

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico Automotriz.*

**Proyecto Técnico: “Propuesta del proceso de soldadura para el
chasis del Vehículo Monoplaza tipo Fórmula SAE”**

AUTORES:

Ana María Campoverde Maldonado.

Santiago Paúl Galarza Serrano.

TUTOR:

Ing. Diego René Urgilés Contreras. Mstr.

Cuenca, octubre de 2016.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

ii

Nosotros, Ana María Campoverde Maldonado con cédula de identidad No 0105265250 y Santiago Paúl Galarza Serrano con cédula de identidad No 0104993753, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado *“Propuesta del proceso de soldadura para el chasis del Vehículo Monoplaza tipo Fórmula SAE”*, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre del 2016.



Ana María Campoverde Maldonado

0105265250



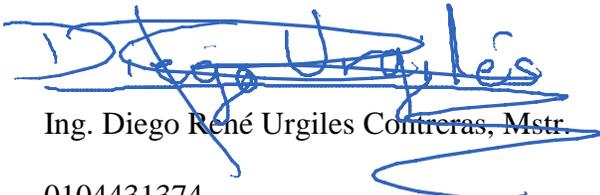
Santiago Paúl Galarza Serrano

0104993753

CERTIFICACION.

Yo declaro que bajo mi dirección fue desarrollado el trabajo de titulación, **“PROPUESTA DEL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL CHASIS DEL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO FORMULA SAE”**, realizado por **Ana María Campoverde Maldonado** y **Santiago Paúl Galarza Serrano**, obteniendo un **“Proyecto Técnico”** que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre del 2016



Ing. Diego René Urgiles Contreras, Mstr.

0104431374

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.

Nosotros, **Ana María Campoverde Maldonado** con cédula de identidad No. **0105265250** y **Santiago Paúl Galarza Serrano** con cédula de identidad No. **0104993753**, autores del trabajo de titulación “**PROPUESTA DEL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL CHASIS DEL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO FÓRMULA SAE**”, certificamos que el contenido total del presente “**Proyecto técnico**” es de nuestra exclusiva responsabilidad y tutoría.

Cuenca, octubre del 2016.

Ana María Campoverde Maldonado

0105265250

Santiago Paúl Galarza Serrano

0104993753

Dedicatoria

v

Esta tesis la dedico a Dios que nunca se aparta de mi lado y siempre me muestra el camino correcto.

A mi madre, quien durante estos años ha sido un pilar fundamental en mi vida y un ejemplo a seguir de esfuerzo y dedicación, a mi padre, que siempre me recuerda lo orgulloso que esta de mí y nunca me hace faltar un consejo.

A mi abuelo que, aunque ya no esté con nosotros sigue inspirándome cada día con su legado de enseñanzas

A mis hermanos, mis dos abuelas, tíos, y primos quienes siempre me brindan su apoyo cariño o simplemente esa sonrisa que te hace recordar la bendición de tener una familia tan especial.

Santiago Galarza

A mi esposo Benito Barbecho, por su cariño y compañía, y por creer en mí y ayudarme a alcanzar mis metas. Muchas Gracias.

Ana Campoverde.

Agradecimientos

En la realización de este proyecto hemos recibido apoyo de familia, amigos y también de aquellos que hemos conocido durante la realización del mismo, este ha sido mucho más del merecido, por lo que estamos infinitamente agradecidos. Es imposible nombrar a todos en este pequeño espacio, por lo que, aunque esta lista no esté completa les agradecemos a todos sus consejos, aportaciones y su aliento.

A Dios quién supo guiarnos por el buen camino, dándonos fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas, enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A nuestras familias: por su paciencia y su apoyo constante.

Yo Ana María deseo agradecer especialmente a mi marido Benito quien ha estado conmigo brindándome todo su apoyo incondicional a lo largo de estos años; siendo compañía e inspiración motivándome a alcanzar mis sueños. A mis padres María y Carlos; mis abuelos Eduardo, Matilde, Mariano e Inés; mis suegros Celina y Jorge; mis hermanos Eduardo, Juanita y Paúl; y toda mi familia, quienes fueron parte crucial para conseguir esta meta y me han hecho quien soy.

Yo Santiago agradezco principalmente a mis padres Rosy y Paúl, quienes me apoyaron en todo este proceso: mis tíos Pedro, Galo, Arturo Carlos, Mónica, Devy; mi hermano Juan Diego; mis abuelitas Ana Lucía y Myrna; y toda mi familia que me acompañaron e inspiraron siempre.

A nuestros maestros quienes nos dieron las herramientas que nos permitieron realizar este proyecto con éxito. En especial al Mst. Diego Urgiles quien creyó y nos apoyó en este proyecto desde el principio, con su motivación y entusiasmo.

A todos quienes formaron parte directa en la realización de esta tesis el Técnico Carlos Avalos y los Ingenieros Eduardo Vimos, Neptalí Campoverde e Ivan Cherrez, quienes compartieron sus conocimientos con nosotros sin restricciones. Y al personal de laboratorio de mecánica: Carlos, Mauricio, Esteban, Eugenio y David; quienes nos ayudaron a superar los obstáculos.

Abstract.

viii

The “Universidad Politécnica Salesiana” is participant in the Formula SAE, an international competition among universities around the world. In this third level competition, the design and safety are between the most important aspects in the rating; and both are part of the development of the chassis.

The welding methods MIG and TIG are both, used and recommended in the automotive industry, this project studied both options looking for the one that is more suitable for the requirements of the project and the Formula SAE rules.

Initially, the welds in the latest FSAE were studied looking for room for improvement, in this evaluation nondestructive techniques: like visual inspection and dyes were used, these allow us to see that a polish in the technique was needed.

With the help of expert opinions, four specimens were developed; two with MIG and two with TIG with resources available. These specimens were evaluated using destructive tests and after that; the results were weighted in their relevance for the project.

The specimen that was welded with MIG, using a mix of Argon and Carbon Dioxide and with a fillet was the one who gets the better result with good characteristics in mechanical properties and cost. A flow chart was made detailing the process to follow.

The selection of the parameters and a good technique can help in achieve the mechanic characteristics required in a welding, however, in a high-level completion the esthetics and a uniform distribution, are also important and these are highly dependable of the welder experience.

La Universidad Politécnica Salesiana participa en la Fórmula SAE, una competencia internacional entre universidades de todo el mundo. En esta competencia de tercer nivel, la seguridad y el diseño son importantes en la construcción del chasis, y están entre los aspectos más relevantes en la calificación.

Los métodos de soldadura MIG y TIG son usados y recomendados en la industria automotriz, este proyecto estudia ambas opciones, en busca de la más adecuada para las necesidades del proyecto, cumpliendo con la reglamentación establecida en la competencia FSAE.

Inicialmente, se estudiaron las soldaduras del FSAE anterior buscando proponer mejoras, esto se realizó mediante ensayos no destructivos como: inspección visual y tintes penetrantes, que nos permitieron determinar que se requería una mejora en la técnica.

Con la ayuda de la opinión de expertos, se desarrollaron cuatro probetas; dos con soldadura MIG y dos con TIG, con los recursos disponibles. Estas fueron evaluadas mediante ensayos destructivos y después ponderados de acuerdo a su relevancia para el proyecto.

