas, quienes además me han enseñado a nunca darme por vencido y que no hay imposibles que con trabajo y dedicación no se puedan cumplir.

***Kevin Rubén García Bravo.***

## **AGRADECIMIENTO**

La concepción de este proyecto, está dedicado a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación y en especial a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora.

*Kevin Rubén García Bravo.*

# CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problematización.....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Alcance .....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	3
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Marco Teórico Conceptual.....	5
2.1.1 <i>Cambio de la Matriz Productiva</i> .....	5
2.1.2 <i>Carrocerías</i> .....	6
2.1.2.1 <i>Evolución de las Carrocerías</i> .....	6
2.1.2.2 <i>Materia prima</i> .....	9
2.1.2.3 <i>Producción de las carrocerías en Ecuador</i> .....	9
2.1.3 <i>Autobuses</i> .....	10
2.1.4 <i>Especificaciones Técnicas de Buses Interprovinciales en Ecuador</i> .....	12
2.1.5 <i>Vida útil de las carrocerías</i> .....	13
2.1.6 <i>Soldadura</i> .....	14
2.1.6.1 <i>Factores a considerar en el proceso de soldadura</i> .....	14
2.1.6.2 <i>Tipos de soldadura</i> .....	15
2.1.6.3 <i>Tipos de juntas soldadas</i> .....	19
2.1.6.4 <i>Requisitos del soldador</i> .....	20
2.1.6.5 <i>Procedimiento de soldadura en juntas</i> .....	22
2.1.6.6 <i>Deformación por soldadura</i> .....	23
2.1.7 <i>Herramientas Utilizadas en el experimento</i> .....	26
2.1.7.1 <i>Calibrador pie de rey</i> .....	26
2.1.7.2 <i>Calibrador de lámina estándar</i> .....	26
2.1.7.3 <i>Máquina de soldar</i> .....	27
2.1.7.4 <i>Cortadora laser</i> .....	27
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>29</b>
2. DISEÑO METODOLÓGICO .....	29
2.1 Calidad del producto según Taguchi.....	29
2.1.1 <i>Concepto de robustez</i> .....	30
2.1.2 <i>Arreglos ortogonales</i> .....	31

2.2	Normas de construcción .....	32
2.2.1	<i>Norma NTE INEN 1323</i> .....	32
2.2.2	<i>Norma NTE INEN 1623</i> .....	34
2.2.3	<i>Norma NTE INEN 1668</i> .....	35
2.2.4	<i>Norma RTE INEN 043</i> .....	35
2.3	Diseño de Experimentos .....	37
2.3.1	Factores.....	37
2.3.2	Variables de respuesta .....	39
2.4	Matriz de involucrados .....	40
2.5	Árbol de problemas .....	41
2.6	Árbol de objetivos .....	42
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>43</b>
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
3.1	Resultados.....	43
3.1.1	<i>Tabla de resultado de medición</i> .....	43
3.1.2	<i>EIP1</i> .....	45
3.1.2.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	45
3.1.2.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	46
3.1.2.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	46
3.1.2.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	47
3.1.3	<i>EIP2</i> .....	47
3.1.3.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	47
3.1.3.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	48
3.1.3.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	48
3.1.4	<i>EIP3</i> .....	49
3.1.4.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	49
3.1.4.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	49
3.1.4.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	49
3.1.4.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	50
3.1.5	<i>EIP4</i> .....	50
3.1.5.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	50
3.1.5.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	50
3.1.5.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	51
3.1.5.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	51
3.1.6	<i>EIP5</i> .....	51
3.1.6.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	51
3.1.6.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	52

3.1.6.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	52
3.1.6.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	52
3.1.7	<i>EIP6</i> .....	53
3.1.7.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	53
3.1.7.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	53
3.1.7.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	53
3.1.7.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	54
3.1.8	<i>EIP7</i> .....	54
3.1.8.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	54
3.1.8.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	54
3.1.8.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	55
3.1.8.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	55
3.1.9	<i>EIP8</i> .....	55
3.1.9.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	55
3.1.9.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	56
3.1.9.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	56
3.1.9.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	56
3.1.10	<i>EIP9</i> .....	57
3.1.10.1	<i>Variación de la temperatura</i> .....	57
3.1.10.2	<i>Distorsión en el eje X</i> .....	57
3.1.10.3	<i>Distorsión en el eje Y</i> .....	57
3.1.10.4	<i>Distorsión en el eje Z</i> .....	58
3.1.11	<i>Análisis de resultados</i> .....	58
3.2	<i>Conclusiones</i> .....	64
3.3	<i>Recomendaciones</i> .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1- 1.</b>	Composición Química (Valores Típicos).....	9
<b>Tabla 1- 2.</b>	Propiedades Mecánicas .....	9
<b>Tabla 1- 3.</b>	Ficha técnica (cortadora láser ricoh cnc).....	28
<b>Tabla 2- 4.</b>	Arreglos ortogonales .....	32
<b>Tabla 2-5.</b>	Detalle del experimento.....	39
<b>Tabla 2- 6.</b>	Matriz de involucrados .....	40
<b>Tabla 3- 7.</b>	Tabla de resultados primera repetición.....	43
<b>Tabla 1- 8.</b>	Tabla de resultados segunda repetición .....	44
<b>Tabla 3- 9.</b>	Tabla de resultados segunda repetición .....	44
<b>Tabla 3- 10.</b>	Tabla de resultados simulación .....	45
<b>Tabla 3- 11.</b>	Análisis de resultados para el eje X.....	58
<b>Tabla 3- 12.</b>	Análisis de resultados para el eje Y.....	59
<b>Tabla 3- 13.</b>	Análisis de resultados para el eje Z .....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 2- 1:</b>	Forma Típica de la función de pérdida de Taguchi .....	30
<b>Gráfico3- 2:</b>	Variación de la temperatura E1P1 .....	45
<b>Gráfico3- 3:</b>	Distorsión en el eje X para E1P1 .....	46
<b>Gráfico3- 4:</b>	Distorsión en el eje Y.....	46
<b>Gráfico 3- 5:</b>	Distorsión en el eje Z Todas estas de aquí hasta el final son gráficos	47
<b>Gráfico 3- 6:</b>	Variación de la temperatura E1P2 .....	47
<b>Gráfico 3-7:</b>	Distorsión en el eje X E1P2 .....	48
<b>Gráfico3- 8:</b>	Distorsión en el eje Y E1P2 .....	48
<b>Gráfico 3- 9:</b>	Distorsión en el eje Z E1P2.....	48
<b>Gráfico 3- 10:</b>	Variación de la temperatura E1P3 .....	49
<b>Gráfico 3-11:</b>	Distorsión en el eje X E1P3 .....	49
<b>Gráfico 3- 12:</b>	Distorsión en el eje Y E1P3 .....	49
<b>Gráfico 3- 13:</b>	Distorsión en el eje Z E1P3.....	50
<b>Gráfico 3-14:</b>	Variación de la temperatura E1P4 .....	50
<b>Gráfico 3- 15:</b>	Distorsión en el eje X E1P4 .....	50
<b>Gráfico 3- 16:</b>	Distorsión en el eje Y E1P4 .....	51
<b>Gráfico 3- 17:</b>	Distorsión en el eje Z E1P4.....	51
<b>Gráfico 3- 18:</b>	Variación de la temperatura E1P5 .....	51
<b>Gráfico 3- 19:</b>	Distorsión en el eje X E1P5 .....	52
<b>Gráfico 3- 20:</b>	Distorsión en el eje Y E1P5 .....	52
<b>Gráfico 3- 21:</b>	Distorsión en el eje Z E1P5.....	52
<b>Gráfico 3- 22:</b>	Variación de la temperatura E1P6 .....	53
<b>Gráfico 3- 23:</b>	Distorsión en el eje X E1P6 .....	53
<b>Gráfico 3- 24:</b>	Distorsión en el eje Y E1P6.....	53
<b>Gráfico 3- 25:</b>	Distorsión en el eje Z E1P6.....	54
<b>Gráfico 3- 26:</b>	Variación en la temperatura E1P7 .....	54
<b>Gráfico 3- 27:</b>	Distorsión en el eje X E1P7 .....	54
<b>Gráfico 3- 28:</b>	Distorsión en el eje Y E1P7 .....	55
<b>Gráfico 3- 29:</b>	Distorsión en el eje Z E1P7.....	55
<b>Gráfico 3- 30:</b>	Variación de la temperatura E1P8 .....	55
<b>Gráfico 3- 31:</b>	Distorsión en el eje X E1P8 .....	56
<b>Gráfico 3- 32:</b>	Distorsión en el eje Y E1P8 .....	56

<b>Gráfico 3- 33:</b>	Distorsión en el eje Z E1P8.....	56
<b>Gráfico 3- 34:</b>	Variación de la temperatura E1P9 .....	57
<b>Gráfico 3- 35:</b>	Distorsión en el eje X E1P9 .....	57
<b>Gráfico 3- 36:</b>	Distorsión en el eje Y E1P9 .....	57
<b>Gráfico 3- 37:</b>	Distorsión en el eje Z E1P9.....	58
<b>Gráfico 3- 38:</b>	Gráficas de efectos principales para las deformaciones en X.....	59
<b>Gráfico 3- 39:</b>	Gráficas de efectos principales para las deformaciones en Y .....	60
<b>Gráfico 3- 40:</b>	Gráficas de efectos principales para las deformaciones en Z .....	61
<b>Gráfico 3- 41:</b>	Efectos principales para las deformaciones en X simulación. ....	61
<b>Gráfico 3- 42:</b>	Efectos principales para las deformaciones en Y simulación. ....	62
<b>Gráfico 3- 43:</b>	Efectos principales para las deformaciones en Z simulación. ....	62
<b>Gráfico 3- 44:</b>	Graficas de distribución eje X.....	63
<b>Gráfico 3- 45:</b>	Graficas de distribución eje Y.....	63
<b>Gráfico 3- 46:</b>	Graficas de distribución eje Z .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1- 1:</b>	Cambio de la Matriz Productiva: insumos para análisis .....	5
<b>Figura 1- 2:</b>	Carrocerías .....	6
<b>Figura 1- 3:</b>	Cronología de la evolución de la carrocería.....	7
<b>Figura 1- 4:</b>	Construcción de las carrocerías.....	10
<b>Figura 1- 5:</b>	Primeros autobuses .....	11
<b>Figura 1- 6:</b>	Proceso de construcción de las carrocerías. ....	16
<b>Figura 1- 7:</b>	Equipo de soldadura.....	17
<b>Figura 1- 8:</b>	Junta a tope. ....	19
<b>Figura 1- 9:</b>	Junta en esquina. ....	19
<b>Figura 1- 10:</b>	Junta en T.....	20
<b>Figura 1- 11:</b>	Junta en Traslape o solape. ....	20
<b>Figura 1- 12:</b>	Junta de borde. ....	20
<b>Figura 1- 13:</b>	Tipos de deformaciones. ....	24
<b>Figura 1- 14:</b>	Cartabón.....	26
<b>Figura 1- 15:</b>	Calibrador de lámina estándar .....	27
<b>Figura 1- 16:</b>	Soldadora MIG.....	27
<b>Figura 2- 17:</b>	Método de soldadura.....	39
<b>Figura 2- 18:</b>	Método de soldadura.....	39
<b>Figura 2- 19:</b>	Árbol del problema .....	41
<b>Figura 2- 20:</b>	Árbol de objetivos.....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A</b>	Base de referencia para realización de soldadura
<b>Anexo B</b>	Cortadora eléctrica de cierra
<b>Anexo C</b>	Perfiles con medidas necesarias para el experimento
<b>Anexo D</b>	Desalineamiento de juntos luego de la soldadura
<b>Anexo E</b>	Variación de ángulos de inclinación en las juntas luego de soldarlas
<b>Anexo F</b>	Ubicación de perfiles cortados a medidas para realizar soldadura
<b>Anexo G</b>	Soldadura
<b>Anexo H</b>	Acabado de corte hecho por la máquina
<b>Anexo I</b>	Inicio del corte sobre el perfil
<b>Anexo J</b>	Demostración del poco material que se pierde en el proceso de corte.
<b>Anexo K</b>	Cortadora de cinta
<b>Anexo L</b>	Soldadora MIG C
<b>Anexo M</b>	Ficha de recolección de datos

## RESUMEN

La presente investigación pretende encontrar datos de desalineación que son causados por el cambio de temperatura originados en el proceso de soldadura, utilizando métodos de calidad basados en la filosofía de Taguchi, específicamente en su concepto de robustez con el objetivo de generar un diseño de experimento insensible tanto a factores externos como internos no controlables, determinando así un arreglo ortogonal  $L_9$ , que consta de tres factores y tres niveles cada uno, mismos que son parámetros fácilmente controlables y pueden alterar el desempeño del material al realizar el proceso de soldadura. Esto se define con la finalidad de tener mayor precisión en la determinación de linealidad posible en las gráficas de grado de afectación que nos servirán para obtener los resultados del experimento. Posterior a esto se corrobora dichos datos con ayuda de un software especializado en simulación denominado Simufact Welding. Este estudio es de vital importancia pues la zona centro del país es una potencia en auge en lo que se refiera a manufactura siendo uno de los sectores que mayor plazas de trabajo generan así como una de las que mayor demanda tiene, por esta razón se aspira eliminar el método empírico empleado hasta el momento, debido a que en la República del Ecuador se ha iniciado el proceso de implementación de ingeniería de alto nivel con la cual se tendrá en consideración que cada proceso que se realice para ensamblar un automotor especialmente del tipo autobús sea realizado sin ningún método improvisado sino por el contrario estén regidas a cada norma implementada. En conclusión, con esta iniciativa el país proyecta la utilización de bienes y servicios regido por normas y estándares de calidad, dando como resultado una herramienta de uso seguro, eficiente y eficaz sin ningún defecto o complicación a futuro. Por lo que se recomienda la aplicación de este estudio para obtener productos de carrocerías destacadas y de esta forma lograr posicionar a nuestro país como productor y exportador de productos de alto nivel.

**Palabras claves:** <INGENIERIA AUTOMOTRÍZ> <CARROCEÍAS> <AUTOBUS>  
<SOLDADURA DE JUNTAS> <EXPANCIÓN TÉRMICA> <DEFORMACIÓN POR SOLDADURA> <VARIABLE DE SALIDA>

## ABSTRACT

The present research work was carried out to analyze the misalignment data that are caused by the temperature change originated in the welding process, quality method based on the philosophy Taguchi's. It is especially in its concept of power in order to generate a design of experiment insensitive to both external and internal non-controllable factors determining an orthogonal arrangement  $L_9$  that consists of three factors and three levels each one, which are easily controllable parameters and can alter the performance of material, when performing the welding process. This is defined in order to have greater precision in the determination of possible linearity in the affectation graphs that will help us to obtain the results about experiment. After that, these data validated with the assistance of a simulation software called Simufact Welding. This study is important because central zone in this country is a booming power refers to manufacturing being one of the sectors that generate more jobs and the highest demands. For this reason, it hoped to eliminate the empirical method used so far, because in Ecuador the process implementation in high level engineering has been initiated which it will be taken into consideration each process that is carried out to assemble a vehicle especially in the bus type; it is carried out without any improvised method. But, on the contrary the are governed to each norm implemented. In conclusion, with this initiative the country projects the use of goods and services governed by quality standards and standards, resulting in a tool for safe, efficient and effective use without any defect or complication in the future. Therefore, it recommends the application of this study in order to obtain outstanding body products and in this way to position our country as a producer and exporter of high-level products.

**Keywords:** <AUTOMOTIVE ENGINEERING> <BODYWORKS> <BUS> <JUNCTION WELDING> <THERMAL EXPANSION> <DEFORMATION BY SOLDAURA> <VARIABLE OUTPUT>



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problematización

En la República del Ecuador el autobús es el medio de transporte que utilizan las masas para trasladarse tanto en entornos urbanos como rurales sea de una provincia a otra o dentro de la ciudad. Su capacidad y confort difieren del sector al cual va destinada su utilización.

El modo de construcción en nuestro país se basó durante varios años en adquirir un camión en chasis, retirar la cabina y a este elemento dotarlo de una carrocería misma que era construida sin consideración alguna en cuanto a diseño y normas se refiere, en otras palabras, realizaban construcciones totalmente empíricas. El conflicto que genera este método es el incumplimiento de estándares de calidad y la carencia de seguridad que se brinda a los usuarios.