La probeta soldada con MIG, utilizando una mezcla de argón y dióxido de carbono y con un bisel en filete, fue la que dio el mejor resultado, con buenas características en las propiedades mecánicas y el costo. Se realizó un diagrama de flujo que detalla el procedimiento a seguir.

La selección de los parámetros y la técnica adecuados, permite conseguir las características mecánicas requeridas en una soldadura, sin embargo, en una competencia de alto nivel la estética y una distribución uniforme, también son importantes y estos son altamente dependientes de la experiencia del soldador.

Tabla de Contenidos

x

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	i
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
CERTIFICACION.....	iii
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Abstract.....	viii
Resumen.....	ix
Capítulo 1 Análisis de los diferentes procesos de soldadura, materiales, diseño y defectología, para la construcción de una estructura tubular tipo formula SAE.....	1
1.1. Formula SAE.....	1
1.2. Métodos de unión.....	3
1.3. Soldadura.....	4
1.3.1. Uniones de tubos.....	4
1.3.2. Preparación de los extremos.....	5
1.4. Tipos de arco de suelda.....	7
1.4.1. Soldadura metálica con arco eléctrico y gas (V MIG, MAG, GMAW).....	8
1.4.2. Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas TIG.....	9
1.5. Métodos de verificación de la soldadura.....	10
1.5.1. Ensayos no destructivos.....	10
1.5.2. Ensayos destructivos.....	11

Capítulo 2.....	13
Evaluación del estado del proceso de soldadura en el chasis del FSAE actual.	13
2.1. Inspección de soldadura.	13
2.1.1. Inspección visual.....	14
2.1.2. Prueba mediante líquidos penetrantes.....	16
2.2. Defectos comunes.	18
2.2.1. Amontonamiento.....	18
2.3. Defectos puntuales.	20
2.3.1. Falta de fusión.....	20
2.3.2. Empalme.	22
2.3.3. Poros.	23
2.3.4. Mordeduras.	25
2.3.5. Fisuras.	26
2.3.6. Suelda susceptible a fallo.....	29
Capítulo 3.....	31
Establecimiento de una propuesta de mejora.....	31
3.1. Fundamentos.....	31
3.1.1. Selección del tubo.	31
3.1.2. Proceso de soldadura.....	33
3.2. Entrevistas a los expertos.....	34
3.2.1. Ing. Ivan Cherrez.	34
3.2.2. Ing. Eduardo Vimos.	35

3.2.3. Inspector de Suelda Certificado Carlos Avalos	35
3.2.4. Ing. Neptalí Campoverde.....	36
3.3. Desarrollo de las probetas.....	36
3.3.1. Dimensionamiento de las probetas.	37
3.3.2. Proceso de soldadura de las probetas.....	38
3.4. Ensayos destructivos.....	40
3.4.1. Ensayos a tracción.....	40
3.4.2. Ensayos compresión.....	46
3.4.3. Penetración de la soldadura	50
Capítulo 4.....	53
Realizar un análisis técnico de las propuestas.	53
4.1. Variables a considerarse.	53
4.1.1. Determinación de las variables relevantes.....	53
4.1.2. Rangos de calificación	54
4.1.3. Ponderación de las variables.	54
4.2. Evaluación de resultados de las probetas.....	55
4.2.1. Probeta 1.	55
4.2.2. Probeta 2.	56
4.2.3. Probeta 3.	57
4.2.4. Probeta 4.	58
4.3. Resumen de resultados.....	58
4.4 Descripción del proceso de soldadura.....	59

5. Conclusiones.....	62
6. Referencias.....	63
Libros.....	63
Documentos.....	64
Páginas Web.....	65
Apéndice.....	67
ANEXO 1. Informe de Ensayos a tracción.....	67
ANEXO 2. Informe de uso de laboratorios.....	78
ANEXO 3. Tablas para Soldadura.....	85
TIG.....	85
MIG.....	87

Tabla 1 Dimensiones mínimas del tubo de construcción.....	32
Tabla 2 Dimensiones de la tubería.....	32
Tabla 3 Características mecánicas de la tubería.	33
Tabla 4 Probetas soldadas.	38
Tabla 5 Rango de espesor del metal base.	39
Tabla 6 Resumen de resultados pruebas de tracción.	41
Tabla 7 Resultado de los ensayos de compresión.	48
Tabla 8 Rango de calificación.....	54
Tabla 9 Factores de ponderación de las variables.....	54
Tabla 10 Evaluación de la probeta 1.....	55
Tabla 11 Evaluación de la probeta 2.....	56
Tabla 12 Evaluación de la probeta 3.....	57
Tabla 13 Evaluación de la probeta 4.....	58
Tabla 14 Resumen de evaluación de probetas.	58

Figura 1 Detalles de soldadura en un nudo de perfiles tubulares circulares..... 5

Figura 2 Uniones con espaciamiento y solape..... 6

Figura 3 Triangulación apropiada..... 7

Figura 4 Configuración básica y circuito de un proceso de soldadura con arco eléctrico..... 7

Figura 5 Soldadura metálica con arco eléctrico y gas GMAW. 8

Figura 6 Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas..... 9

Figura 7 Máquina Universal de Ensayos 200kN 12

Figura 8 Tintes penetrantes..... 17

Figura 9 Colocación del tinte penetrante 18

Figura 10 Amontonamiento de la soldadura..... 19

Figura 11 Falta de fusión..... 20

Figura 12 Falta de fusión..... 21

Figura 13 Falta de fusión, visualizado con tintes penetrantes y luz ultravioleta..... 21

Figura 14 Empalme..... 23

Figura 15 Porosidades..... 24

Figura 16 Porosidades..... 24

Figura 17 Porosidades, visualizado con tintes penetrantes y luz ultravioleta..... 25

Figura 18 Mordeduras..... 26

Figura 19 Mordeduras..... 26

Figura 20 Fisuras, visualizadas con tintes penetrantes y luz ultravioleta..... 27

Figura 21 Interpretación del revelado..... 28

Figura 22 Varias ubicaciones de fusión incompleta.	29
Figura 23 Soldadura del escape.	29
Figura 24 Soldadura del escape, visualizadas con tintes penetrantes y luz ultravioleta.	30
Figura 25 Bisel en filete.	36
Figura 26 Probeta en T.	37
Figura 27 Probeta en cruz.	37
Figura 28 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de tracción.	40
Figura 29 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de tracción.	41
Figura 30 Ensayo de tracción probeta 1.	42
Figura 31 Gráfica de tracción probeta 1.	42
Figura 32 Ensayo de tracción probeta 2.	43
Figura 33 Gráfica de tracción probeta 2.	43
Figura 34 Ensayo de tracción probeta 3.	44
Figura 35 Gráfica de tracción probeta 3.	44
Figura 36 Ensayo de tracción probeta 3.	45
Figura 37 Ensayo de tracción probeta 3.	45
Figura 38 Gráfica de tracción probeta 4.	46
Figura 39 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de compresión.	47
Figura 40 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de compresión.	47
Figura 41 Ensayo de compresión probeta 1.	48
Figura 42 Ensayo de compresión probeta 2.	49
Figura 43 Ensayo de compresión probeta 3.	49

Figura 44 Ensayo de compresión probeta 4.....	50
Figura 45 Penetración de la soldadura probeta 1.....	51
Figura 46 Penetración de la soldadura probeta 2.....	51
Figura 47 Penetración de la soldadura probeta 3.....	52
Figura 48 Penetración de la soldadura probeta 4.....	52
Figura 49 Evaluación de probetas.....	59
Figura 50 Diagrama de flujo proceso de soldadura MIG.....	60
Figura 51 Diagrama de flujo proceso de soldadura TIG.....	61

Capítulo 1

Análisis de los diferentes procesos de soldadura, materiales, diseño y defectología, para la construcción de una estructura tubular tipo formula SAE.

1.1. Formula SAE

La Society of Automotive Engineering, en adelante SAE creó en 1981 una competencia tipo Indy, con el propósito de motivar la innovación tecnológica automotriz, en instituciones de tercer nivel de todo el mundo.

La competencia ha crecido, de unos pocos equipos participantes al inicio es hoy una competencia internacional, en la que participan universidades de todo el mundo, con el objetivo de crear una “firma” de construcción de vehículos monoplace. Por esto se requiere la participación de un equipo multidisciplinario que considere todos los aspectos desde el diseño hasta la comercialización, lo que permite a los estudiantes desarrollar habilidades en varios aspectos del mundo automotriz. ("FSAE History", 2016) /SAE,2016)

Dentro de la Formula SAE el diseño tiene un puntaje de 150, de estos, 25 corresponden al diseño del chasis, que evalúa entre otros lo siguiente:

- La calidad de la construcción.
- El diseño de los componentes en función de las cargas.
- La rigidez
- La implementación de las uniones, si estas han sido adecuadamente analizadas.
- La unión más débil

- Entre otros.

Además del puntaje los estándares de seguridad que caracterizan a la competencia, hacen que el estudio de las juntas soldadas juegue un papel fundamental antes de comenzar la construcción del chasis. En el reglamento en la sección T3.6.3f. se indica en que cualquier tratamiento posterior como recocido debe ser consistente en todas las muestras y el marco del vehículo. Cualquier alteración de la forma de la soldadura no está permitida, incluyendo granallado o lijado.

(SAE,2016)

En la ciudad de Madrid se desarrolló un proyecto realizado con la colaboración de la Universidad Pontifica de Comillas, en donde existe un estudio de soldadura, en los capítulos 8 y 9 en los que se detalla un proceso de soldadura, que según datos recolectados e información investigada ayudan a determinar la mejor elección de suelda para la construcción de un chasis tubular para en vehículo de competencia tipo formula SAE.

Según el estudio realizado en la Universidad Pontifica de Comillas en el capítulo 8 pagina 84, se observa que, para la unión de perfiles tubulares, la técnica más utilizada es la soldadura por arco. Se menciona además que los métodos más utilizados en uniones tubulares son: la soldadura eléctrica SMAW, soldadura por arco sumergido GMAW, MIG y TIG.

Regionalmente en la Escuela Politécnica del Chimborazo y en la Universidad Politécnica Salesiana se han desarrollado estudios para el diseño del chasis que incluyen la elección de la soldadura a utilizarse, sin profundizar mucho en su estudio, detallado los procesos

de solda elegidos, como; GMAW, MIG y TIG, basándose más en información recolectada que en pruebas de laboratorio.

En este proyecto se busca realizar la investigación pertinente para proponer una soldadura que se adapte a las necesidades que requiere la construcción de un chasis para Formula SAE, sustentando el estudio con pruebas de laboratorio que permitan analizar más a fondo los procesos de soldadura a elegir.

(SAE, 2016) (Singh, 2016). (Calvo, 2016).

1.2. Métodos de unión.

En la construcción del chasis fórmula SAE, se requiere definir un método de unión que permita al chasis comportarse como una sola pieza. Entre los diferentes tipos de uniones permanentes, el uso de la soldadura como método de unión brinda los requerimientos para cumplir el objetivo de diseño, dándonos algunas ventajas como:

- Economía del metal: ahorra una cantidad apreciable de material con respecto a otros procesos de unión, en algunos casos nos permite soldar con pequeñas cantidades del mismo material y no se agrega elementos adicionales como pernos o remaches, reduciendo además el peso total.
- No requiere de equipos ni procesos adicionales.
- Las uniones soldadas son herméticas.

La soldadura permite la fabricación una pieza grande y compleja a partir de una serie de piezas pequeñas y sencillas, que aun así actúen como una sola, esto es importante en el chasis ya que; la rigidez del mismo es indispensable para su maniobrabilidad y su capacidad para soportar esfuerzos, sin perder su forma.

En la construcción de un chasis multitubular se debe considerar que el diseño debe tener la menor cantidad de intersecciones posibles como sea práctico.

(Adams, 1993), (Rodríguez Pérez, 2013).

1.3. Soldadura

La soldadura según la American Welding Society en adelante AWS se define como la coalescencia (unión de dos metales en uno) localizada del metal, en donde esa conglutinación se produce por calentamiento a temperaturas adecuadas, con o sin la aplicación de presión y con o sin la utilización de metal de aporte.

(AWS, 2015)

1.3.1. Uniones de tubos

Las uniones de tubos circulares se pueden realizar mediante soldadura de ángulo si la relación entre los diámetros de las secciones a unir no excede 0.33 y si la separación a soldar no es mayor de 3mm, Para relaciones mayores la soldadura puede cambiar uniformemente a lo largo de la curva de la unión, como se muestra en el gráfico.

(ITEA, 2016)

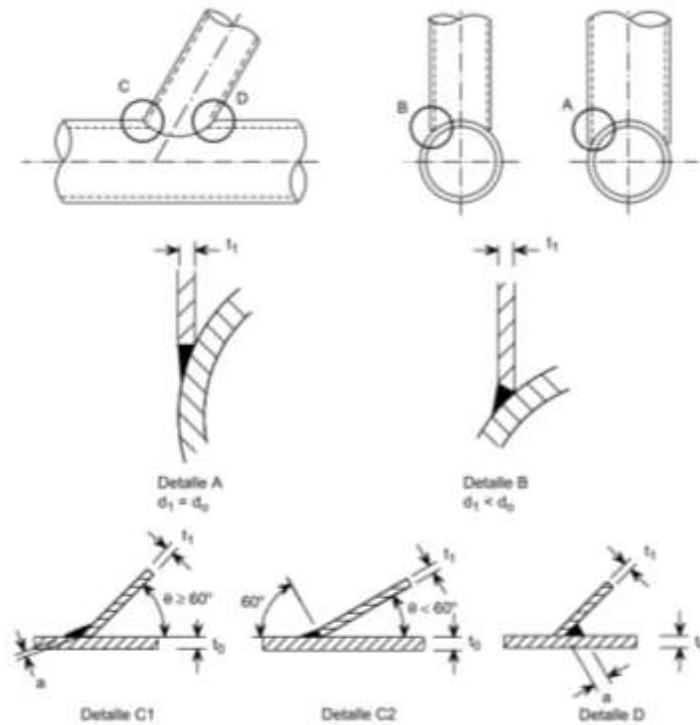


Figura 1 Detalles de soldadura en un nudo de perfiles tubulares circulares.

Fuente: (ITEA,2016)

1.3.2. Preparación de los extremos.

Esta debe ser lo más simple posible una unión con separación o una con solape 100% es preferible a una unión con elementos parcialmente solapados, como se muestra en la figura.