El punto clave en la construcción de una estructura para autobús se basa en la alineación de los elementos que este contenga, posterior a un proceso de soldadura que exista sobre los mismo. El efecto de la deformación por temperatura producto de la soldadura da como resultado el problema de desalineación lo que conlleva a usar varios métodos para solucionar este defecto incluyendo golpes fuertes a los elementos y juntas soldadas, así como también métodos de calentamiento sobre el material deformado y de esta manera dar solución al defecto para poder continuar con el proceso.

Conforme cambian las leyes y normativas a nivel nacional, los métodos de construcción también han sido modificado, desde la selección de un vehículo cuyo objetivo de utilización es netamente la de un autobús, hasta el estudio de construcción de carrocerías, materia prima de construcción, perfiles óptimos, vidrios, etc.

Tomando como punto de partida lo antes mencionado se empezaron a realizar estudios de durabilidad del elemento y pruebas para solucionar posibles fallas que se puedan presentar en la carrocería. En el caso específico de la estructura lateral, esta deberá resistir los esfuerzos tanto de flexión como de torsión a demás cargas externas e internas, por tanto, deberá estar apto para soportar temperaturas elevadas, fuerzas puntuales y distribuidas en todas las direcciones.

Varios han sido los estudios realizados para perfiles de grandes dimensiones, el proceso de soldadura que se lleva a cabo en ellos, así como la afectación que sufre su microestructura. Pero en el caso de perfiles pequeños no se ha analizado su comportamiento respecto a que sucede con ellos luego de soportar todos los esfuerzos mencionados anteriormente.

## **1.2 Justificación**

El medio de transporte masivo y que genera una gran demanda en el territorio ecuatoriano es sin lugar a duda el autobús, razón por la cual el proceso que involucre su manufactura deberá estar regido a métodos de construcción que brinden la garantía, durabilidad y seguridad para el usuario.

Ciertos detalles de construcción en los cuales se emplean métodos empíricos no permiten tener en cuenta parámetros de gran importancia como por ejemplo el punto de fluencia y resistencia a la tracción que se ven afectados por los puntos antes mencionados.

La construcción de los detalles a los que se hace referencia emplean el uso de métodos de eliminación de efectos de soldadura los cuales requerían la usanza de un martillo para lograr alinear la estructura. El efecto de la deformación por temperatura producto de la soldadura da como resultado el problema de desalineación lo que conlleva a usar varios métodos como se mencionaba anteriormente para solucionar este defecto incluyendo golpes fuertes a los elementos y juntas soldadas y también métodos de calentamiento sobre el material deformado y de este modo dar solución al defecto y continuar con el proceso.

Dichos métodos son los principales causantes de todos los esfuerzos que están inmersos en puntos en los cuales son aplicados, ocasionando también cargas acumuladas y reduciendo de esta forma la vida útil de la carrocería.

En la actualidad en la república del Ecuador se ha incrementado el control en la calidad en cuanto a fabricación de carrocerías para autobuses regido por varios códigos, entre ellos el código AWS en el que se toma en cuenta materiales de construcción, métodos de soldadura general y métodos de soldadura de juntas, siendo la última el principal elemento en el que se basa la presente investigación.

Es por este motivo que es inherente la necesidad de abolir métodos que no cumplan con los estándares de calidad requeridos para de esta forma lograr establecer en el país métodos de ingeniería acorde a la época. Lo que pretende esta iniciativa es sin lugar a duda, entregar a los usuarios productos que brinden confianza y no presente perjuicio alguno a sus usuarios.

### **1.3 Alcance**

Investigar los efectos provocados por soldadura en una junta tipo T de perfil estructural cuadrado de 2 pulgadas, por medio de un diseño experimental que nos permita controlar una serie de factores y sus combinaciones, para delimitar una variable de respuesta que permitan predecir la deformación total de un panel lateral de la carrocería de un autobús interprovincial.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 *Objetivo General***

Analizar la deformación a causa de la temperatura en una junta tipo T de la carrocería de un autobús interprovincial mediante la realización de un diseño experimental que ayudará a predecir la deformación final y así evitar operaciones adicionales dentro del proceso de manufactura.

#### **1.4.2 *Objetivos Específicos***

- Estudiar la reacción o grado de deformación que tiene el material durante el proceso de soldadura.
- Realizar un diseño de experimentos aplicable a la investigación.
- Realizar un experimento práctico, del cual se pueda obtener los datos para la investigación
- Simular en un software el comportamiento de la junta frente a diversas combinaciones de factores.
- Comparar los resultados obtenidos de la simulación, con los obtenidos del experimento práctico.
- Concluir sobre reacción y comportamiento de un perfil de características específicas usado en la junta determinada para la investigación.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco Teórico Conceptual

#### 2.1.1 Cambio de la Matriz Productiva

La República del Ecuador se ha caracterizado por ser un país netamente generador de materia prima por ende debe adquirir o importar productos elaborados, desestabilizando la economía del país, además se menos precia los productos que son elaborados en nuestro país.

El cambio de la matriz productiva pretende cambiar los modelos de productividad basados en manufactura y adherir a ellos estándares de calidad que mejoren los productos finales y obtener de esta forma un desarrollo sostenible para el país y lograr que los productos en Ecuador empiecen a tener mayor aceptación en el mercado iniciando por nuestro país. (comercio, 2017)

Los objetivos que se pretende alcanzar es que para el 2025 el sector productivo mejore la calidad de sus productos y logre altos estándares de calidad.



**Figura 1- 1:** Cambio de la Matriz Productiva: insumos para análisis

Fuente: <http://www.vicepresidencia.gob.ec/objetivo-general-objetivos-estrategicos> (2016)

En Ecuador el cambio de la matriz productiva se basa en tres ejes de vital importancia como son:

- Condiciones económicas e incentivos productivos
- Ecosistema de innovación
- Infraestructura e incentivos para la producción (Orbe et al., 2016: pp. 151-152)

Basado en estos puntos la única meta es generar ventaja competitiva.

### **2.1.2 Carrocerías**

Se denomina de esta manera a aquella estructura básica del vehículo la cual alberga a ocupantes o carga, además, sujeta varios elementos mecánicos del vehículo como el chasis, estructura interna que funciona como el “esqueleto” del auto, dándole forma y solidez. Este chasis contiene al bastidor, que se forma con la unión de travesaños y largueros. (Porto, 2016)



**Figura 1- 2: Carrocerías**  
Fuente: El Heraldo (2015)

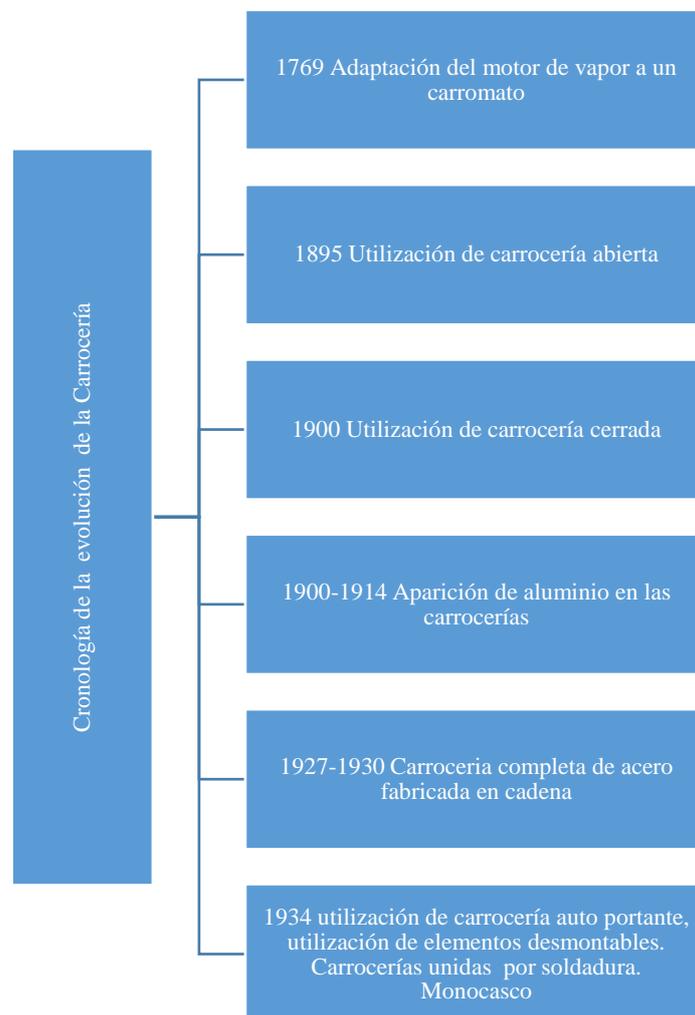
#### **2.1.2.1 Evolución de las Carrocerías**

Las primeras carrocerías fueron fabricadas de madera y eran construidos por carpinteros especializados, su estructura se asemejaba a los carruajes que eran tirados por caballos.

A inicios del siglo XIX se empezaron a añadir curvas y se reemplazó el material que se utilizaba tradicionalmente por acero y aluminio para hacerlos más resistentes desde

entonces y hasta la fecha los chapistas como se denomina a quienes reparan las carrocerías se han hecho cargo de sus ajustes.

Cuando se inició la construcción de las carrocerías las construían de forma muy rígida lo que las volvía casi indestructibles cuando soportaban impactos, porque se pensaba que de esta manera los pasajeros saldrían ilesos. Pero con el paso del tiempo se observó que los golpes tras un choque se transmitían completamente a los pasajeros lo cual les causaba severas lesiones, traumatismos y hasta la muerte.



**Figura 1- 3:** Cronología de la evolución de la carrocería  
Fuente: García (2015)

Béla Barényi inventa en 1952 la estructura de deformación programada o carrocería deformable. Las carrocerías deformables están compuestas por zonas de deformación

programada, generalmente ubicadas en la parte trasera y delantera del vehículo y un habitáculo de seguridad rígido para proteger a los ocupantes de quedar aplastados. (García, 2015)

Existen varios tipos de carrocerías según su construcción:

- **Chasis independiente.** – Se caracteriza por tener un chasis rígido el cual soporta todo el peso, las fuerzas del motor y de la transmisión. Cuando se incrementa esta técnica cumple muy poca o ninguna función estructural. (Ferrer, 2014)
- **Carrocerías auto portantes.** - Está compuesta por un conjunto de piezas que forman la carrocería, las cuales están unidas por medio de soldaduras. Esto permite que su reparación sea muy sencilla, simplemente mediante la sustitución de la pieza afectada. (401, 2016)
- **Carrocerías tubulares.** - Este tipo de carrocerías están formadas por tubos cuadrados o redondos. (Ferrer, 2014)

Dependiendo del tipo de carrocería podemos distinguir diferentes volúmenes:

- **Carrocería monovolumen.** - Los habitáculos del motor, pasajeros y maletero están completamente integrados. (401, 2016)
- **Carrocerías de dos volúmenes.** - Con un espacio para el capó con el motor y otro que combina pasajeros y carga. (401, 2016)
- **Carrocerías de tres volúmenes.** - se diferencian las tres partes mencionadas: por una parte, el motor, por otra el habitáculo para pasajeros y por último la carga. (401, 2016)

### 2.1.2.2 *Materia prima*

El material principal que se utiliza en la construcción y ensamblaje de carrocerías es el acero estructural, este material tiene propiedades de gran utilidad pues presenta propiedades esenciales como la soldabilidad, resistencia a la corrosión entre otros.

A este tipo de aleación del acero se lo denomina A36, denominación que fue asignada por la ASTM (American Society for Testing and Materials).

**Tabla 1- 1.** Composición Química (Valores Típicos)

Carbono	Cobre	Manganeso	Fósforo	Impurezas de Azufre
0,18 %	0,2%	entre 0,8% y 0,9%	0,04% máximo	0,05 % máximo

Realizado por: Kevin García

Fuente: [http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-del-acero-a36-info\\_138559/](http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-del-acero-a36-info_138559/)

**Tabla 1- 2.** Propiedades Mecánicas

Esfuerzos Fluencia		Esfuerzos Tracción (Kg/mm <sup>2</sup> )		Elongación
(Kg/mm <sup>2</sup> )	MPa	(Kg/mm <sup>2</sup> )	MPa	%
25,5 (mín.)	250 (mín.)	40,8 (mín.)	400 (mín.)	20 (mín.)

Realizado por: Kevin García

Fuente: [http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-del-acero-a36-info\\_138559/](http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-del-acero-a36-info_138559/)

### 2.1.2.3 *Producción de las carrocerías en Ecuador*

Según la revista Lideres (2015) hasta dicho año, 54 empresas dedicadas al ensamblaje de carrocerías tanto buses urbanos como interprovinciales y escolares han obtenido su certificación. Motivo que desafía a este sector a mejorar su productividad cada día, regido siempre por las normas establecidas.

Estas empresas están situadas en varias provincias del país, generando una mayor concentración en la provincia de Tungurahua quien sobrepasa el 50% de las empresas. El crecimiento de este sector económico ayuda al crecimiento y desarrollo de la

provincia en la que se ubican al igual que son de gran ayuda para el país pues generan alrededor de 15000 plazas de empleo en contratación directa e indirecta.



**Figura 1- 4:** Construcción de las carrocerías.

**Fuente:** <http://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-carroceras-buses-certificacion-agencia.html>

No obstante, se dificulta en cierta medida el cumplimiento de las normativas puesto que estas son cambiadas en periodos aproximados de dos años y se establecen leyes aplicadas en España que por su avance industrial en Ecuador no son fáciles de implementar con inmediatez como se pretende, es por ese motivo que el sector carrocerero pide se modifique esta ley y se apliquen leyes de fácil adaptación como lo son las leyes colombianas, Chilenas y otros países de América latina con igual o semejante desarrollo industrial.

En la provincia de Tungurahua el 02 de febrero de 2016 se creó un laboratorio que permite realizar pruebas de durabilidad, resistencia, análisis estructural, estudios metalográficos, resistencia de materiales, entre otros. Este laboratorio disminuye considerablemente los valores de construcción pues dichas pruebas se las realizaba en el extranjero. (Telégrafo, 2017)

### **2.1.3 Autobuses**

Los autobuses son medios de transporte muy utilizados especialmente en América latina y el Caribe, tiene gran acogida por las masas debido a su bajo costo. Este medio de transporte puede ser utilizado tanto en territorios urbanos como en territorios rurales, se utiliza también en la transportación interprovincial.

En sus inicios el autobús era denominado Omnibus debido a que en frente de la parada de autobuses se encontraba una sombrera llamada Omnes, este nombre fue unido con un término latín que daba como resultado Omnibus que significa todo para todos. Este nombre a sufrió variaciones a través de los años y dependiendo de la región. (Tixce, 2016)

Sus orígenes datan en 1826 en la ciudad Nantes, donde el francés Stanislav Braudy suple la necesidad de transportar a varias personas por distancias considerables. En 1828 Braudy funda la primera compañía autobuses “Enterprise Générale des Omnibus”. No fue sino hasta 1895 que Karl Benz introduce los autobuses motorizados. En 1906 en Francia se crea la primera línea de autobuses de este tipo. En 1929 en Londres y Nueva York empiezan a circular los primeros autobuses de servicio público.

Los primeros autobuses motorizados recorrían distancias cortas de hasta 5,8 Km. Con el pasar del tiempo surge la necesidad de transportar a los usuarios por distancias más largas lo cual generaba dificultades para los transportistas pues se necesitaban varias estaciones de servicio en distancias prudentes para que los autobuses sigan su recorrido normal, pero para la época eran escasas y no contaban con la cantidad de combustible para abastecer a las unidades. Otro inconveniente que se encontraba eran las carreteras en malas condiciones lo que ocasionaba estancamientos cuando se presentaban lluvias torrenciales, razón por la cual se recurría a los caballos para sacar a los autobuses estancados.



**Figura 1- 5:** Primeros autobuses

Los primeros autobuses utilizaban un motor mono-cilíndrico de cuatro tiempos el cual accionaba las ruedas por medio de una cadena, todas las unidades utilizaban gasolina. Con el transcurso del tiempo Benz realiza mejoras en sus diseños, haciéndolos más estilizados y se deja de lado la semejanza con las carrozas.

En 1938 los hermanos Mack incorporan el sistema a diésel a los autobuses. Posterior a la segunda Guerra mundial los autobuses adquieren mayor aceptación frente a los tranvías en varias ciudades europeas y en América del Norte. En 1951 Mercedes Benz hace el lanzamiento de una nueva actualización para los autobuses, el modelo O6600H, el cual es utilizado hasta la actualidad. Este nuevo modelo ubica el motor en la parte trasera del autobús, además se logra eliminar el ruido que producían a los conductores.

En la actualidad los autobuses no solo utilizan diésel para su funcionamiento, sino que se está implementando motores a gas natural y con electricidad, métodos que disminuyen la contaminación y ayudan al medio ambiente. Un ejemplo de esto es el TEB (Transit Explore Bus) de China, un autobús gigantesco eléctrico que circula por encima del tráfico urbano y promete traer solución a los atascos y la contaminación ambiental en el país asiático. (Tixce, 2016)

#### ***2.1.4 Especificaciones Técnicas de Buses Interprovinciales en Ecuador***

Las especificaciones y normativas para construcción de buses interprovinciales en Ecuador están regidas por varias normas regidas por NTE e INEN dependiendo de las especificaciones necesarias.

##### Construcción de carrocerías

- Los materiales de la estructura del vehículo deben ser perfiles y tubería estructural protegido contra la corrosión que cumplan con las normas NTE INEN 2415 y la NTE INEN 1623. (NTE INEN 1668, 2015)

- Las carrocerías de minibuses y buses de transporte mencionados en esta norma deben cumplir con los requisitos establecidos en la NTE INEN 1323. (NTE INEN 1668, 2015)
- Se puede construir el conjunto chasis-carrocería por una estructura auto portante. Dicha estructura debe garantizar características de solidez, resistencia y seguridad, obedeciendo siempre los requisitos de esta norma. (NTE INEN 1668, 2015)

### **Uniones en el chasis- carrocería**

Las uniones entre el chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones el fabricante del chasis, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías. (NTE INEN 1668, 2015)

#### ***2.1.5 Vida útil de las carrocerías***

El tiempo que un autobús interprovincial puede estar en circulación legalmente hablando es de 20 años. Si este recibe un trato y mantenimiento adecuado podrá ser vendido y utilizado para otros fines, de no ser el caso los autobuses disminuyen este tiempo.

La vida útil de los autobuses también depende en gran medida de la utilización y mantenimiento adecuado que estos reciban.

Existen varios parámetros que se deben tomar en cuenta para evaluar la vida útil de un autobús tales como:

- Número de pasajeros que han requerido su servicio en un tiempo determinado
- Kilómetros recorridos
- Número de viajes en la unidad de tiempo
- Promedio de las distancias recorridas
- Cargas transportadas por el vehículo en cada viaje.
- Estado de las vías recorridas

- Zona en la brindan sus servicios.

### **2.1.6 Soldadura**

Se denomina soldadura al proceso de ensamblar piezas de estructuras metálicas mediante un proceso de coalescencia, con la implementación de calor y presión, el cual necesita o no un material extra para unir las partes y este puede ser del mismo tipo o diferente al material con el cual se está trabajando. Este proceso es utilizado en diferentes campos como por ejemplo en la construcción, electrónica, etc. En objetos de metal o plástico.

Sin embargo, este proceso debe ser realizado con meticuloso cuidado puesto que puede ocasionar daños en la estructura tales como perforaciones en el metal por exceso de calor. Es por este motivo que se toman medidas previas a la soldadura para evitar estos inconvenientes, uno de los métodos utilizados es el precalentamiento o tratamientos térmicos (estos se realizan posterior a la soldadura)

El proceso de soldadura puede diferenciarse de tres formas:

- Automático
- Semi-automático
- Manual

Mismos que serán utilizados dependiendo del campo de aplicación. Todas estas normas están estipuladas en el manual de soldadura de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS). (Cházaro, y otros, 2014)

#### **2.1.6.1 Factores a considerar en el proceso de soldadura**

- Proceso de soldadura adecuado puesto que no en todos los metales o sus aleaciones se puede utilizar el mismo proceso.

- El material de aporte pues este puede afectar el rendimiento del proceso de soldadura.
- La condición del metal a soldar.

A demás de estos puntos también se debe tener en cuenta la posición más adecuada para aplicar los procesos de soldadura.

- Soldadura plana: en este proceso el metal a soldar debe ser depositado sobre el metal de aporte, actuando este como soporte.
- Soldadura horizontal: el metal que va a ser soldado se usa como ayuda y el metal de aporte es solo un soporte parcial.
- Soldadura vertical: El metal base actúa como un soporte parcial solamente, y el metal que ya a sido depositado debe usarse como ayuda.
- Soldadura sobre cabeza: El metal base sostiene difícilmente al metal de la soldadura depositado.

#### 2.1.6.2 *Tipos de soldadura*

Dentro del campo de la soldadura se reconoce dos tipos que a su vez se subdividen en otros grupos específicos. Estos son:

- Soldadura fuerte (Welding)
- Soldadura débil (Soldering)

**Soldadura fuerte (Welding).** - en este proceso el material de aporte deberá ser fundido a una temperatura superior a 450<sup>a</sup>. Siendo sus sub grupos:

- T.I.G.
- GMAW (MIG o MAG)
- Electrodo revestido
- Flash welding

- Soldadura por resistencia (punto)
- Soldadura por difusión
- Soldadura por fricción
- Soldadura autógena
- Soldadura por haz de electrones

**Soldadura débil.** - por el contrario, en este proceso el material de aporte deberá ser fundido a una temperatura inferior a 450ª.

- Brazing
- Soldering



**Figura 1- 6:** Proceso de construcción de las carrocerías.

**Fuente:** <http://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-carroceras-buses-certificacion-agencia.html>

Como se puede evidenciar en la Figura 1-2 para el proceso de soldadura que se emplea es GWAN, soldadura por arco de metal y gas. Se lo nombra como soldadura GWAN por su traducción del inglés (Gas Metal Arc Welding), sus inicios datan de 1920, pero no fue sino hasta 1948 que empezó su comercialización.

Dicho proceso ha ganado gran aceptación en el campo de la metalmecánica por la estética que brinda en cuanto a acabados y el cumplimiento con los requerimientos de preservación del medio ambiente además del incremento en la productividad; este proceso que tiene dos formas de aplicación: MIG y MAG.

La soldadura MIG utiliza gases inertes como argón y helio. Su utilización se centra en trabajos mecánicos delicados puesto que no causa deformaciones en las piezas y genera mejor estética en las uniones.

Pero por motivos del incremento en los precios de dichos gases se optó por sustituirlos por dióxido de carbono y se denominó a este proceso como soldadura MAG, este proceso genera mayor penetración en el proceso de soldadura por lo que mejora notoriamente las propiedades físicas del área que fue soldada y genera mayor resistencia



al impacto, corrosión, etc.

**Figura 1- 7:** Equipo de soldadura.

Fuente: <http://promociones.praxair.com.mx/categoria/8-microalambre-gmaw>

En este proceso de soldadura se establece un arco eléctrico entre un alambre que es alimentado de manera continua y la pieza a soldar, este proceso puede ser realizado de dos formas: automática y automatizada. ( Rowe, y otros, 2008)

### **Usos y ventajas**

Los usos del proceso, desde luego, están regidos por sus ventajas; las más importantes de éstas son:

1. Es el único proceso de electrodo consumible que puede servir para soldar todos los metales y aleaciones comerciales.
2. GMAW no tiene la restricción de tamaño de electrodo limitado que se presenta con la soldadura por arco de metal protegido.

3. Puede soldarse en todas las posiciones, algo que no es posible con la soldadura por arco sumergido.
4. Se logran tasas de deposición bastante más altas que con la soldadura por arco de metal protegido.
5. Las velocidades de soldadura son más altas que con soldadura por arco de metal protegido gracias a la alimentación continua del electrodo y a las mayores tasas de deposición del metal de aporte.
6. Como la alimentación de alambre es continua, es posible depositar soldaduras largas sin parar y volver a comenzar.
7. Cuando se usa transferencia por aspersión, es posible lograr mayor penetración que con la soldadura por arco de metal protegido, lo que puede permitir el uso de soldaduras de filete más pequeñas para obtener una resistencia mecánica equivalente.
8. Casi no se requiere limpieza después de la soldadura porque no se produce mucha escoria.

Estas ventajas hacen al proceso ideal para aplicaciones de soldadura en alto volumen de producción y automatizadas. Esto se ha hecho cada vez más obvio con la llegada de la robótica, donde GMAW ha sido el proceso predominante.

### **Limitaciones**

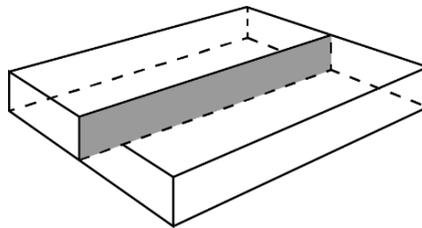
Las principales limitaciones que se presenta en el proceso de soldadura GWAM son las que se mencionan a continuación:

1. Los costos en cuanto a equipo de soldadura son elevados.
2. Presenta dificultad para soldar en lugares de difícil acceso.
3. Limitación para su utilización en exteriores.

### 2.1.6.3 Tipos de juntas soldadas

Se puede definir cinco tipos de juntas las cuales presentan diferentes variantes dependiendo de su diseño.

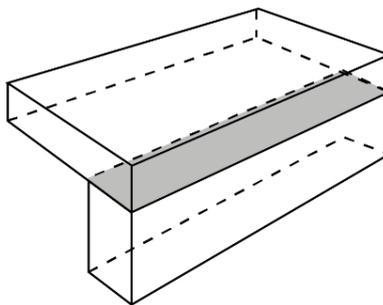
- Junta o unión a tope (Butt joint): este tipo de junta hace referencia a la coalición de dos piezas unidas por acoplamiento sin ningún corte especial en las piezas.



**Figura 1- 8:** Junta a tope.

Fuente: Soldadura y estructura

- Junta en esquina (Corner joint): Es la unión de dos elementos soldados de tal

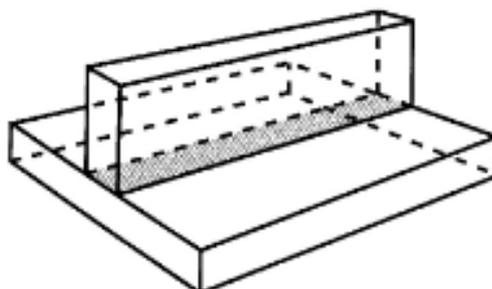


forma que formen un ángulo recto.

**Figura 1- 9:** Junta en esquina.

Fuente: Soldadura y estructura

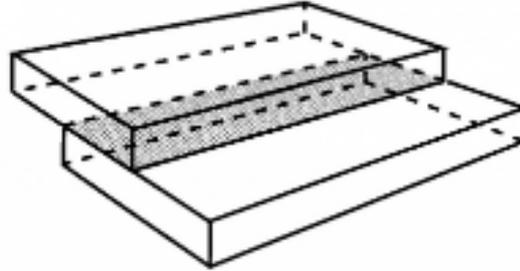
- Junta en T (T-joint): Es la coalición de dos elementos, mismos que deben formar un ángulo recto con forma de T.



**Figura 1- 10:** Junta en T.

Fuente: Soldadura y estructura

- Junta en traslape o solape (Lap joint): Hace referencia a la coalición de dos

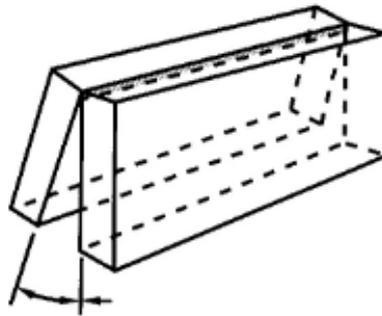


elementos superpuestos.

**Figura 1- 11:** Junta en Traslape o solape.

Fuente: Soldadura y estructura

- Junta de borde (Edge joint): Hace referencia a la coalición entre dos o varios elementos mismos que serán ubicados de forma paralela.



**Figura 1- 12:** Junta de borde.

Fuente: Soldadura y estructura

#### 2.1.6.4 *Requisitos del soldador*

Para cumplir con todos los requerimientos de calidad que estipulan las leyes es necesario que quienes son los encargados del ensamblaje de las carrocerías sean personas especializadas que cumplan con varios criterios convenidos por las normas que rigen estos procesos, para los cuales deben aprobar ciertas pruebas de calificación descritas en la norma las cuales han sido especialmente ideadas para determinar la habilidad de los soldadores para producir soldaduras sanas. Las pruebas de calificación deben ser realizadas de acuerdo con los requerimientos de especificación de los procedimientos de soldadura. (Jeffus 2009).

Todas estas normas están regidas por la AWS (American Welding Society).

### **Variables que limitan la calificación**

Para la calificación de soldadores deben ser aplicadas las siguientes reglas:

- El soldador debe calificar para cada proceso de soldadura usado. (Jeffus 2009).
- Un soldador calificado para electrodo con arco protegido debe considerarse calificado para soldar con cualquier otro electrodo del mismo grupo designado y con cualquier electrodo mencionado que pertenezca a un grupo numéricamente menor. (Jeffus 2009).
- Un soldador calificado con un electrodo aprobado y un medio de protección combinados debe considerarse calificado para soldar con cualquier otro electrodo y medio de protección combinados para el proceso usado en la prueba de calificación. (Jeffus 2009).
- Un cambio en la posición de la soldadura hacia otra posición para la cual el soldador no ha sido calificado aún, debe requerir recalificación. (Jeffus 2009).
- Cuando la plancha está en posición vertical un cambio en la dirección de soldadura requiere recalificación. (Jeffus 2009).
- La omisión de respaldo en juntas de soldadura con penetración completa soldadas desde un solo lado requiere recalificación. (Jeffus 2009).
- Un cambio en el espesor del metal base más allá del rango calificado debe requerir recalificación. (Jeffus 2009).

### **Pruebas requeridas para la calificación**

Para planchas la prueba de calificación de soldadores para soldadura manual o semiautomática debe ser como sigue:

1. Prueba de calificación de soldadura a tope para planchas de ilimitado espesor (Jeffus 2009).
2. Prueba de calificación para filetes de soldadura (Jeffus 2009).

3. Prueba de calificación de soldadura para puntadas de soldadura (Jeffus 2009).

#### 2.1.6.5 *Procedimiento de soldadura en juntas*

- El soldador debe cumplir con los requerimientos de calificación o precalificación de procedimientos de juntas de soldadura especificado (Jeffus 2009).
- La limpieza de la soldadura debe ser hecha con la probeta de soldadura en la misma posición en la cual se está siendo calificado (Jeffus 2009).

#### **Prueba de probetas: Número, tipo y preparación**

- El tipo y número de pruebas de probetas que deben ser ensayadas para calificar a un soldador por medio de ensayos mecánicos junto con el rango de espesores para el cual es calificado. El ensayo de radiografía sobre la soldadura de ensayo puede ser usado como opción del contratista en lugar de ensayos mecánicos. (Jeffus 2009).
- El ensayo de plegado de la probeta debe ser preparado cortando la probeta formada por las planchas soldadas, para lograr formar probetas aproximadamente de sección transversal rectangular. (Jeffus 2009).
- La ruptura de la soldadura de filete y puntadas de soldadura a las que luego se realiza un macro ataque deben ser cortadas de la probeta de ensayo. La cara en la cual se realiza el macro ataque debe ser pulida mediante ataque químico. (Jeffus 2009).
- La probeta macro- atacada que tiene puntada de soldadura a la cual se realizará un macro ataque debe ser cortada (Jeffus 2009).

- Si el ensayo radiográfico es usado en lugar de los ensayos de plegado prescritos, el refuerzo de soldadura no necesita ser pulido a menos que su superficie presente irregularidades que puedan oscurecer la radiografía. Si el respaldo es removido para radiografiar, se debe amolar la raíz con el metal base (Jeffus 2009).

#### 2.1.6.6 *Deformación por soldadura*

Se denomina deformación por soldadura a la expansión y contracción variable que presenta tanto el metal base como el de apoyo en el ciclo de soldadura (calentamiento – enfriamiento).

Esto se debe a que el material no es expuesto al calor uniformemente sino en partes específicas, es decir si todo el material fuera expuesto a cambios de temperatura sin tener un material extra que cause cambios, este regresaría a su forma original sin ningún problema.

Pero cuando el material base encuentra adhesiones en su estructura en el momento de la expansión y contracción sufre cambios notables, estas deformaciones pueden ocurrir tanto en planos horizontales como longitudinales.

Una de las técnicas que puede ayudar a disminuir estas deformaciones es la selección de un proceso adecuado de soldadura.