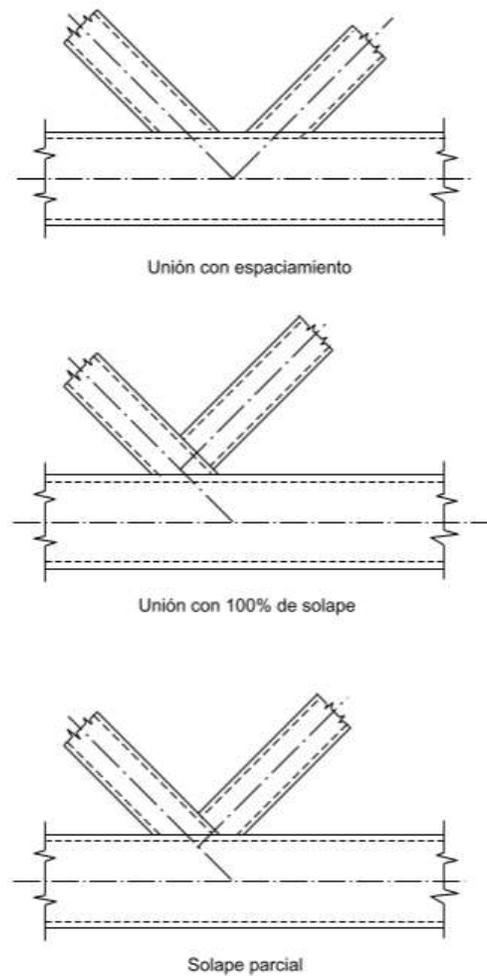


Figura 2 Uniones con espaciamento y solape.

Fuente (ITEA, 2016)

Esto se debe considerar, ya que la normativa de la formula SAE 2016 en su artículo 3 sección T3.3 l se menciona que durante la construcción se debe realizar una triangulación apropiada. Fig. 1.3. La forma básica para la construcción de estructuras rígidas es el triángulo, ya que esta distribuye de mejor forma la concentración de esfuerzos, excepto en el caso de que exista daño en uno de sus componentes.

(Adams, 1993)

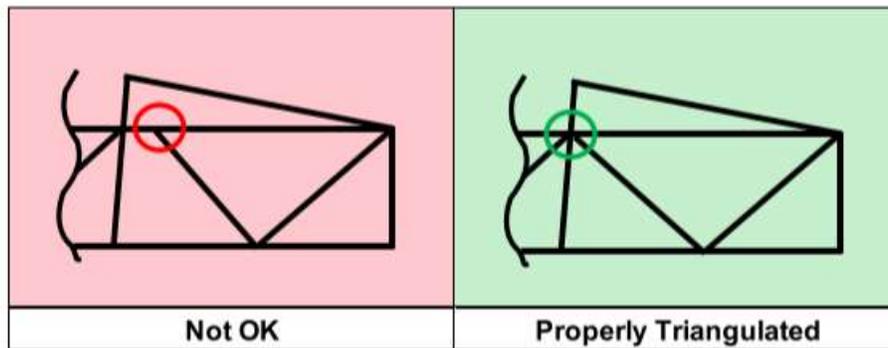


Figura 3 Triangulación apropiada

Fuente: (SAE, 2016)

1.4. Tipos de arco de suelda.

Los procesos que se estudiarán para este proyecto son los que se clasifican bajo el término arco de suelda que usa un arco eléctrico como fuente de energía para generar el calor que derrite el material.

(Singh, 2012)

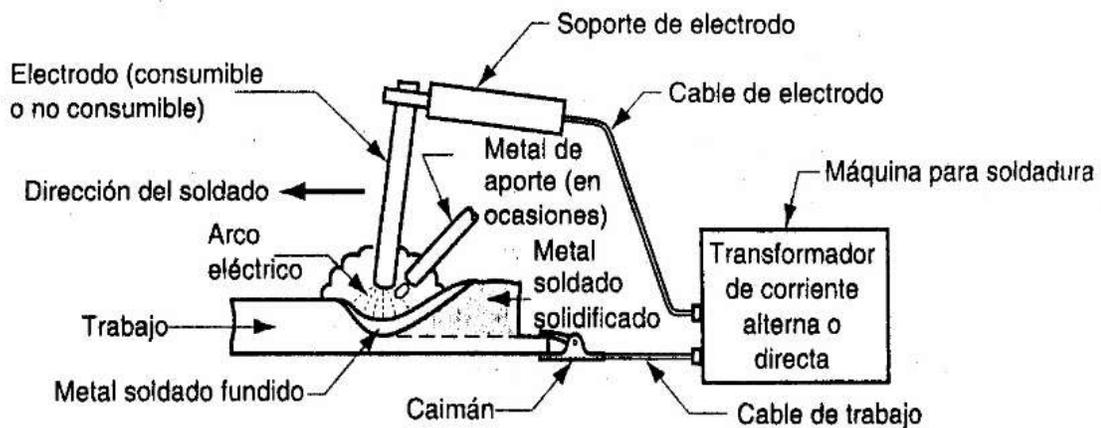


Figura 4 Configuración básica y circuito de un proceso de soldadura con arco eléctrico.

Fuente: (Tecnología mecánica II, 2016)

1.4.1. Soldadura metálica con arco eléctrico y gas (V MIG, MAG, GMAW)

Es un proceso en el cual el electrodo es un alambre metálico desnudo consumible y la protección se proporciona inundando el arco eléctrico con un gas.

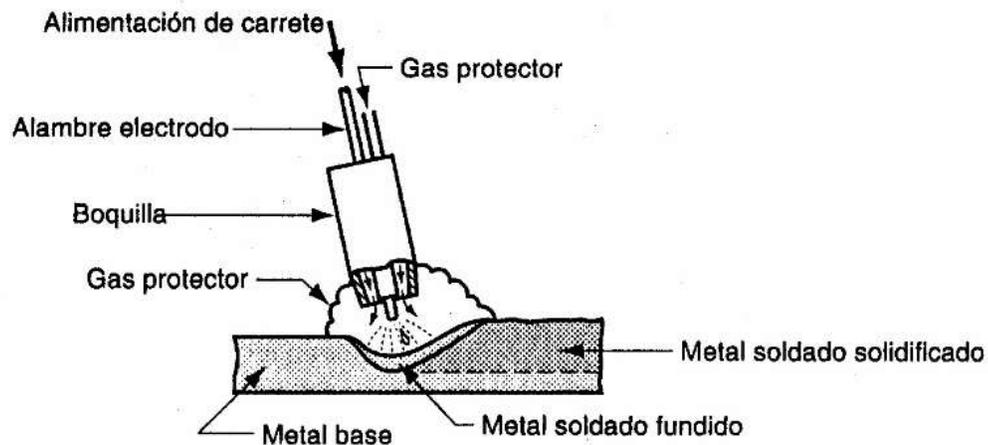


Figura 5 Soldadura metálica con arco eléctrico y gas GMAW.

Fuente: (Tecnología mecánica II, 2016)

Para la protección se usan gases inertes como argón y helio o gases activos como el bióxido de carbono, dependiendo de los materiales que se van a soldar, en la industria automotriz se usa principalmente gases inertes.

(Tecnología mecánica II, 2016), (Omar, 2011).

1.4.2. Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas TIG.

Es un proceso que usa un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para proteger el arco eléctrico. El proceso puede realizarse con o sin metal de relleno.