Las propiedades tanto mecánicas como físicas que presentan los metales, como:

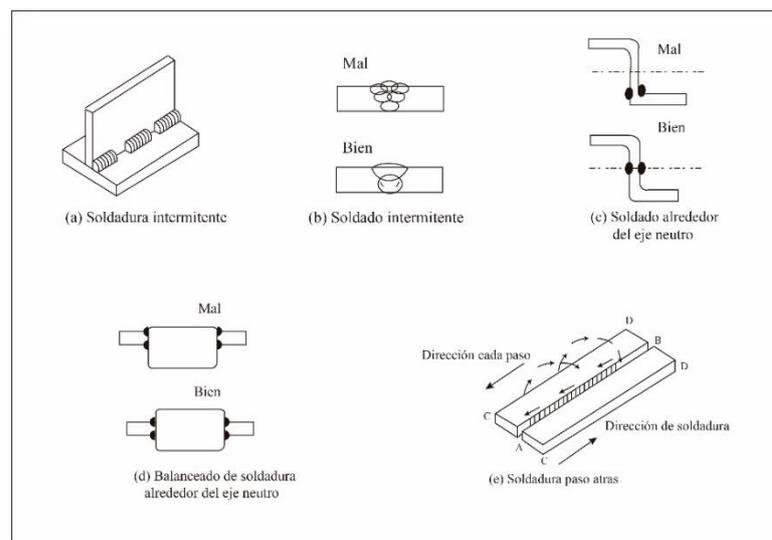
- Coeficiente de Expansión Térmica
- Conductividad Térmica
- Módulo de Elasticidad
- Tensión de Fluencia

Todos los factores mencionados anteriormente influyen ampliamente en el grado de deformación de los materiales.

## Sugerencias para disminuir la deformación

Para reducir la deformación que causa la soldadura se podrían aplicar algunas medidas de prevención como:

- Conocer los valores regidos en cada una de las propiedades ayuda a disminuir el grado de deformación. (Flores, 2006)
- Realizar los cálculos necesarios en la fase de diseño, siempre teniendo en cuenta los métodos aplicables en el control de contracciones en las uniones que han sido soldadas. (Flores, 2006)
- Escoger el tamaño correcto de la soldadura que va a ser aplicada disminuye la deformación, el tiempo y ahora material de soldadura (material de aporte)
- Utilizar el proceso de soldadura intermitente en lugar de soldadura continua (Figura 1-4 a)
- Disminuir las pasadas de soldadura utilizando grandes electrodos. (Figura 1-4 b)
- Aplicar el proceso de soldadura próxima del eje neutro. (Figura 1-4 c)
- Aplicar el balance de la soldadura alrededor del eje neutro. (Figura 1-4 d)
- Utilizar la técnica del paso-atrás (Figura 1-4 e)
- Planificar una secuencia de soldadura adecuada
- Disminuir el tiempo de soldadura.



**Figura 1- 13:** Tipos de deformaciones.

Fuente: <http://promociones.praxair.com.mx/categoria/8-microalambre-gmaw> (2014)

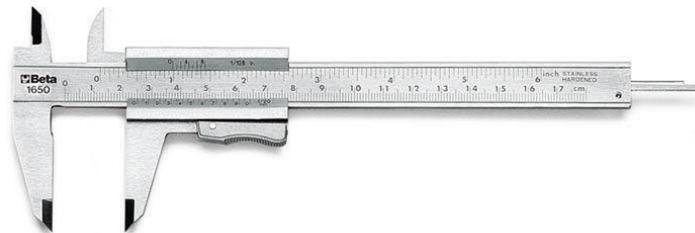


## 2.1.7 Herramientas Utilizadas en el experimento

### 2.1.7.1 Calibrador pie de rey

También denominado calibre o cartabón de corredera, es una herramienta que se utiliza para medir diámetros de ciertos elementos del ámbito industrial, sean estos interiores, exteriores o también sus profundidades.

El cartabón está compuesto por una escala auxiliar que se denomina vernier. Mismo que se desliza por la superficie principal y permite realizar mediciones fraccionarias exactas.



**Figura 1- 14:** Cartabón.

Fuente: Espacio Industria

### 2.1.7.2 Calibrador de lámina estándar

Este calibrador se utiliza para comprobar y ajustar el espacio entre las partes, tales como tolerancia de válvulas, distancia disruptiva de bujías y los contactos del distribuidor.

Las medidas de las hojas aproximadamente son de 1/2" de ancho por 3 1/2" de largo.

Las diferentes hojas presentan las siguientes medidas:

0.051mm, 0.076mm, 0.102mm, 0.127mm, 0.152mm, 0.203mm, 0.279mm, 0.305mm,



0.330mm, 0.356mm, 0.406mm, 0.457mm, 0.508mm, 0.559mm, y 0.635mm.

**Figura 1- 15:** Calibrador de lámina estándar .

Fuente: Espacio Industria

**2.1.7.3 Máquina de soldar**

Es una herramienta que sirve para unir de forma sólida dos elementos metálicos. Los métodos utilizados antes de su invención era la aleación y forja. Las primeras máquinas de soldar utilizaban corriente directa, la cual era electrodos de carbón y distintos acumuladores. Con el descubrimiento de la electricidad, realizaban su trabajo mediante un arco eléctrico fundiendo los metales y el electrodo. (Ecured)

En la actualidad se utilizan máquinas de soldar con corriente alterna y directa, siendo las más utilizadas las de corriente alterna.

**Soldadora Cebora 181c**

Es un tipo de soldadora de voltaje constante ideal para trabajos de fabricación de muebles tubulares, trabajos de cerrajería, mantenimiento ligero y soldadura en espesores delgados.



**Figura 1- 16:** Soldadora MIG

Fuente: Kevin García

**2.1.7.4 Cortadora laser**

Estas máquinas utilizan cortes por láser que es un proceso sin contacto que utiliza un láser para cortar materiales, lo que resulta en cortes dimensionalmente precisos y de gran calidad. El proceso funciona dirigiendo un rayo láser a través de una boquilla hacia la pieza de trabajo.

Una combinación de calor y presión crea la acción de corte. El material se funde, arde, se vaporiza o se lo remueve mediante un chorro de gas, dejando un borde con un acabado de superficie de gran calidad. (Miyachi, 2016)

### *Cortadora láser ricoh cnc*

**Tabla 1- 3.** Ficha técnica (cortadora láser ricoh cnc)

Dimensiones	94' x 79' x 51' (2400x2000x1300 mm)
Ancho aproximado	900 kg
Max. Superficie de operación	51' x 51' (1300x1300 mm)
Max. Superficie de altura	53' (135 mm)
Ancho libre	59' (1500mm) carga desde ambos lados
Velocidad de operación	197 11/min (60 m/min aceleración 32.8 m/s <sup>2</sup> )
Exactitud	1.047 pm

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Miyachi, (2016)

## **CAPÍTULO II**

### **2. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **2.1 Calidad del producto según Taguchi**

La filosofía que establece Taguchi hace referencia a la disminución de las pérdidas que genera un producto, tomando en cuenta todo el ciclo desde su diseño, fabricación hasta cuando cumple con su periodo de vida útil. Se enfoca específicamente en el control de calidad fuera de línea (off line QC) (Gutiérrez Pulido, y otros, 2008).

Es apto para mejorar la calidad del producto; según Jim Pratt, director de los programas estadísticos de la compañía ITT con este método en un período aproximado de un año y medio se ha ahorrado 60 millones de dólares.

Según Taguchi trabajar en el rediseño productos y sus procesos de fabricación de los productos es más barato, que trabajar en el control de calidad, puesto que las mejoras mientras más cercanas a la etapa de diseño disminuye notablemente sus costos y los vuelve más económicos. (Garza, 2008)

La metodología Taguchi consta de tres etapas:

- a) Diseño del sistema
- b) Diseño de parámetros
- c) Diseño de tolerancias (Garza, 2008)

Este método también establece objetivos para lograr un diseño robusto, que se refiere a elaborar productos que soporten condiciones medioambientales variadas.

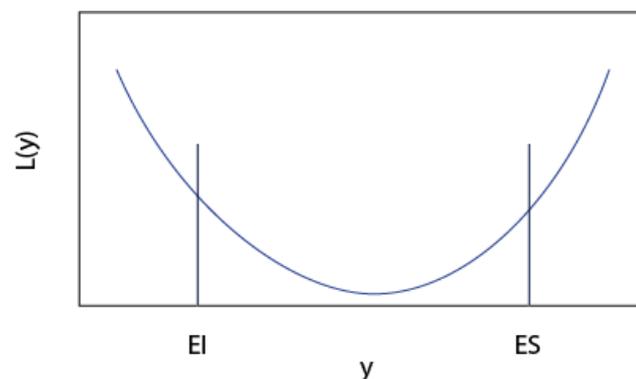
La metodología Taguchi establece tres metas:

1. Diseños robustos (insensibles) ante el medio ambiente para productos y procesos.
2. Diseño y desarrollo de productos, de modo que sean robustos a la variación de componentes.
3. Minimización de las variaciones con respecto a un valor objetivo. (Gutiérrez Pulido, y otros, 2008)

Mismas que se desarrollan en tres diferentes etapas de desarrollo para los productos:

- Diseño del sistema
- Diseño de parámetros
- Diseño de tolerancia

Como se puede observar en el gráfico 2-1 donde  $y$  = característica de calidad y  $t$  = valor ideal; si  $y$  se aleja de  $t$ , el valor aumenta. Para lograr que las pérdidas sean mínimas los esfuerzos de por mejorar deben estar orientados a reducir la variabilidad de  $y$  en torno al valor ideal  $t$ . (Gutiérrez Pulido, y otros, 2008)



**Gráfico 2- 1:** Forma Típica de la función de pérdida de Taguchi  
Realizado por: Kevin García

### 2.1.1 *Concepto de robustez*

Este concepto diseñado por Taguchi pretende diseñar y construir productos que sobrepasen las expectativas de los consumidores minimizando su posibilidad de errores, al igual que la variación en cuanto a las características de calidad que presentan

importancia para los clientes, minimizando de esta forma los costos de calidad, que son los que afectan el precio. (Garza, 2008)

Un diseño robusto hace referencia al experimento que se aplica en el cual inciden factores de ruido que pueden ser:

- Externos: ruido en ambiente o área de trabajo
- Internos: Errores en cuanto al uso de la maquinaria.
- De Deterioro: Desgaste de piezas o degradación del proceso. (Macías, 2012)

### ***2.1.2 Arreglos ortogonales***

Los arreglos ortogonales son herramientas que permiten al ingeniero evaluar qué tan robustos son los diseños del proceso y del producto con respecto a los factores de ruido. Ayudan a disminuir o incluso eliminar los esfuerzos de diseño estadístico, examinando varios factores a la vez. Se recomienda el uso de arreglos ortogonales para hacer matrices que contengan los controles y los factores de ruido en el diseño de experimentos. (Gutiérrez Pulido, y otros, 2008)

A los arreglos ortogonales presentan propiedades de ortogonalidad y también se los puede denominar como un experimento factorial fraccionado. Taguchi creo varios arreglos a los cuales los denominó:

$$La (b)C$$

Donde:

a = Representa el número de pruebas o condiciones experimentales que se tomarán. Esto es el número de renglones o líneas en el arreglo.

b = Representa los diferentes niveles a los que se tomará cada factor.

c = Es el número de efectos independientes que se pueden analizar, esto es el número de columnas. (Macías, 2012)

Los arreglos ortogonales que se utilizan más frecuentemente son  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{16}$ ,  $L_9$  y  $L_{18}$ . Utilizando para esta investigación en particular la tabla  $L_9$  con tres factores y cuatro variables como se muestra a continuación.

**Tabla 2- 4.** Arreglos ortogonales

Arreglo $L_9 (3^{4-2})$			
Nº de corrida	Núm. De columna		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	3
7	3	1	1
8	3	2	2
9	3	3	3
2 Factores: columnas 1,2.			
3 Factores: columnas 1,2,3.			

**Realizado por:** Jorge Paladines. 2016

**Fuente:** AFABA, 2012. (Boletín de la Asociación)

## Ventajas y desventajas

### Ventajas:

- Involucra varios factores

### Desventaja:

- Se los aplica únicamente en la primera etapa del diseño (etapa experimental)

## 2.2 Normas de construcción

### 2.2.1 Norma NTE INEN 1323

Esta norma técnica regulariza la construcción de vehículos automotores, carrocerías de buses, tiene por objeto establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.

## Alcance

- Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional. (Ver nota 1).
- Esta norma incluye a las carrocerías que son parte de los chasis carrozados importados y carrocerías autoportantes (NTE INEN 1323:2009)

## Requisitos de la estructura en las carrocerías de buses

- **Cargas de Diseño.** Para el análisis cuasi estático de la estructura de la carrocería se aplicarán las cargas especificadas en el presente numeral. (NTE INEN 1323:2009)
- **Cargas vivas.**
- **Carga de Giro**

Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la Tabla 2-5. (NTE INEN 1323:2009)

- **Carga de frenado (F).** Se asume una desaceleración mayor o igual a  $4 \text{ m/s}^2$  (De acuerdo con el Ensayo del Tipo 0 con motor embragado para vehículos clase N de la DIRECTIVA 98/12/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, Anexo 2, Ensayos de frenado y rendimiento de los dispositivos de frenado). (NTE INEN 1323:2009)
- **Carga de aceleración brusca (Ab).** Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado, pero en sentido contrario. (NTE INEN 1323:2009)

- **Carga por resistencia del aire frontal (Raf).**

Durante el ensayo de resistencia de la estructura o ni una vez finalizado el mismo, la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure de las Naciones Unidas. (NTE INEN 1323:2009)

- **Materiales de la estructura.** Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las NTE INEN correspondientes vigentes. (NTE INEN 1323:2009)
- **Soldadura de carrocerías.** Las carrocerías de buses deben soldarse de acuerdo con las normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio. (NTE INEN 1323:2009)

El proceso y procedimiento de soldadura será calificado de acuerdo con las normas vigentes AWS D1.3 para acero, AWS D1.2 para aluminio y AWS D1.6 para acero inoxidable. (Servicio Ecuatoriano de Normalización 2008)

### **2.2.2 Norma NTE INEN 1623**

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los perfiles de acero estructural conformados en frío. Se aplica a todos los perfiles abiertos conformados en frío para uso estructural, fabricados en acero al carbono negro o pre galvanizado según los grados establecidos. El uso de los mismos debería estar sujeto al cálculo estructural que lo respalde. (NTE INEN 1323:2015)

#### **Campo de aplicación**

Esta norma aplica a todos los perfiles abiertos conformados en frío para uso estructural, fabricados en acero al carbono negro o pre galvanizado según los grados establecidos. El uso de los mismos debería estar sujeto al cálculo estructural que lo respalde.

## **Clasificación**

Los perfiles abiertos conformados en frío para uso estructural se clasifican de acuerdo a su forma en:

- C (canal),
- L perfil alas iguales
- L perfil alas desiguales
- G,Z (correa)
- Omega V (perfil). (Servicio Ecuatoriano de Normalización 2015)

### **2.2.3 Norma NTE INEN 1668**

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial.

Esta norma aplica a los vehículos diseñados y equipados para el transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial de un solo piso, sean importados o ensamblados o fabricados en el país. (NTE INEN 1668:2015)

- Los materiales de la estructura del vehículo deben ser perfiles y tubería estructural protegido contra la corrosión que cumplan con NTE INEN 2415 y la NTE INEN 1623.
- Las carrocerías de minibuses y buses de transporte mencionados en esta norma deben cumplir con los requisitos establecidos en la NTE INEN 1323.
- Se puede construir el conjunto chasis-carrocería por una estructura autoportante. Dicha estructura debe garantizar características de solidez, resistencia y seguridad, obedeciendo siempre los requisitos de esta norma. (NTE INEN 1668:2015)

### **2.2.4 Norma RTE INEN 043**

Este Reglamento Técnico Ecuatoriano establece los requisitos que deben cumplir los buses interprovinciales e intraprovinciales de transporte masivo de pasajeros con la

finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, el ambiente y la propiedad, y prevenir prácticas engañosas que puedan inducir a error a los fabricantes o usuarios finales. (RTE INEN 043:2010)

Especificaciones de la carrocería según las especificaciones técnicas:

a) Material de la estructura. Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN correspondientes vigentes. (RTE INEN 043:2010)

a.1) 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, etc.) todo tipo de esfuerzo al que puedan estar sometidos. (RTE INEN 043:2010)

a.2) Podrá ser admitido también el conjunto chasis-carrocería por una estructura autoportante. Dicha estructura debe contar con igual o mejores características de solidez, resistencia y seguridad que las convencionales, obedeciendo siempre a las normas de este Reglamento. (RTE INEN 043:2010)

b) Parachoques frontal y posterior. Deben disponer de parachoques frontal y posterior. No deben sobresalir de la carrocería en más de 300 mm y debe contar con elementos de sujeción que aseguren la absorción de impactos. La parte delantera inferior del parachoques delantero estará a una altura máxima de 500 mm desde la calzada y, la parte posterior inferior del parachoques posterior estará a una altura máxima de 600 mm desde la calzada. (RTE INEN 043:2010)

b.1) Se prohíbe la instalación de elementos de defensa adicionales (tumba burros, aumentos salientes a parachoques o portaequipajes originales, ganchos o bolas

porta remolques no removibles que sobresalgan de la carrocería). (RTE INEN 043:2010)

b.2) El material de los parachoques debe ser metálico dúctil y tenaz o de poliéster reforzado con fibra de vidrio y estructura metálica y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes. (RTE INEN 043:2010)

b.3) Las carrocerías de los vehículos de transporte interprovinciales e intraprovinciales deben cumplir con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 323 vigente. (RTE INEN 043:2010)

## **2.3 Diseño de Experimentos**

### **2.3.1 Factores**

Para el experimento se toman en cuenta los parámetros controlables en el proceso de soldadura, limitados por la máquina y el método de aplicación de los cordones, para cada uno de los factores considerados se fijan tres niveles, con el propósito de verificar la linealidad de los efectos principales por factor, a continuación, se detallan cada uno de ellos.

#### **Velocidad de Avance del Alambre:**

Determina la rapidez con la que el electrodo o material de aporte sale por la boquilla de la pistola de soldadura, sus valores se expresan en metros por minuto, sus niveles se fijan en:

5 m/min

5,5 m/min

6 m/min

#### **Amperaje y Voltaje:**

Es la cantidad de energía que circula por los electrodos, marcará la rapidez de fundición del material de aporte. Estos dos valores se definen juntos debido a que la máquina posee únicamente regulación de amperaje, sus niveles son:

Posición 1 de la perilla reguladora: (27,5 A – 6 V)

Posición 2 de la perilla reguladora: (55 A – 9 V)

Posición 3 de la perilla reguladora: (82,5 A – 12 V)

Posición 4 de la perilla reguladora: (110 A – 15 V)

Posición 5 de la perilla reguladora: (137,5 A – 18 V)

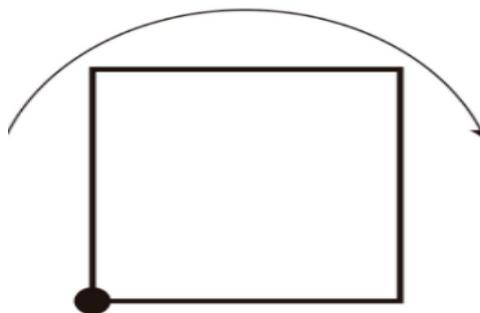
Posición 6 de la perilla reguladora: (165 A – 22V)

En el experimento se usó únicamente los niveles resaltados.

### **Método de Soldadura:**

Para el experimento el método de soldadura se define como la manera en la que se realiza el cordón, esto marcará un parámetro de diferenciación debido a la variabilidad de aporte de material en cada uno de los lados del tubo cuadrado. En este campo lo que se intento es crear una variación en la forma de soldar cuando se refiere al orden, para lo mismo se crearon tipos de soldadura así:

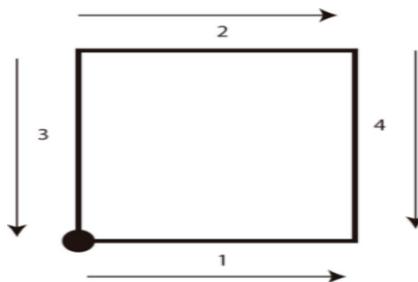
**Método de soldadura 1:** se realizará un cordón de soldadura que forma continúa iniciando en el punto indicado y llevando un sentido horario como guía hasta llegar nuevamente al origen.



**Figura 2- 1:** Método de soldadura 1

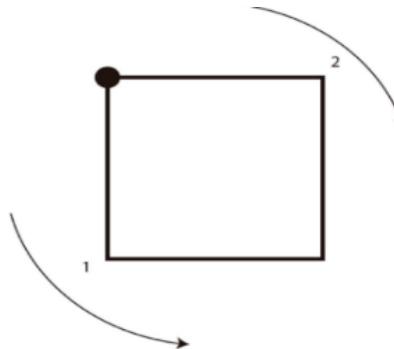
Fuente: Kevin García

**Método de soldadura 2:** mediante la guía de flechas indicada en la figura 1-17 se deberá realizar el cordón, en este caso será un orden alternado de cada lado del perfil.



**Figura 2- 17:** Método de soldadura  
Fuente: Kevin García

**Método de soldadura 3:** en este caso se usan un método donde se combina los casos anteriores, realizando un cordón continuo en dos de las caras del perfil, y posterior a ello y en sentido contrario los otros dos lados faltantes.



**Figura 2- 18:** Método de soldadura  
Fuente: Kevin García

### 2.3.2 Variables de respuesta

Se define como la deformación resultante en los ejes X, Y y Z, se mide en milímetros y fundamentalmente expresa la variación que muestran cada una de las probetas con respecto a un patrón de la junta en T, fabricada especialmente y con la ayuda de una maquina CNC que nos ayudará a medir de forma sencilla la variación existente, a partir de un punto de origen marcado en cada una de las probetas.

**Tabla 2-5.** Detalle del experimento

DENOMINACIÓN	Velocidad de Avance m/min	Amperaje / Voltaje (Posición perilla reguladora)	Método Aplicado
E1P1	5	4	1
E1P2	5	5	2
E1P3	5	6	3
E1P4	5,5	4	2
E1P5	5,5	5	3
E1P6	5,5	6	1
E1P7	6	4	3
E1P8	6	5	1
E1P9	6	6	2

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Autor

## 2.4 Matriz de involucrados

**Tabla 2- 6.** Matriz de involucrados

<b>INVOLUCRADO</b>	<b>INTERESES</b>	<b>PROBLEMAS PERCIBIDOS</b>	<b>ESTRATEGIA</b>
<b>Empresarios Carroceros</b>	Facilitar los datos necesarios para la elaboración de la investigación	Re trabajo al encontrar deformaciones en las carrocerías posterior a su soldadura.	Brindar el apoyo técnico necesario
<b>Escuela de Ingeniería Automotriz</b>	Apoyar acciones que contribuyan al mejoramiento progresivo en cuanto a la ciudad de las carrocerías.	Ninguno	Coordinar la elaboración adecuada del proyecto
<b>Responsable</b>	Analizar la combinación más adecuado de los factores que ayuden a disminuir la deformación por soldadura	Aplicación de métodos empíricos en la construcción de autobuses.  Falta de información sobre problemas de soldadura en perfiles de soldadura pequeños.	Aplicar estrategias basadas en el método de Taguchi (Arreglos ortogonales)

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Autor

## 2.5 Árbol de problemas

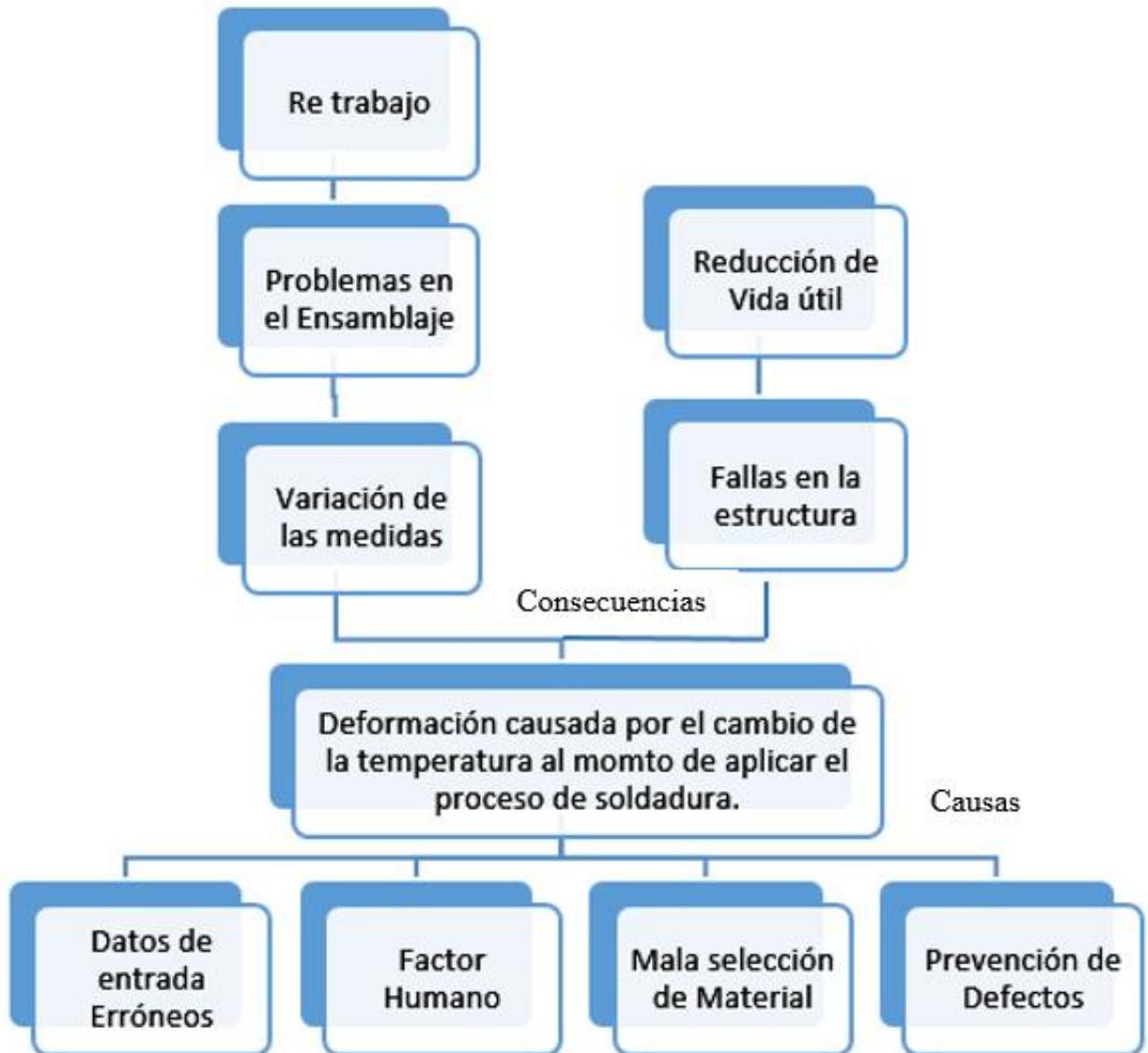
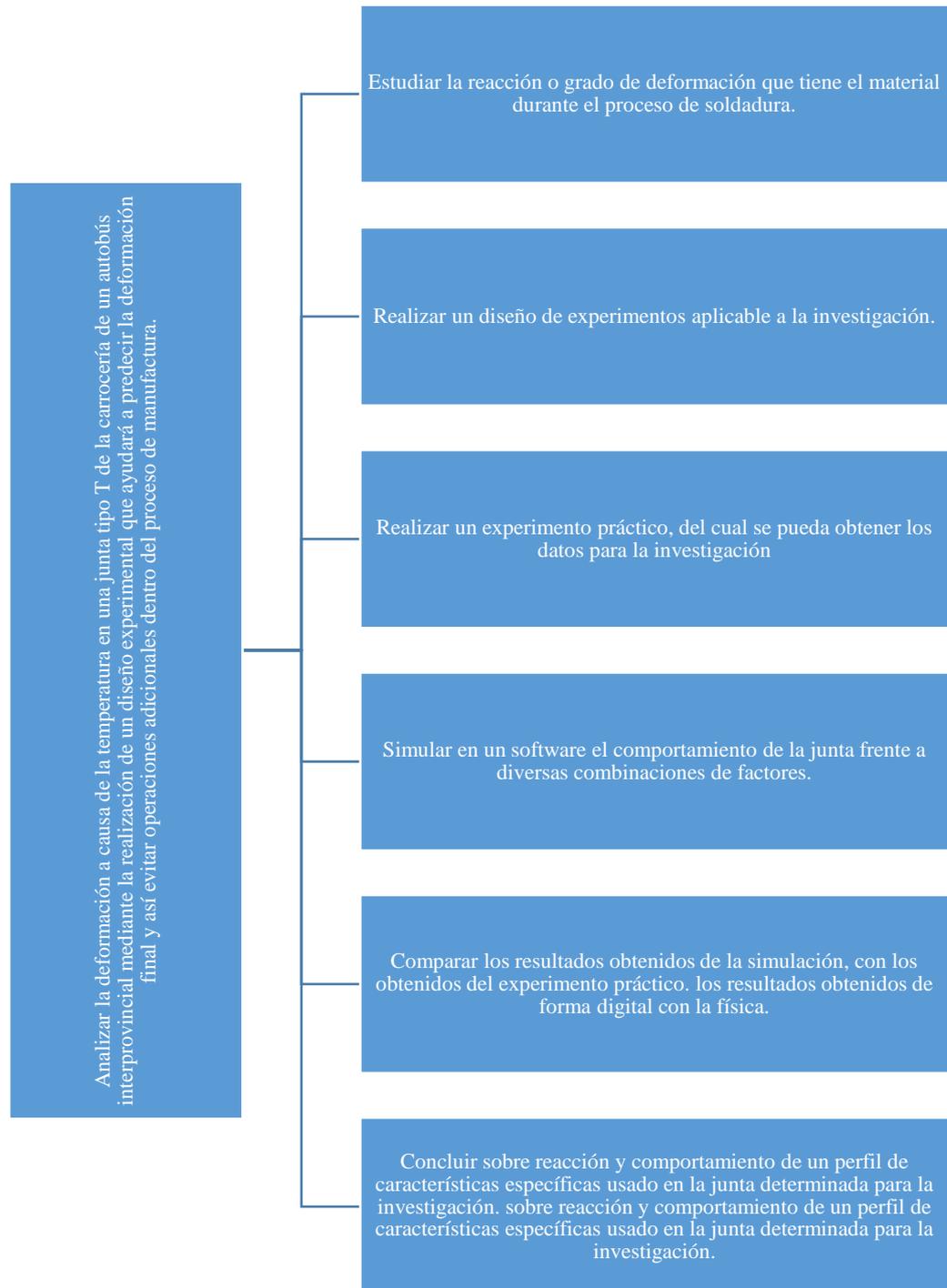


Figura 2- 19: Árbol del problema  
Fuente: Autor

## 2.6 Árbol de objetivos



**Figura 2- 20:** Árbol de objetivos

Fuente: Autor

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 *Tabla de resultado de medición*

En las siguientes tablas se presentará los valores obtenidos del experimento en los 3 ejes, todo se encuentra en milímetros como unidad. Se realizó 3 repeticiones del experimento con el objetivo de obtener una muestra mayor y así obtener datos exactos.

**Tabla 3- 7.** Tabla de resultados primera repetición

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS			
NOMBRE:			INSTRUMENTOS DE MEDIDA:
FECHA:			
CÓDIGO	EJE X	EJE Y	EJE Z
E1P1	4,68	2,2	0,295
E1P2	3,2	3,9	3,1
E1P3	4,4	4,6	0,09
E1P4	4,95	2,45	0,45
E1P5	2,6	3,4	0,29
E1P6	4,52	3,8	0,37
E1P7	5,08	3,6	0,55
E1P8	3,02	3	0,1
E1P9	5,75	2,95	0,655
OBSERVACIONES:	Fecha del experimento 6/10/17 se presentó lluvia, tomo aproximadamente 3 horas, el estado de la maquina era de una 75%.		

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Autor

**Tabla 3- 8.** Tabla de resultados segunda repetición

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS			
NOMBRE:			INSTRUMENTOS DE MEDIDA:
FECHA:			
CÓDIGO	EJE X	EJE Y	EJE Z
E2P1	4,42	2,4	0,3
E2P2	4,45	3,82	2,9
E2P3	3,3	4,9	0,24
E2P4	5,02	2,4	0,34
E2P5	2,73	3,32	2,8
E2P6	4,78	3,75	0,38
E2P7	4,84	3,72	0,61
E2P8	3,14	3,05	0,13
E2P9	5,63	2,84	0,59
OBSERVACIONES:	Fecha de experimento 18/10/17, se presentó un día soleado el experimento inicio a las 14h00 hasta las 17h30, se consideró una posición inicial para cada uno de los elementos a trabajar.		