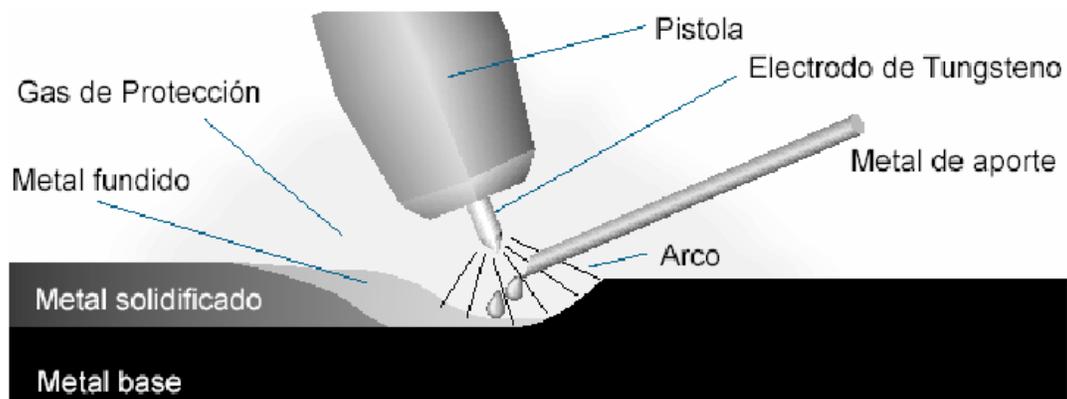


Figura 6 Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas.

Fuente: (Tecnología mecánica II, 2016)

Cuando se usa metal de aporte este se agrega desde una varilla separada como se observa en la figura, el sistema TIG se puede aplicar a casi todos los metales en un rango amplio de espesores.

Es importante tener presente que, en cualquier tipo de proceso de soldadura, la mejor unión que se puede obtener es aquella donde la suelda y el metal base comparten las mismas propiedades químicas, metalúrgicas y físicas, para lograr esas condiciones la soldadura fundida debe estar protegida de la atmosfera.

Para evaluar los diferentes métodos de soldadura se usarán una serie de criterios tales como:

- Tipo de metal y sus características metalúrgicas.
- Tipo de unión, localización y posición de la suelda
- Uso final de la unión
- Costo de la producción
- Tamaño estructural (mas)
- Rendimiento deseado.
- Experiencia y habilidades de la fuerza manual disponible.
- Accesibilidad a la unión
- Exactitud requerida para el armado
- Secuencia de trabajos.
- Habilidad del soldador.

De estos criterios se debe determinar cuáles son relevantes para el presente estudio y que características adicionales se deben considerar en la evaluación, por ejemplo, la disponibilidad, peso, etc.

(Khan, 2008)

1.5. Métodos de verificación de la soldadura

Existen varios métodos que permiten evaluar el estado de la soldadura, estos deben elegirse principalmente si la suelda fue hecha para prueba y será destruida o si va a ser utilizada posteriormente.

1.5.1. Ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos permiten determinar el estado de la soldadura, lo que ayudará a determinar si existe algún fallo en el proceso de soldadura, tales como:

- Facturas
- Porosidades
- Inclusiones de solidos
- Laminaciones
- Relaminaciones
- Socavados
- Falta de fusión
- Chisporroteo

Como su nombre lo indica, este tipo de ensayos mantienen la integridad de la unión, permitiéndonos evaluar la suelda sin que esta sufra ningún cambio en su estructura,

La inspección visual directa de las uniones soldadas se puede mejorar con ayuda de tintes penetrantes, fotos, microscopios, radiografías, e inspección magnética, dependiendo del medio en el que experto se desenvuelva.

Este proceso se realizará principalmente para verificar la integridad de las uniones soldadas. En el caso de esta investigación para la evaluación de la estructura tubular del Diseño anterior FSAE de la Universidad.

(Ordoño, Gabriel, 2002)

1.5.2. Ensayos destructivos

Los ensayos destructivos permitirán conocer la utilidad de un método de soldadura utilizado, contrario a los otros este tipo de ensayos destruye la suelda y la misma no va a

poder ser utilizada nuevamente, sin embargo, se puede determinar las características del proceso de soldadura utilizado.



Figura 7 Máquina Universal de Ensayos 200kN

Fuente: Los autores.

Estas pruebas ayudaran a determinar la dureza del material y su resistencia a fuerzas de tensión, compresión, torsión e impacto. Estas pruebas requieren de equipos especiales que permitan aplicar y medir la fuerza que se desea probar.

Capítulo 2

Evaluación del estado del proceso de soldadura en el chasis del FSAE actual.

En este capítulo se estudiará el estado de las sueldas en el Fórmula SAE actual para lo que se realizará inspecciones visuales y pruebas con tintas penetrantes, determinando de esta las fallas presentes en las uniones y considerando las mismas para la propuesta de mejora.

2.1. Inspección de soldadura.

En el chasis del formula SAE existen sueldas que forman parte de la estructura en sí misma y deben soportar los esfuerzos generados durante el funcionamiento del vehículo, en otros casos hay soportes soldados al chasis para ajustar las cubiertas de fibra que no son tan críticos.

Es necesario evaluar si una falla existente en cualquiera de las soldaduras se puede considerar catastróficas para cada caso en particular. Para la inspección de las uniones soldadas del chasis del FSAE actual se utilizarán métodos no destructivos con el fin de no dañar la estructura del vehículo, entre los criterios a usarse están:

- **Limitaciones del método de prueba.** - La selección permitirá determinar el método más adecuado para cada caso en particular.
- **Estándares aceptados.** – Es necesario establecer qué tipo de fallas son permisibles y cuales no para una soldadura en particular, en función del proceso de soldadura y el uso que se dará a la misma.

- **Economía.** - El costo de realizar una operación debe ser considerado en función de la relevancia de cada una de las pruebas. Existen métodos complejos y caros con los que se puede obtener resultados irrelevantes. La selección del mejor proceso de inspección para una soldadura en particular puede ser un proceso muy complejo y en algunos casos se requerirá de más de un método de prueba.

(Campbell, 2000) Pág. 259

2.1.1. Inspección visual.

La inspección visual es un proceso de ensayo no destructivo, más simple que puede realizarse ya sea mediante observación directa, con la ayuda de equipos de aumento (cámaras, lupas, espejos) o de tintas penetrantes.

Siempre se debe considerar que la soldadura perfecta no existe, siempre se presentarán defectos en las uniones soldadas. Estos defectos pueden ser permisibles o no de acuerdo al tipo, tamaño y distribución de los mismo y las exigencias a las que se enfrenta la soldadura. La inspección de la soldadura depende del entrenamiento del inspector, sin embargo, puede ser efectivo y económico si se dispone del conocimiento necesario.

en la inspección de la soldadura el experto verifica que cuente con los procedimientos aprobados, la geometría adecuada, los materiales utilizados en función del material a soldar, la ejecución de la soldadura.

Una revisión visual efectiva, puede ayudar a detectar fallas tempranamente, las que se pueden corroborar posteriormente mediante otros métodos. Una buena examinación de la suelda requiere conocimiento en:

(Ordoño, Gabriel, 2002) (Campbell, 2000)

- Códigos aplicables, estándares y especificaciones.
- Estándares de trabajo
- Los procesos de suelda a utilizarse
- Buenas prácticas de manufactura.

En una suelda realizada se debe inspeccionar:

- El acabado final de la suelda
- El tamaño de la suelda.
- El largo de la suelda.
- La precisión de las dimensiones de la suelda.
- Solicitar procesos de ensayos no destructivos adicionales, si se requiere.
- Monitorear tratamientos térmicos adicionales requeridos, si se requiere.
- Preparar los reportes de inspección.