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Autor

**Tabla 3- 9.** Tabla de resultados segunda repetición

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS			
NOMBRE:			INSTRUMENTOS DE MEDIDA:
FECHA:			
CÓDIGO	EJE X	EJE Y	EJE Z
E3P1	4,38	2,16	0,27
E3P2	3,12	4,02	3,52
E3P3	3,98	4,76	0,11
E3P4	4,97	2,51	0,43
E3P5	2,89	3,37	0,265
E3P6	4,76	3,82	0,33
E3P7	4,65	3,49	0,51
E3P8	2,15	3,7	0,27
E3P9	5,86	3,02	0,62
OBSERVACIONES:	Fecha del experimento 19/10/17, se presentó un día parcialmente nublado, el experimento se inició a las 9h00 hasta las 11h45, se repitió la prueba E1P2 debido a que presentó parámetros fuera de lo normal por lo mismo se descartó.		

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Autor

## Resultado de las simulaciones

Luego del uso del software se obtuvo los resultados que se presentan a continuación.

**Tabla 3- 10.** Tabla de resultados simulación

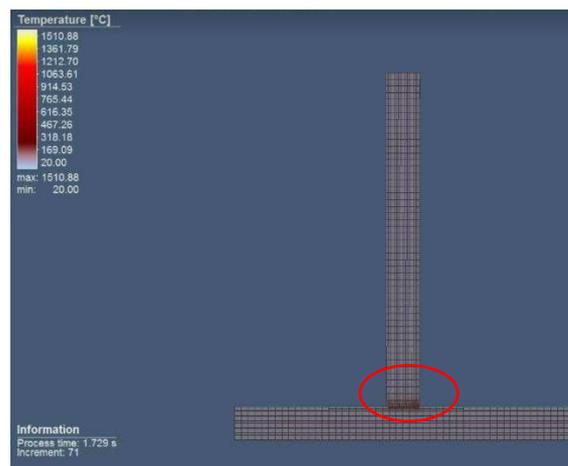
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS EN EL SOFTWARE			
NOMBRE:			INSTRUMENTOS DE MEDIDA:
FECHA:			
CÓDIGO	EJE X	EJE Y	EJE Z
E1P1	3,52	2,25	0,75
E1P2	3,45	4,65	3,25
E1P3	3,75	4,5	0,31
E1P4	5,25	2,25	0,18
E1P5	2,55	2,95	0,25
E1P6	4,6	4	0,4
E1P7	4,4	2,82	0,66
E1P8	2,75	3	0,23
E1P9	5,25	2,85	0,5
OBSERVACIONES:			

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Autor

### 3.1.2 E1P1

#### 3.1.2.1 Variación de la temperatura

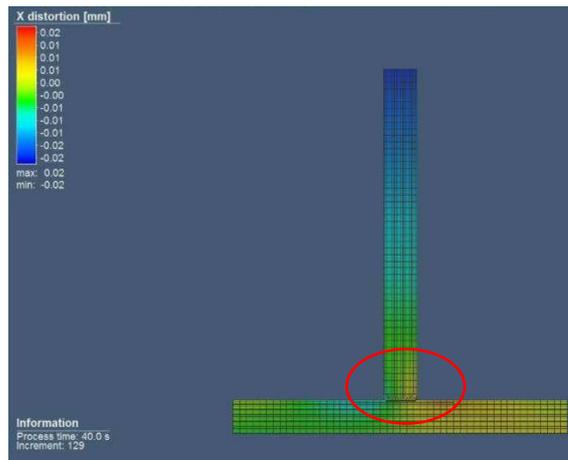


**Gráfico3- 2:** Variación de la temperatura E1P1

**Fuente:** Kevin García

En la figura 3-19. Se muestra la zona térmicamente afectada por el proceso de soldadura, que marca una temperatura de 800 grados centígrados.

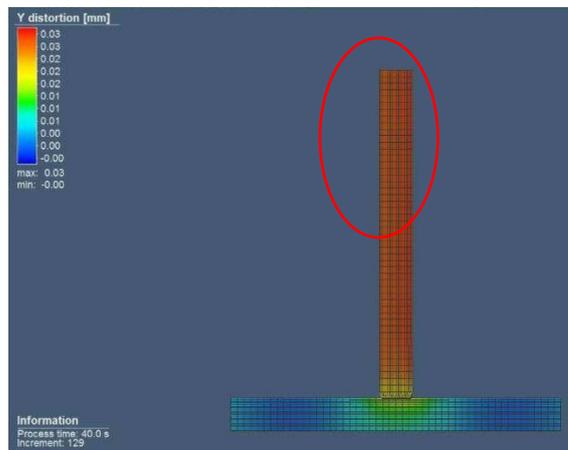
### 3.1.2.2 Distorsión en el eje X



**Gráfico3- 3:** Distorsión en el eje X para E1P1  
Fuente: Kevin García

En la figura 3-20. Se muestra la zona con mayor variación longitudinal en el proceso de soldadura, con 0,02 mm aproximadamente.

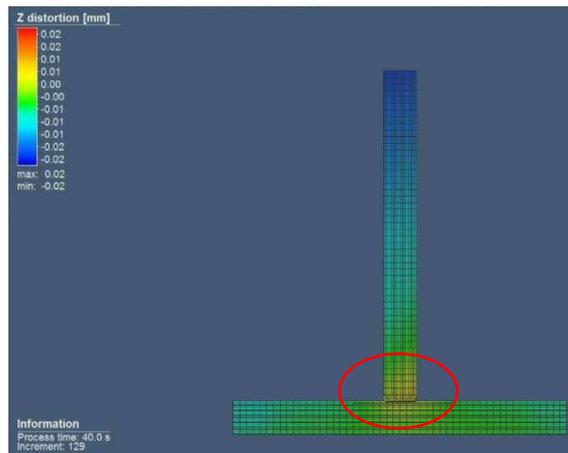
### 3.1.2.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico3- 4:** Distorsión en el eje Y  
Fuente: Kevin García

En la figura 3-21. Se muestra la zona con mayor variación longitudinal en el proceso de soldadura, con 0,03 mm aproximadamente.

### 3.1.2.4 Distorsión en el eje Z

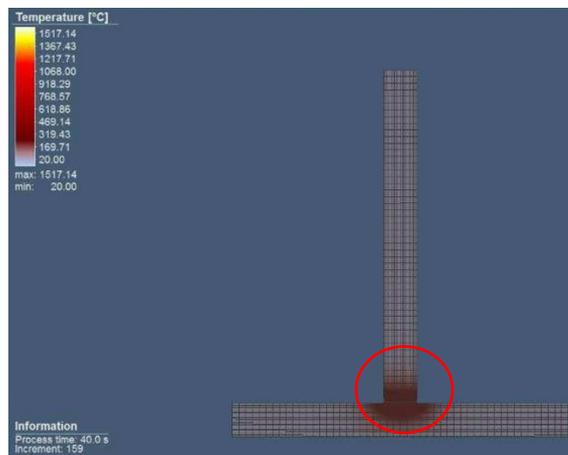


**Gráfico 3- 5:** Distorsión en el eje Z Todas estas de aquí hasta el final son gráficos  
**Fuente:** Kevin García

En la figura 3-22. Se muestra la zona con mayor variación longitudinal en el proceso de soldadura, con 0,02 mm aproximadamente. De igual manera en las figuras posteriores se mostrará la zona con mayor variación longitudinal.

### 3.1.3 EIP2

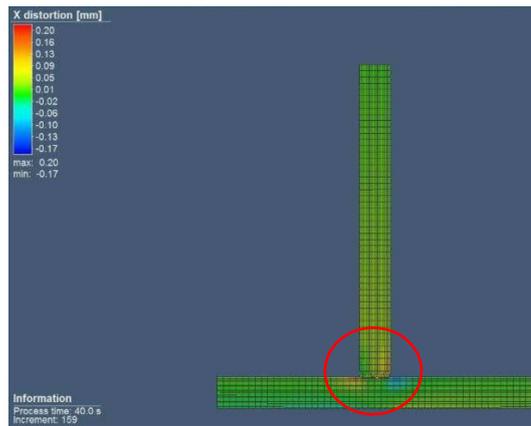
#### 3.1.3.1 Variación de la temperatura



**Gráfico 3- 6:** Variación de la temperatura EIP2  
**Fuente:** Kevin García

En la figura 3-23. Se muestra la zona térmicamente afectada por el proceso de soldadura con un área mucho mayor, que marca una temperatura de 918 grados centígrados aproximadamente. Lo mismo que sucede en los 7 casos de temperatura que se encuentra a continuación.

### 3.1.3.2 Distorsión en el eje X



**Gráfico 3-7:** Distorsión en el eje X E1P2

Fuente: Kevin García

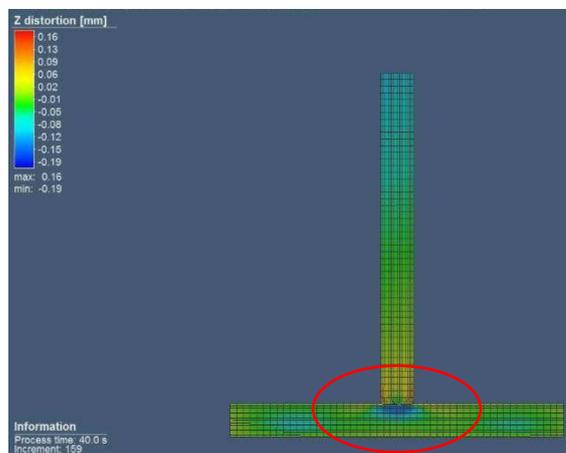
### 3.1.3.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 8:** Distorsión en el eje Y E1P2

Fuente: Kevin García

### 3.1.3.4 Distorsión en el eje Z

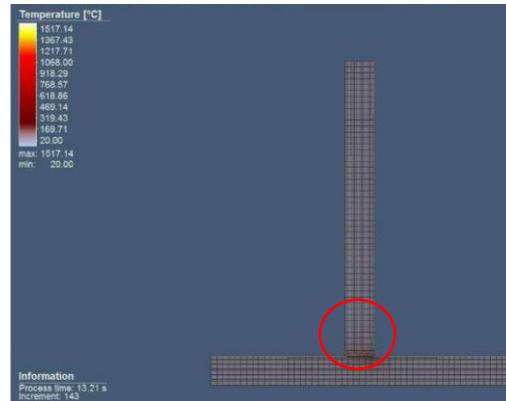


**Gráfico 3- 9:** Distorsión en el eje Z E1P2

Fuente: Kevin García

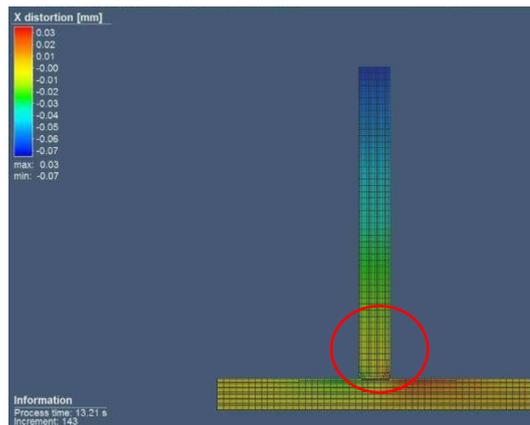
### 3.1.4 EIP3

#### 3.1.4.1 Variación de la temperatura



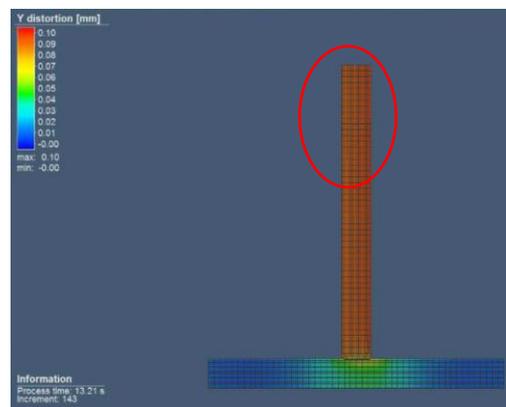
**Gráfico 3- 10:** Variación de la temperatura EIP3  
Fuente: Kevin García

#### 3.1.4.2 Distorsión en el eje X



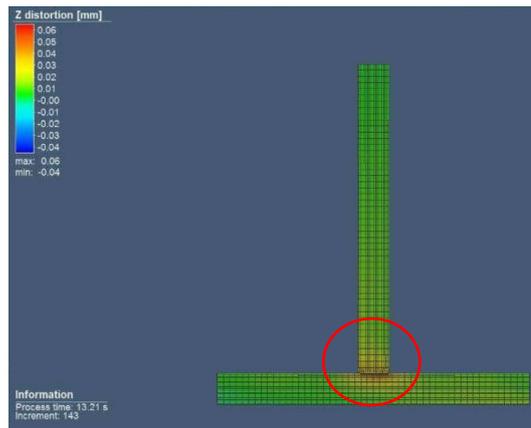
**Gráfico 3-11:** Distorsión en el eje X EIP3  
Fuente: Kevin García

#### 3.1.4.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 12:** Distorsión en el eje Y EIP3  
Fuente: Kevin García

### 3.1.4.4 Distorsión en el eje Z



**Gráfico 3-13:** Distorsión en el eje Z E1P3  
Fuente: Kevin García

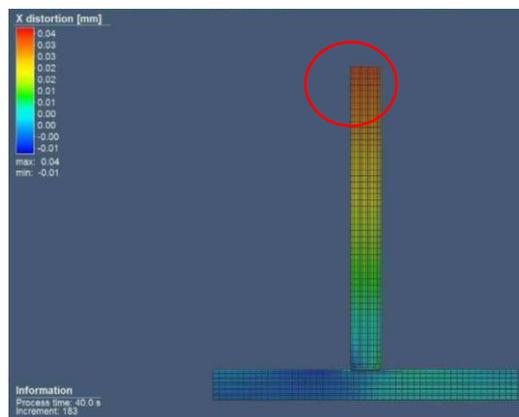
### 3.1.5 E1P4

#### 3.1.5.1 Variación de la temperatura



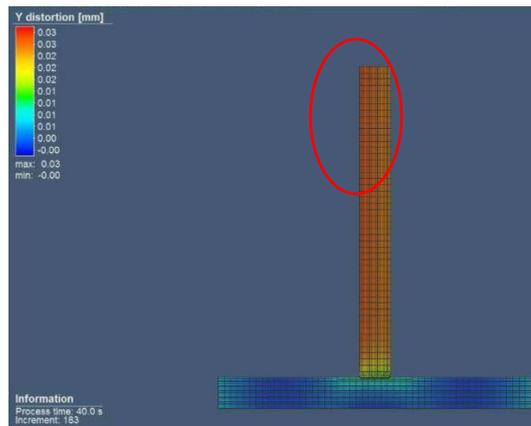
**Gráfico 3-14:** Variación de la temperatura E1P4  
Fuente: Kevin García

#### 3.1.5.2 Distorsión en el eje X



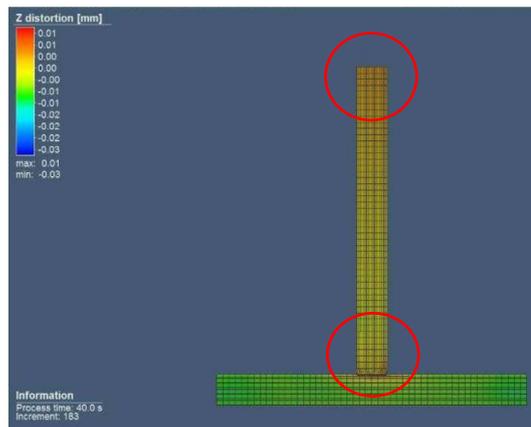
**Gráfico 3-15:** Distorsión en el eje X E1P4  
Fuente: Kevin García

### 3.1.5.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 16:** Distorsión en el eje Y E1P4  
**Fuente:** Kevin García

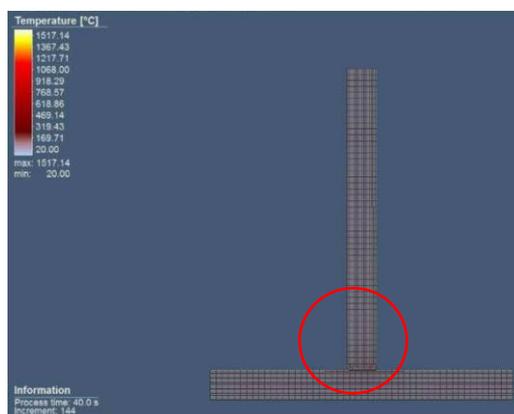
### 3.1.5.4 Distorsión en el eje Z



**Gráfico 3- 17:** Distorsión en el eje Z E1P4  
**Fuente:** Kevin García

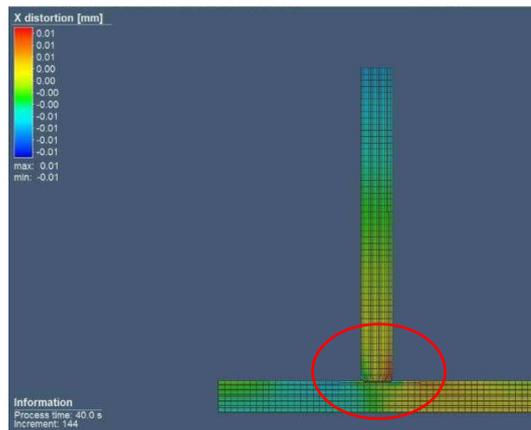
## 3.1.6 E1P5

### 3.1.6.1 Variación de la temperatura



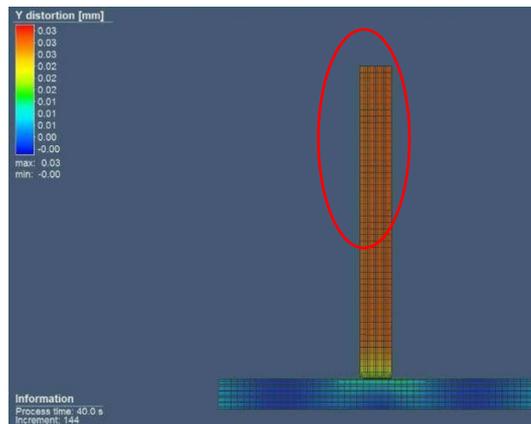
**Gráfico 3- 18:** Variación de la temperatura E1P5  
**Fuente:** Kevin García

### 3.1.6.2 Distorsión en el eje X



**Gráfico 3- 19:** Distorsión en el eje X E1P5  
Fuente: Kevin García

### 3.1.6.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 20:** Distorsión en el eje Y E1P5  
Fuente: Kevin García

### 3.1.6.4 Distorsión en el eje Z



**Gráfico 3- 21:** Distorsión en el eje Z E1P5  
Fuente: Kevin García

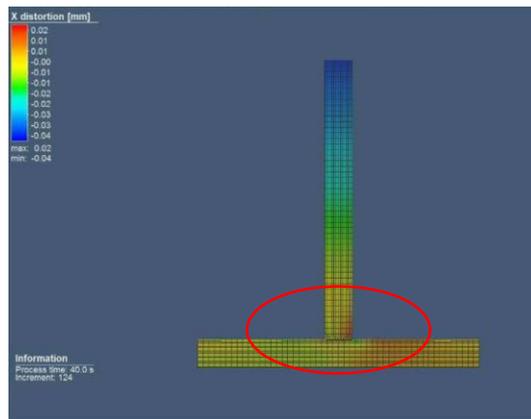
### 3.1.7 EIP6

#### 3.1.7.1 Variación de la temperatura



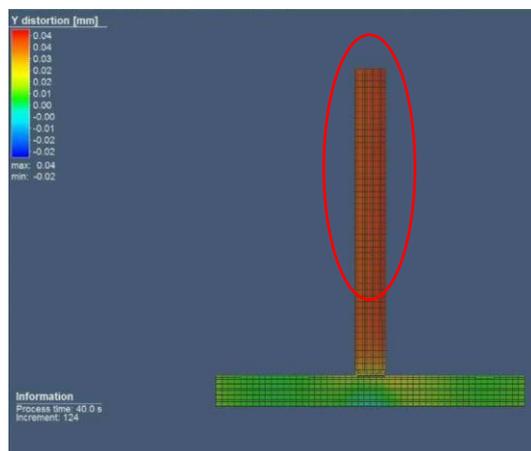
**Gráfico 3- 22:** Variación de la temperatura EIP6  
Fuente: Kevin García

#### 3.1.7.2 Distorsión en el eje X



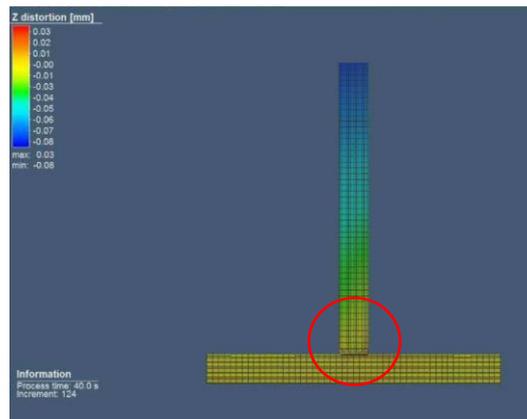
**Gráfico 3- 23:** Distorsión en el eje X EIP6  
Fuente: Kevin García

#### 3.1.7.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 24:** Distorsión en el eje Y EIP6  
Fuente: Kevin García

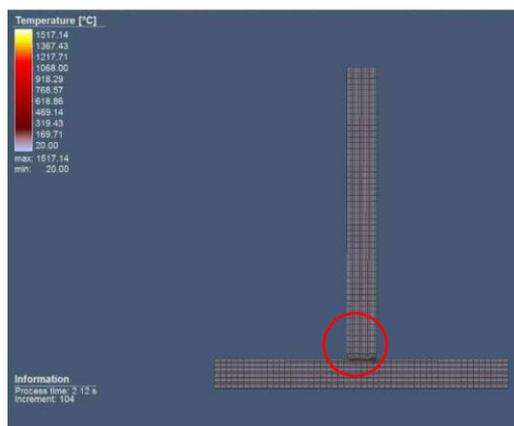
### 3.1.7.4 Distorsión en el eje Z



**Gráfico 3- 25:** Distorsión en el eje Z E1P6  
Fuente: Kevin García

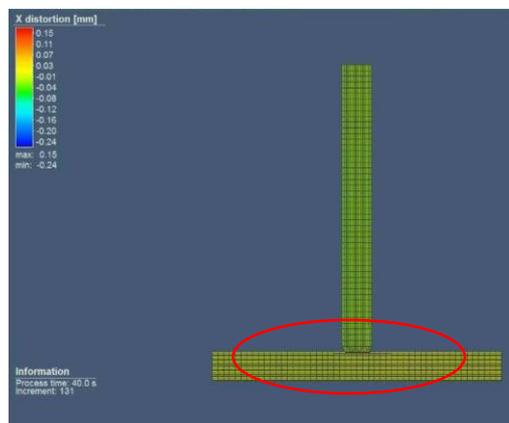
### 3.1.8 E1P7

#### 3.1.8.1 Variación de la temperatura



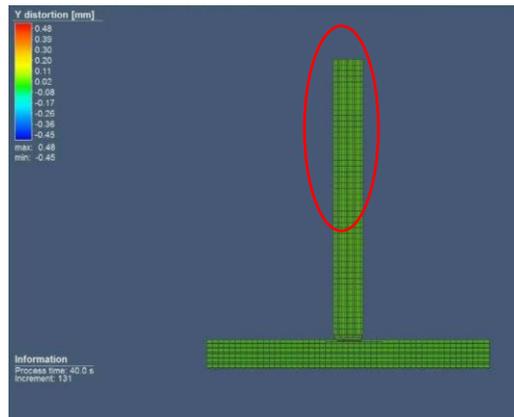
**Gráfico 3- 26:** Variación en la temperatura E1P7  
Fuente: Kevin García

#### 3.1.8.2 Distorsión en el eje X



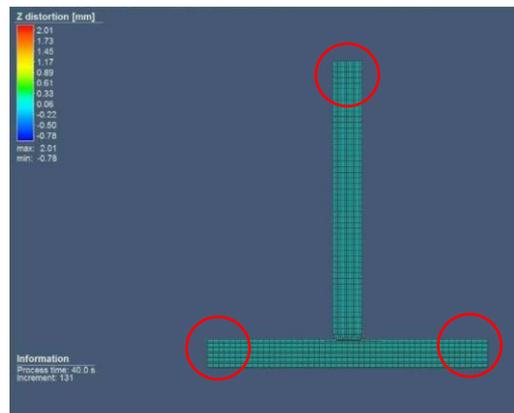
**Gráfico 3- 27:** Distorsión en el eje X E1P7  
Fuente: Kevin García

### 3.1.8.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 28:** Distorsión en el eje Y E1P7  
Fuente: Kevin García

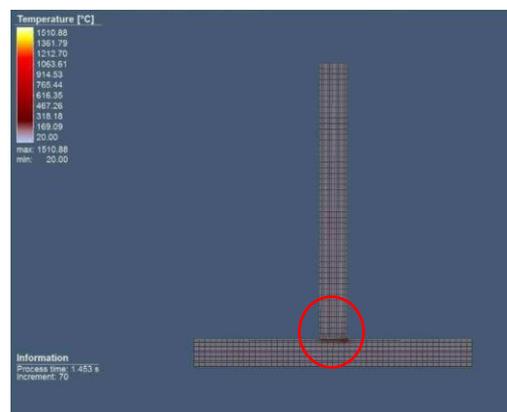
### 3.1.8.4 Distorsión en el eje Z



**Gráfico 3- 29:** Distorsión en el eje Z E1P7  
Fuente: Kevin García

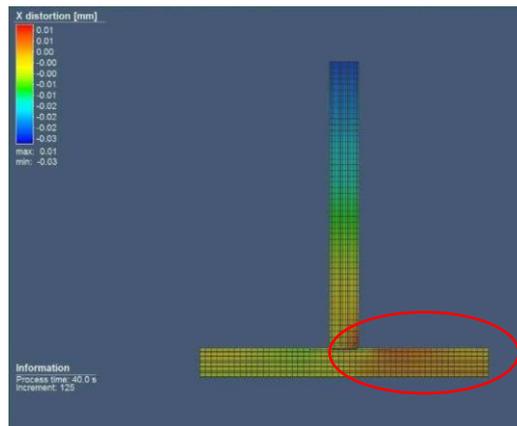
## 3.1.9 EIP8

### 3.1.9.1 Variación de la temperatura



**Gráfico 3- 30:** Variación de la temperatura E1P8  
Fuente: Kevin García

### 3.1.9.2 Distorsión en el eje X



**Gráfico 3- 31:** Distorsión en el eje X E1P8  
Fuente: Kevin García

### 3.1.9.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 32:** Distorsión en el eje Y E1P8  
Fuente: Kevin García

### 3.1.9.4 Distorsión en el eje Z



**Gráfico 3- 33:** Distorsión en el eje Z E1P8  
Fuente: Kevin García

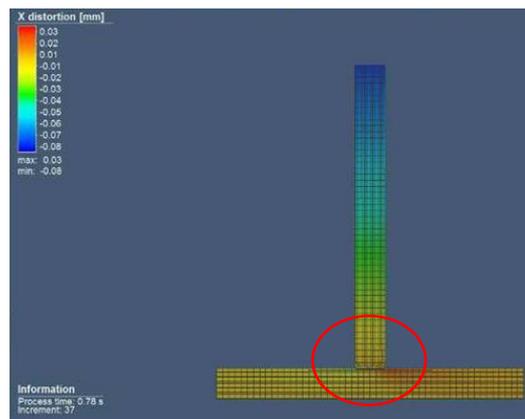
### 3.1.10 E1P9

#### 3.1.10.1 Variación de la temperatura



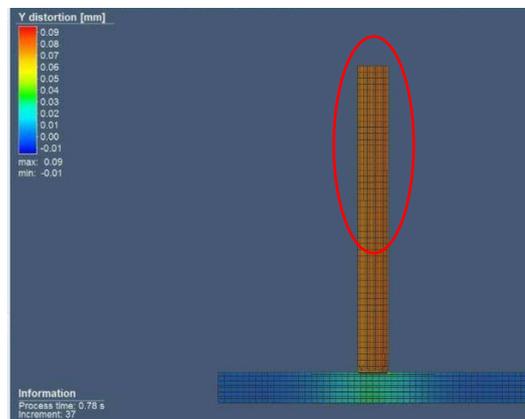
**Gráfico 3- 34:** Variación de la temperatura E1P9  
**Fuente:** Kevin García

#### 3.1.10.2 Distorsión en el eje X



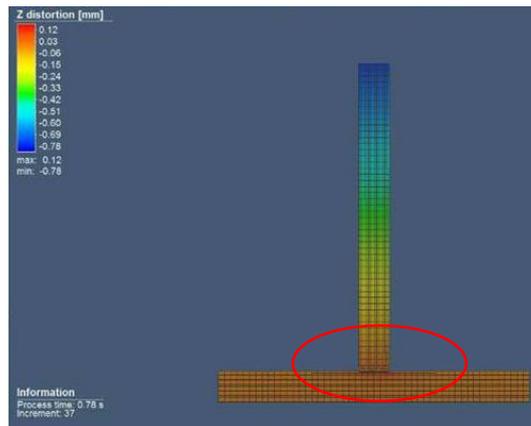
**Gráfico 3- 35:** Distorsión en el eje X E1P9  
**Fuente:** Kevin García

#### 3.1.10.3 Distorsión en el eje Y



**Gráfico 3- 36:** Distorsión en el eje Y E1P9  
**Fuente:** Kevin García

### 3.1.10.4 Distorsión en el eje Z



**Gráfico 3- 37:** Distorsión en el eje Z E1P9  
Fuente: Kevin García

### 3.1.11 Análisis de resultados

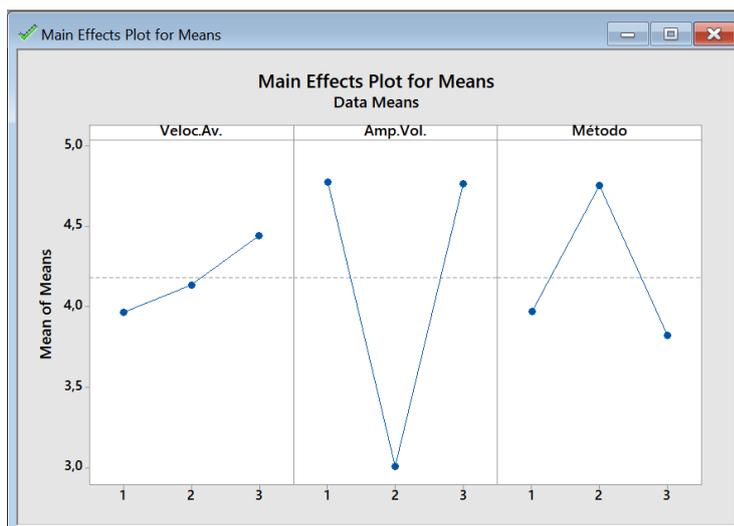
Para realizar el análisis de resultados se usó como herramienta un software especializado en datos denominado Minitab, del cual se tomó gráficas donde muestra en la parte superior la denominación de factores, de igual forma cual es el valor de afectación sobre el perfil (mostrado en el eje vertical) así como también la variable que ocasiona dicha deformación (cuyos niveles se muestran en la parte inferior de forma horizontal), obteniendo así la combinación adecuada para que el experimento nos de la menor afectación.

### Análisis de los resultados para el eje X

**Tabla 3- 11.** Análisis de resultados para el eje X

	E1	E2	E3	$\bar{X}$	S
P1	4,68	4,42	4,38	4,49	0,16
P2	3,2	4,45	3,12	3,54	0,75
P3	4,4	3,3	3,98	3,87	0,56
P4	4,95	5,02	4,97	4,98	0,04
P5	2,6	2,73	2,89	2,74	0,15
P6	4,52	4,78	4,76	4,69	0,14
P7	5,08	4,84	4,65	4,85	0,22
P8	3,02	3,14	2,15	2,73	0,54
P9	5,75	5,63	5,86	5,75	0,12

**Realizado por:** Kevin García  
**Fuente:** Autor



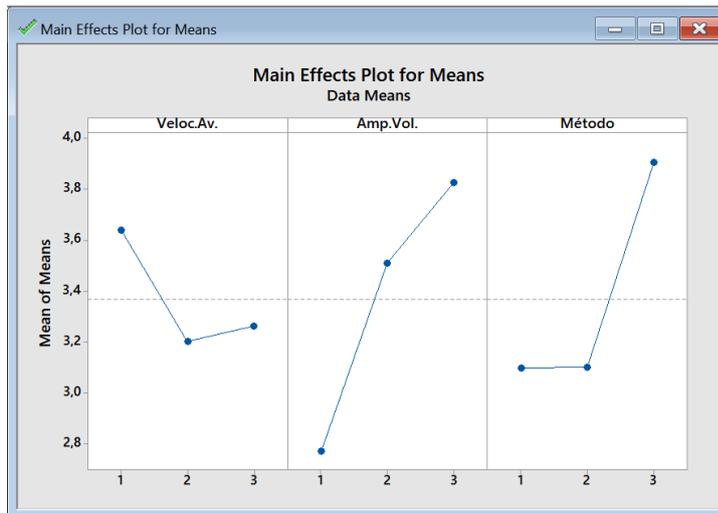
**Gráfico 3- 38:** Gráficas de efectos principales para las deformaciones en X  
Fuente: Autor

Para este caso se puede ver como la velocidad de avance en la variable número uno muestra un valor de 3,9 aproximadamente, siendo el mínimo en este caso será la variable considerada como optima, de la misma forma la variable dos en el factor amperaje y voltaje, así como también la variable 3 en el factor del método de soldadura. La combinación más óptima de variables de cada factor sería factor 1 con 1, factor 2 con 2 y factor 3 con 3.