El examen visual se puede realizar de manera directa o remoto mediante: espejos, telescopios, cámaras de video o fotográficas.

Las ventajas de la inspección visual son:

- Bajo costo.
- Poca necesidad de costosos equipos.
- Los defectos pueden determinarse y ser corregidos rápidamente.

(Campbell, 2000) (Ordoño, Gabriel, 2002)

2.1.2. Prueba mediante líquidos penetrantes.

Esta prueba sirve para encontrar únicamente defectos superficiales tales como grietas y otras discontinuidades, es uno de los métodos más ampliamente utilizados en materiales no porosos ferrosos y no ferrosos. Este método consiste en la aplicación de tres productos, primero se aplica un removedor, después unos minutos se aplica el penetrante y finalmente el revelador.

Se comenzó preparando la superficie a analizar removiendo excesos, salpicaduras y otros materiales que puedan impedir la penetración del tinte.

- Una vez limpia la superficie se aplica el limpiador para retirar cualquier residuo de aceite o grasa.



Figura 8 Tintes penetrantes.

Fuente: Los autores.

- Se aplica el penetrante, y se limpia el exceso con un trapo seco y limpio, posteriormente se da tiempo para que el tinte penetre adecuadamente.



Figura 9 Colocación del tinte penetrante

Fuente: Los autores.

- Se aplicó una cantidad ligera de revelador que permitió generar un contraste para visualizar las imperfecciones, con la ayuda de una luz ultravioleta.

2.2. Defectos comunes.

Estos defectos se presentan frecuentemente en las soldas usadas en la construcción. Estos defectos son inherentes lo que quiere decir que estos ocurren durante la solidificación, causadas por las variables del proceso primario.

(Diaz, 2009)

2.2.1. Amontonamiento.

Esta condición es un exceso de material, más del requerido para llenar el bisel. Este fallo puede estar localizado ya sea sobre la suelda o en la raíz. Esta es una condición no deseada, ya que puede causar excesiva rigidez e incrementar la posibilidad de mordeduras.

Este defecto puede ser causado por:

- Mala técnica de suelda
- Insuficiente corriente de suelda.

(Campbell, 2000)



Figura 10 Amontonamiento de la soldadura.

Fuente: Los autores.

2.3. Defectos puntuales.

Estos se presentan en algunas de las sueldas analizadas y se explicaran de manera puntual,

2.3.1. Falta de fusión.

La fusión incompleta es una falla de unión entre el metal de soldadura y las caras del metal de base o la superficie de otros cordones, produciéndose una pegadura, pero no una verdadera unión.

Se pudo identificar que en algunas de las sueldas existe una falta de fusión. En algunos casos estos defectos se pueden observar a simple vista.



Figura 11 Falta de fusión.

Fuente: Los autores.



Figura 12 Falta de fusión.

Fuente: Los autores.

En otros casos la falla puede visualizarse únicamente con la ayuda de tintes penetrantes y lámparas de luz negra especiales.



Figura 13 Falta de fusión, visualizado con tintes penetrantes y luz ultravioleta.

Fuente: Los autores.

La fusión incompleta es una falla de unión entre el metal de soldadura y las caras del metal de base o la superficie de los cordones. Esta discontinuidad es también conocida como falta de fusión. Es un defecto peligroso que compromete la integridad de la soldadura,

Generalmente se debe a:

- Amperaje bajo
- Velocidad avance relativamente alta, lo que no permite la fusión completa del metal base o de los cordones adyacentes a la soldadura.

(Díaz, 2009) (Khan, 2008) (Rodríguez, 2013)

2.3.2. Empalme.

No existe una continuidad del cordón de suelda este problema se genera cuando no existe uniformidad en la realización del cordón de suelda. Son discontinuidades como depresiones y variaciones, no comprometen la habilidad de la suelda de servir su propósito. Sin embargo, estas deben tener un estándar mínimo para prevenir la presencia de zonas con alta concentración de esfuerzos.



Figura 14 Empalme.

Fuente: Los autores.

2.3.3. Poros.

Son la retención de gases (H_2 , O_2 , N_2 , etc.) entre el metal solidificado. En si misma una ligera porosidad esparcida por el material no ocasiona el debilitamiento de la soldadura, cuando esta se alinea o agrupa en un área en particular se puede volver un problema. Las causas pueden ser:

La porosidad esparcida en una o varias sueldas, como se muestra en las fotos son generalmente causadas por una falla en la técnica de soldadura, materiales contaminados o ambos.

(Campbell, 2000) Pag.228 (Hughes, 2009) Pág. 98-10.



Figura 15 Porosidades.

Fuente: Los autores.



Figura 16 Porosidades.

Fuente: Los autores.



Figura 17 Porosidades, visualizado con tintes penetrantes y luz ultravioleta.

Fuente: Los autores.

2.3.4. Mordeduras.

Es el resultado de una discontinuidad que resulta de una falla del soldador para llenar el bisel, tiene la forma de una muesca en uno de los extremos. Esto puede ser causado por:

- Excesivo amperaje.
- Excesiva velocidad de suelda.
- Incorrecto ángulo del electrodo.
- Incorrecta técnica de suelda.
- Electrodo demasiado largo.

(Campbell, 2000) (Hughes, 2009)

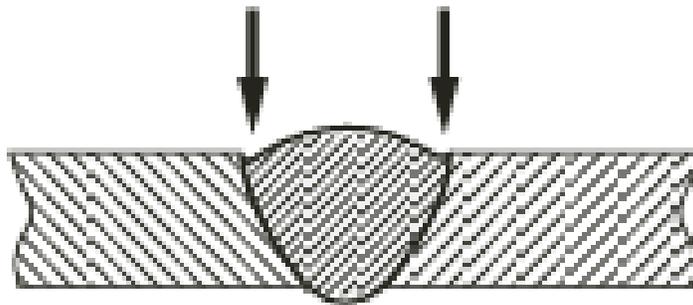


Figura 18 Mordeduras.

(Khan, 2008)



Figura 19 Mordeduras.

Fuente: Los autores.

2.3.5. Fisuras.

Este es un defecto grave que puede afectar la integridad de la suelda. Puede ocurrir en la suelda, el metal base o ambas; son la forma más severa de discontinuidad de la soldadura y son propensas a propagarse.

Se pueden dividir en grietas en caliente o en frío. Las grietas en caliente ocurren cuando se da una solidificación no uniforme y esta se propaga entre los granos. Las grietas en frío se dan generalmente por el servicio y ocurren después de que se ha completado la solidificación.

Las grietas en frío ocurren generalmente cuando el material no ha liberado tensiones y el material está templado, las grietas perpendiculares al eje de la solda son de este tipo.

(Campbell, 2000).