**Tabla 3- 12.** Análisis de resultados para el eje Y

	E1	E2	E3	$\bar{Y}$	S
P1	2,2	2,4	2,16	2,25	0,13
P2	3,9	3,82	4,02	3,91	0,10
P3	4,6	4,9	4,76	4,75	0,15
P4	2,45	2,4	2,51	2,45	0,06
P5	3,4	3,32	3,37	3,36	0,04
P6	3,8	3,75	3,82	3,79	0,04
P7	3,6	3,72	3,49	3,60	0,12
P8	3	3,05	3,7	3,25	0,39
P9	2,95	2,84	3,02	2,94	0,09

**Realizado por:** Kevin García  
**Fuente:** Autor



**Gráfico 3- 39.** Gráficas de efectos principales para las deformaciones en Y  
Fuente: Autor

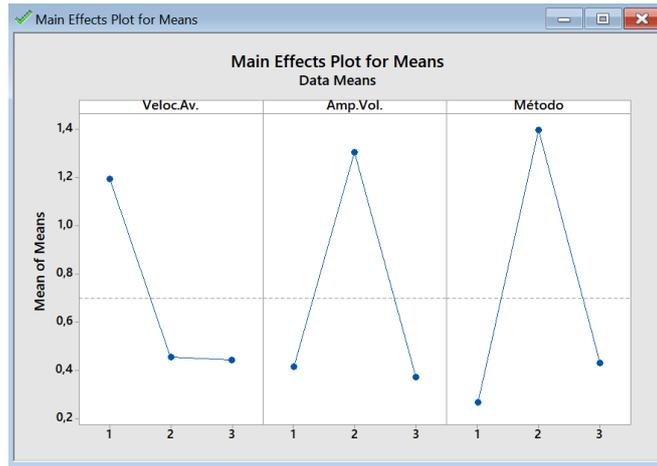
En el gráfico 1-6 el factor 1 con la variable dos causan menor afectación, así como también el factor 2 en su variable 1, pero para el caso del factor 3 ocurre un fenómeno donde se puede observar que tanto la variable 1 y 2 nos generan una variación de la misma magnitud. Se puede decir que la combinación más óptima de variables de cada factor sería factor 1 con 2, factor 2 con 1 y factor 3 con 1 o 2.

**Tabla 3- 13.** Análisis de resultados para el eje Z

	E1	E2	E3	$\bar{Z}$	S
P1	0,295	0,3	0,27	0,29	0,02
P2	3,1	2,9	3,52	3,16	0,32
P3	0,09	0,24	0,11	0,13	0,08
P4	0,45	0,34	0,43	0,40	0,06
P5	0,29	2,8	0,265	0,60	1,46
P6	0,37	0,38	0,33	0,36	0,03
P7	0,55	0,61	0,51	0,56	0,05
P8	0,1	0,13	0,27	0,15	0,09
P9	0,655	0,59	0,62	0,62	0,03

**Realizado por:** Kevin García

**Fuente:** Autor



**Gráfico 3- 40:** Gráficas de efectos principales para las deformaciones en Z  
Fuente: Autor

Para el eje Z en la gráfica 3-7 se crea una combinación de factores donde el factor uno con la variable 3 serían las más óptimas, el factor 2 con la variable 3 y finalmente el factor 3 con la variable 1.

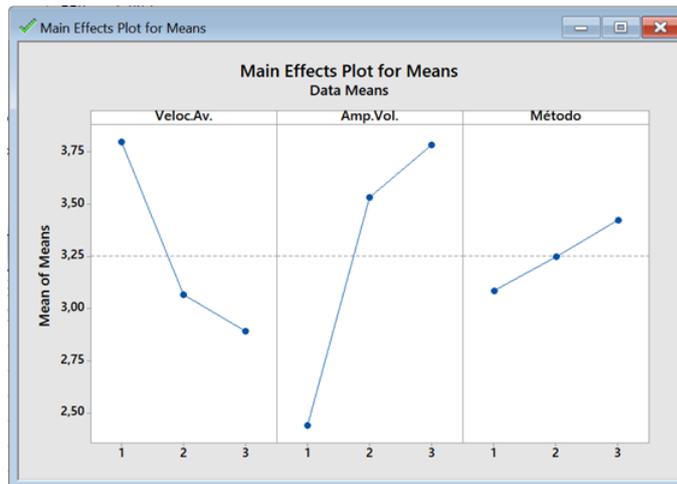
### 1.3 Análisis de Resultados Obtenidos por el Software

El objetivo en el caso de la repetición de graficas con los datos obtenidos en el software es lograr que las combinaciones serán iguales o muy parecidas, dicho de otra forma, que se corrobore el experimento físico con la simulación.



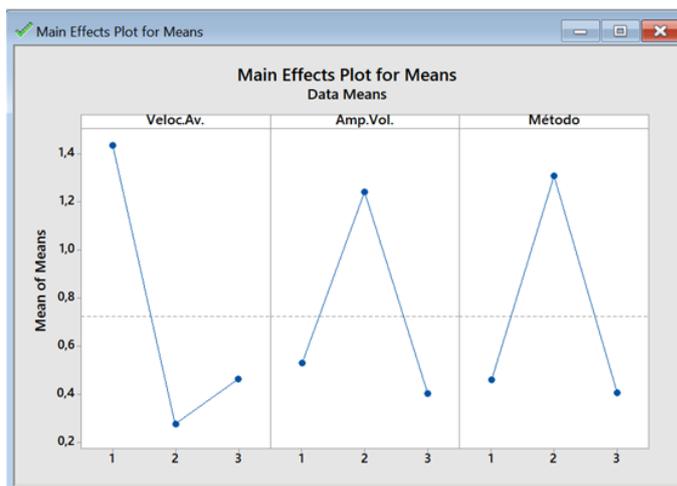
**Gráfico 3- 41:** Efectos principales para las deformaciones en X simulación.  
Fuente: Autor

En la gráfica 3-8 del eje X se obtuvo una combinación resultante que para el factor 1 sea la variable 1, para el factor 2 la variable 2 y finalmente para el factor 3 la variable número



**Gráfico 3- 42** Efectos principales para las deformaciones en Y simulación.  
Fuente: Autor

En la gráfica 3-9 del eje Y se obtuvo una combinación resultante que para el factor 1 con la variable 4, para el factor 2 la variable 1 y finalmente para el factor 3 la variable número

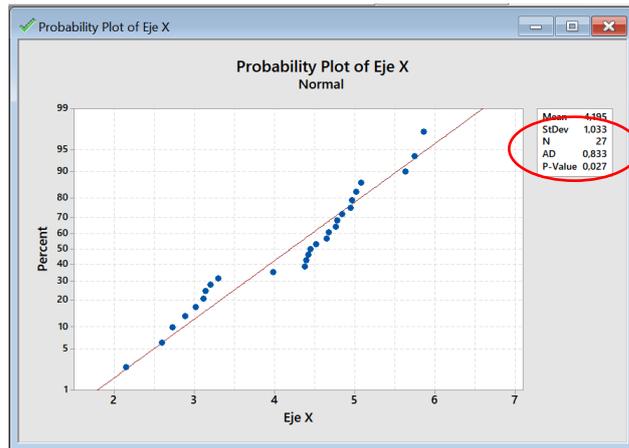


**Gráfico 3- 43:** Efectos principales para las deformaciones en Z simulación.  
Fuente: Autor

En la gráfica 3-10 del eje Z se obtuvo una combinación resultante que para el factor 1 sea la variable 2, para el factor 2 la variable 3 y finalmente para el factor 3 la variable número 3.

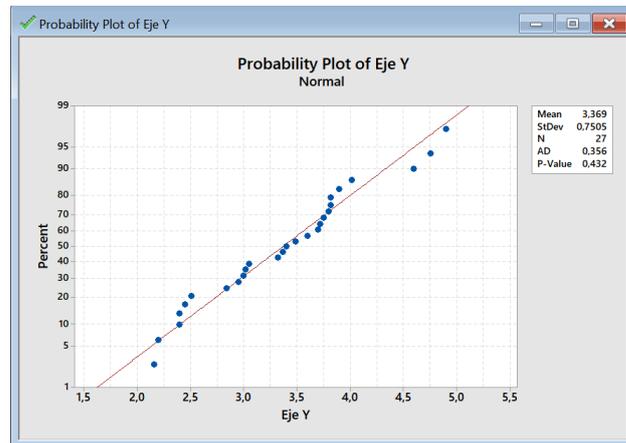
### Gráficas de Normalidad de los datos de cada Eje.

Para el test de normalidad de usó un valor de significancia ( $\alpha$ ) de 0,05, lo que en otras palabras nos indicara que se tiene un 95% de eficiencia.



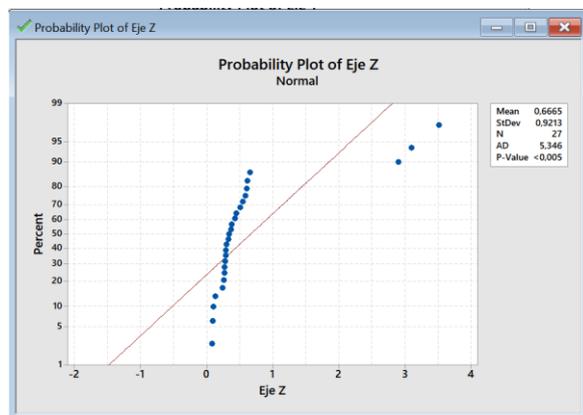
**Gráfico 3- 44:** Graficas de distribución eje X  
Fuente: Autor

El gráfico 3-11 muestra un valor p de 0,027, este parámetro ayuda a llegar a la conclusión de que se rechaza la hipótesis nula.



**Gráfico 3- 45:** Graficas de distribución eje Y  
Fuente: Autor

El gráfico 3-12 muestra un valor p de 0,432, este parámetro ayuda a llegar a la conclusión de que se rechaza la hipótesis nula.



**Gráfico 3- 46:** Graficas de distribución eje Z  
Fuente: Autor

## 3.2 Conclusiones

- La aplicación de arreglos ortogonales para el experimento logró disminuir el número de pruebas de 27 a tan solo 9 considerando las de mayor relevancia en el experimento.
- La velocidad de avance del material de aporte es el factor de menor importancia en el experimento debido a que presenta menor afectación, mientras que por el contrario el amperaje y voltaje será el factor más importante debido a que causará mayor afectación al experimento.
- La combinación de factores para reducir la deformación en el caso del eje X es 5 m/min de velocidad de avance, 137,5 A a 18 V y el método 3 de soldadura.
- En el eje Y se obtuvo como variables de respuesta una combinación de factores con 5,5 m/min a 110 A y 15 V pero en el tercer factor no existe afectación con el uso del 1, 2 método de soldadura.
- En el eje Z se produjo una combinación de factores con 6 m/min de velocidad de avance, 165 A a 22V y el método 1 para soldar.
- En el caso de la simulación se logró obtener datos muy parecidos respecto a los que se tomaron en el experimento físico, en el caso del eje X la configuración de respuesta fue exactamente igual, en el eje Y se obtuvo una variable de respuesta con 6 m/min de velocidad de avance siendo mayor que la que se obtuvo en el experimento y la misma configuración en los otros dos parámetros, y para el caso del eje Z la combinación fue 5,5 m/min como velocidad de avance, 165 A a 22V y el tercer método de soldadura dando un cambio considerable en relación a la anteriores.

### **3.3 Recomendaciones**

- Debido a la competencia en este mercado el proceso de manufactura ya no debería contar con ningún método empírico, las normas establecidas en la construcción de carrocerías son demasiadas, pese a esto se usan métodos ajenos al mismo con la intención de reducir tiempos y costos.
- La falta de softwares especializados es una complicación que estuvo presente en el experimento, de ahí que se debe tener mayor practica sobre estos, a fin obtener conocimientos prácticos para experimentos.
- La estadística es una herramienta muy práctica cuando se trata de investigaciones donde se necesita definir una forma de reducir errores en el proceso, debido a ello la implementación de experimentos de este tipo en el campo laboral darían un mejor nivel en la calidad de manufactura.

## BIBLIOGRAFÍA

**BRAÑA, Francisco; et al.** *Buen vivir y cambio de la matriz productiva: Reflexiones desde el Ecuador*. [en línea]. Quito-Ecuador. Ediciones Friedrich Ebert Stiftung (FES-ILDIS). Disponible en: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/12781.pdf>

**CHÁZARO, Carlos; et al.** *Elección tipo de acero*. [en línea]. México. Ediciones Gerdau Corsa. [Consultado el: 09 de 10 de 2017.]. Disponible en: <https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf>

**ECURED.** *Máquina de soldar*. [en línea]. Cuba. [Consultado el: 10 de noviembre de 2017.]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Máquina\\_de\\_soldar](https://www.ecured.cu/Máquina_de_soldar)

**EL COMERCIO.** *Redacción Política y Negocios* [en línea] Ecuador. [Consultado el: 31 de agosto de 2107.]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/propuestas-matrizproductiva-candidatos-elecciones.html>.

**EL TELÉGRAGO.** *El sector carrocero factura usd 80millones al año*. [en línea] Ecuador. [Consultado el: 15 de 09 de 2017.]. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/el-sector-carrocero-factura-usd-80-millones-al-ano>.

**FERRER, Julián.** *Elementos estructurales del vehículo*. Madrid. Ediciones Editex 2014. pp. 76-90.

**FLORES, Francisco; et al.** *Guía práctica para prevenir deformaciones por soldadura* (Tesis de Ingeniería). Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Naval, 2006. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcig643g/sources/bmfcig643g.pdf>

**GARCÍA, David.** *Evolución de la carrocería* (Tesis). Puebla – México. Universidad Popular Autónoma de Puebla. Ingeniería en diseño automotriz. 2015. Disponible en: [http://www.academia.edu/15336787/Evoluci%C3%B3n\\_de\\_la\\_carrocer%C3%ADa](http://www.academia.edu/15336787/Evoluci%C3%B3n_de_la_carrocer%C3%ADa)

**GARZA, Edmundo.** *Administración de la calidad total*. [en línea]. México DF. Pax México, 2008. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=9zYyYc6i9JwC&printsec=frontcover&dq=administraci%C3%B3n+de+la+calidad+total+eduardo+garza+pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjFjqE9dTXAhXESN8KHb3BDekQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false>

**GUTIÉRREZ, Pulido; et al.** *Análisis y diseño de experimentos*. México. Editorial McGraw-Hill, 2008. pp. 294-307

**JEFFUS, Larry.** *Soldadura, principios y aplicaciones*. Madrid. Editorial Paraninfo. Quinta edición. 2009. pp. 300-329

**MACÍAS, Misael.** *Diseño de experimentos*. México. Universidad Politécnica de Tlaxcala, 2012. pp. 180-200

**PORTO, Julián.** *Definición de carrocería*. [en línea]. 2016. [Consultado el: 10 de 09 de 2017]. Disponible en: <https://definicion.de/carroceria/>.

**REVISTA LIDERES.** *54 empresas carroceras ya tienen su certificación*. [en línea] Ecuador 2015. [Consultado el: 01 de 09 de 2017] Disponible en: <http://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-carroceras-busescertificacionagencia.html>

**ROWE, Richard; et al.** *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*. Madrid. Ediciones Paraninfo, 2008. pp. 50-75

**RUTA 401.** *Loctite Teroson*. [en línea]. Barcelona 2016. [Consultado el: 09 de 10 de 2017]. Disponible en: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-carrocerias-principales-caracteristicas>.

**TIXCE, Christian.** *Motor y Racing*. [En línea] 2016. [Consultado el: 09 de 10 de 2017.] Disponible en: <http://www.motoryracing.com/coches/noticias/una-breve-historia-del-autobus/>.