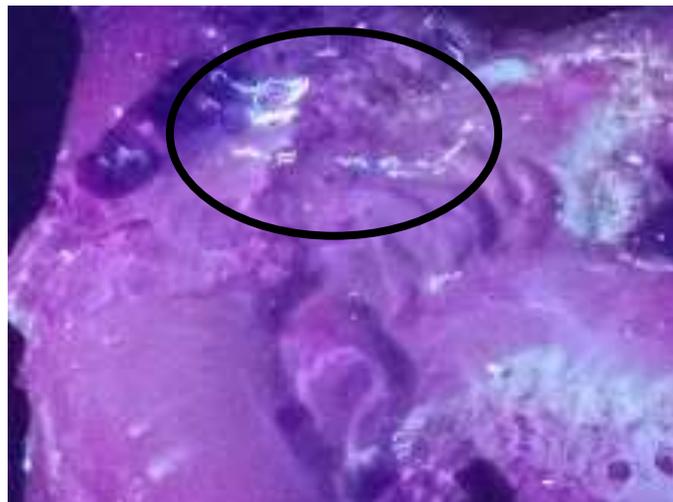


Figura 20 Fisuras, visualizadas con tintes penetrantes y luz ultravioleta.

Fuente: Los autores.

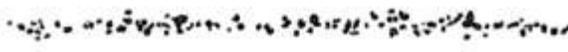
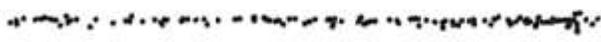
SI VES:	INDICACION	SE TIENE:
UNA CONCENTRACION DE PUNTOS ROJOS		PICADURAS Y POROSIDADES
UNA LINEA CONTINUA QUE APARECE RAPIDAMENTE		FISURA O APERTURA GRANDE
UNA LINEA PUNTEADA QUE DEMORA EN APARECER		FISURA O CIERRE EN FRIO
UNA LINEA IRREGULAR FORMADA POR UNA SERIE DE PUNTOS.		FISURA POR FATIGA, SUELDA PARCIAL O TRASLAPE

Figura 21 Interpretación del revelado.

(Campbell, 2000)

La línea se pudo visualizar inmediatamente lo que es consistente según la Figura 2.15. lo que es consistente con una fisura.

2.3.6. Suelda susceptible a fallo.

La suelda que sostiene al escape muestra porosidades y trizaduras, y mal estado en general oxidación. Parámetros inadecuados de suelda velocidad o amperaje incorrectos por que el cordón es muy grueso y falla en fusionarse en algunas partes.

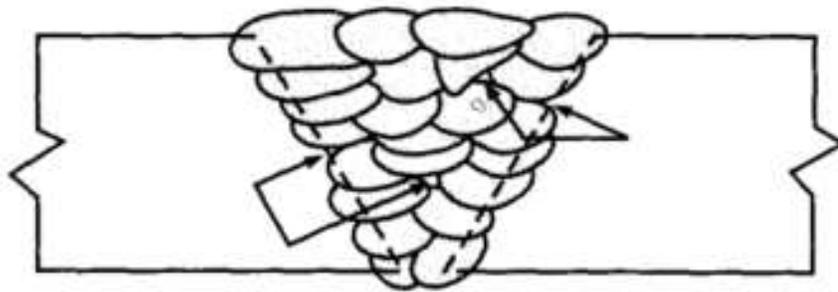


Figura 22 Varias ubicaciones de fusión incompleta.

(Campbell, 2000) Pág. 234.



Figura 23 Soldadura del escape.

Fuente: Los autores.



Figura 24 Soldadura del escape, visualizadas con tintes penetrantes y luz ultravioleta.

Fuente: Los autores.

En esta suelda se puede visualizar varios defectos que pueden ser causados por una incorrecta técnica de la soldadura.

Capítulo 3.

Establecimiento de una propuesta de mejora.

En el procedimiento de soldadura intervienen una serie de criterios que son elegidos por el soldador según el material, en este capítulo se evaluará mediante ensayos destructivos, a varias probetas soldadas por expertos eligiendo diferentes procesos.

3.1. Fundamentos.

En esta sección se estudiará las consideraciones preliminares para la realización de las pruebas.

3.1.1. Selección del tubo.

Para las pruebas se utilizará una tubería negra de acero con calidad ASTM A1011 antiguamente ASTM569 de 25,4 mm de diámetro nominal y con un espesor de 2,5mm con costura, este tubo cumple con las especificaciones tanto en sus dimensiones como en su contenido de carbono, superando el 0.1% exigido por la formula SAE, Excepto en el caso de los arcos principal y frontal (Main Hoop y el Roll Hoop), los tubos no deben tener costura.

Las características, dimensionales requeridas en la selección del tubo se resumen en la tabla 3.1.

OBJETO O APLICACIÓN	DIMENSIÓN EXTERNA x ESPESOR DE PARED
Arcos principal y frontal (Main Hoop y Roll Hoop)	Redondo 1 pulgada (25,4mm) x 0,095 pulgada (2,4mm) o Redondo 25mm x 2,5mm
Estructura Lateral de Impacto, Mampara Frontal y Uniones del Arnés del Conductor.	Redondo 1 pulgada (25,4mm) x 0,065 (1,65mm) o Redondo 25mm x 1,75mm o Redondo 25,4mm x 1.6mm o Cuadrado 1 pulgada x 1 pulgada x 0,047 pulgada o Cuadrado 25mm x 25mm x 1,2mm
Soporte de arnés frontal, Soporte de arco principal	Redondo 1 pulgada (25,4mm) x 0,047 (1,2mm) o Redondo 25mm x 1,5mm o Redondo 256m x 1,2mm

Tabla 1 Dimensiones mínimas del tubo de construcción.

(SAE, 2016).

La dimensión de la tubería a utilizarse durante las pruebas es:

DIMENSIONES				
Nominal	Exterior	Espesor (e).	Peso (p)	Área (A)
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm
1	33.70	2.50	1.96	2.45

Table 2 Dimensiones de la tubería

Fuente: (Dipac, 2016)

Y sus características mecánicas comparadas al reglamento de la fórmula SAE, son:

	Norma SAE.	Tubería. ISO65 ASTM1011
Porcentaje de Carbono, Mínimo. (%)	0,1	0,15-0,25
Módulo de Young. (GPa)	200	210
Límite de Elasticidad. (Mpa)	305	340
Esfuerzo Último a la Tracción. (Mpa)	365	420

Tabla 3 Características mecánicas de la tubería.

Fuente: (SAE, 2016) (ASTM 1011, 2016)

3.1.2. Proceso de soldadura.

Los procesos más usados en la soldadura automotriz son los de fusión, en el que usa temperaturas superiores al punto de fusión del metal, estos procesos permiten gran flexibilidad en el diseño automotriz ya que permite unir y localizar refuerzos y partes en los lugares que se requiera. Se prefiere los procesos con gas inerte entre los que se incluyen las soldaduras MIG y TIG.

Los parámetros de la soldadura se clasifican en:

- Variables preseleccionadas.
- Variables primarias.
- Variables secundarias.

Las variables preseleccionadas se deben elegir con anticipación e incluye los materiales a utilizar y el tipo de soldadura seleccionada, las primarias tienen que ver con la calibración de la máquina y las secundarias varían durante el procedimiento y dependen del soldador. Algunas diferencias entre los sistemas, se deben a que la soldadura MIG tiende a compensar los parámetros de suelda como distancia o ángulo el material de aportación es alimentado automáticamente. En la soldadura TIG las tolerancias tienen que ser más rigurosas entre el electrodo, la varilla de relleno y la pieza de trabajo

(Omar, 2011)

3.2. Entrevistas a los expertos

La experiencia del soldador es invaluable en la elección de un método de soldadura, por lo que las pruebas se realizarán mediante probetas que serán soldadas por expertos detallando el procedimiento y siendo estas sometidas posteriormente a ensayos destructivos.

3.2.1. Ing. Ivan Cherrez.

Se recomienda el uso de la soldadura MIG ya que este procedimiento es sencillo y económico por su rapidez, al ser un proceso semiautomatizado no requiere de un soldador con mucha experiencia, es el más sencillo entre de los dos procesos, indicó que: si la máquina es buena, no se necesita de un soldador muy experimentado para garantizar un buen trabajo.

Se debe seguir las especificaciones de la tabla incorporadas en la suelda, y los resultados mejoran cuando se usa una mezcla de gases Argón y Dióxido de Carbono. La soldadura

TIG se debería usar en el caso de que requiera una tubería que esté constantemente bajo presión.

3.2.2. Ing. Eduardo Vimos.

Se recomienda usar una mezcla de procedimientos: la soldadura MIG en la mayoría de las uniones aproximadamente en el 80% permitiendo mejorar la eficiencia del tiempo y reduciendo costos. Un 20% de las uniones especialmente aquellas que se encuentran en puntos sometidos a esfuerzos críticos se recomendarían el uso de la soldadura TIG.

La soldadura TIG brinda ventajas como una mayor resistencia y penetración sin embargo las elevadas temperaturas a las que trabaja podrían ocasionar variaciones en las propiedades del material especialmente en puntos de unión múltiples.

3.2.3. Inspector de Suelda Certificado Carlos Avalos

Se recomienda probar ambas sueldas si ambas brindan las características deseadas usar MIG al ser esta más sencilla y se puede realizada con mayor velocidad. El uso de Mix20 como gas permite aumentar la velocidad del depósito de soldadura y reducir el chisporroteo producido al usar únicamente CO₂.

En tuberías con espesores mayores a 2mm se recomienda usar un bisel en filete que facilitará una mejor penetración y distribución de la suelda, el filete se muestra en la figura.



Figura 25 Bisel en filete.

Fuente; Los Autores.

3.2.4. Ing. Neptalí Campoverde.

Recomienda la soldadura TIG por el acabado del cordón y la penetración en el material, (se indica además que este proceso no causará daño a las propiedades del material en acero cuyo contenido de carbono sea menor a 0,2%).

Debido a que en nuestro medio no se dispone con un alambre menor a 0.8mm la garganta usando MIG sería demasiado gruesa, por esta razón considera que la soldadura TIG daría un mejor resultado, sin embargo, se recomienda realizar ensayos con probetas de los dos tipos de sueldas para determinar cual brinda las mejores características.

3.3. Desarrollo de las probetas.

Los eslabones como se puede apreciar están sometidos a esfuerzos variados principalmente: compresión y tracción. Las pruebas estarán encaminadas a determinar cómo afectan estos esfuerzos a las uniones soldadas comparando los procedimientos recomendados por los expertos.

3.3.1. Dimensionamiento de las probetas.

Las probetas serán soldadas en T para las pruebas de compresión y análisis de penetración de la soldadura.



Figura 26 Probeta en T.

Fuente: Los autores

Para las pruebas de tracción debido a la disposición de las mordazas de sujeción se usará una probeta en cruz como se muestra a continuación.



Figura 27 Probeta en cruz.

Fuente: Los autores.

3.3.2. Proceso de soldadura de las probetas.

Los procesos de soldadura de cada una de las probetas se resumen en la siguiente tabla.

Soldador Proceso	Ing. Eduardo Vimos		Carlos Avalos	
	MIG	TIG	MIG	TIG
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
VARIABLES PRE-SELECCIONADAS				
Gas	CO2 15 l/min	Argón 10 l/min	Mix 20 ¹ 15 l/min	Argón 10l/min
Electrodo	Consumible ER 70S-6 ² 9mm	No consumible Punta roja ³	Consumible ER 70S-6 ² 9mm	No consumible Punta roja ³
Material de aporte		ER 70S-6 ² 9mm		T-308L ⁴ 8mm
Bisel	Sin preparación bisel ⁴		Bisel en filetes ⁴	
VARIABLES PRIMARIAS				
Maquina.	Voltaje 18V DC Avance 200m/min	Amperaje 80mA DC	Voltaje 19,5V DC Avance 200m/min	Amperaje 115mA

Tabla 4 Probetas soldadas.

Fuente: Los Autores.

¹Mix20.- Argón. complementado con 2-28% CO₂,

²ER 70S-6.- Electrodo continuo de acero revestido con una delgada capa de cobre, viene en carretes para MIG o en material de aporte para TIG. Composición 0,15% Níquel, 0,35% Cobre, 0,12% Carbono, 1,15% Silicio, 1,8% Manganeso, 0,15% Cromo, 0,15% Molibdeno. (Anón, 2016)

³Punta roja.- WT20, contenido de Torio entre 1,8-2,2%. (Roja, 2016)

T-308L.- Electrodo con un revestimiento rutílico para suelda con corriente directa CA o CC. Revestimiento rutílico, color blanco, toda posición. Composición: 0,02% Carbón, 0,63% Manganeso, 0,76% Silicio, 0,025% Fósforo, 0,008% Azufre, 18,7% Cromo, 10% Níquel, 0,18% Molibdeno. (Anón, 2016).

⁴Preparación de bisel.- Recomendación

Ing. Vimos: Debido al espesor de la tubería no es necesario preparar el bisel.

Tec. Avalos: Se recomienda formar un filete, en tuberías con un espesor mayor a 2mm. Los dos criterios son válidos según el Manual de soldadura moderna como se muestra en la tabla a continuación.

Factor \ Espesor	pulg.	.005	.015	.062	.125	3/16	1/4	3/8	1/2	3/4	1	2	4	8
	mm.	.13	.4	1.6	3.2	4.8	6.4	10	12.7	19	25	51	102	203
Una sola pasada sin prep.			←→											
Una sola pasada con prep.				←→										
Pases múltiples				←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→
Filetes -- una sola pasada			←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→

Tabla 5 Rango de espesor del metal base.

Fuente: (Cary, 1992)

3.4. Ensayos destructivos.

Además de observar la penetración de la soldadura en el material se realizarán ensayos destructivos sometiendo las probetas a compresión y tracción para analizar los datos obtenidos de los diferentes procesos.

3.4.1. Ensayos a tracción.

. El ensayo se realizará en la Máquina Ensayos Universales de 800kN, la misma que permite obtener una curva de los diferentes puntos de fluencia y rotura. La colocación de las probetas se muestra a continuación.



Figura 28 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de tracción.

Fuente: Los autores.



Figura 29 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de tracción.

Fuente: Los autores.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.5.

	Probeta 1.	Probeta 2.	Probeta 3.	Probeta 4.
Fuerza media (Fm) kN	75,98	68,78	90,96	80,20
Resistencia máxima (Rm) N/mm ²	85,70	77,50	102,50	90,40
Esfuerzo último a la tracción (Fu) kN	29,62	6,94	9,15	8,07
Alargamiento de la rotura (A t) %	8,62	9,49	18,21	12,07
Alargamiento de la rotura (A t) mm	30,16	33,20	63,72	42,24

Tabla 6 Resumen de resultados pruebas de tracción.

Fuente: Los autores

3.4.1.1. Probeta 1.

En el ensayo de tracción se observa la rotura del tubo en la zona de la soldadura y un desprendimiento de parte de la soldadura.



Figure 30 Ensayo de tracción probeta 1

Fuente: Los Autores.

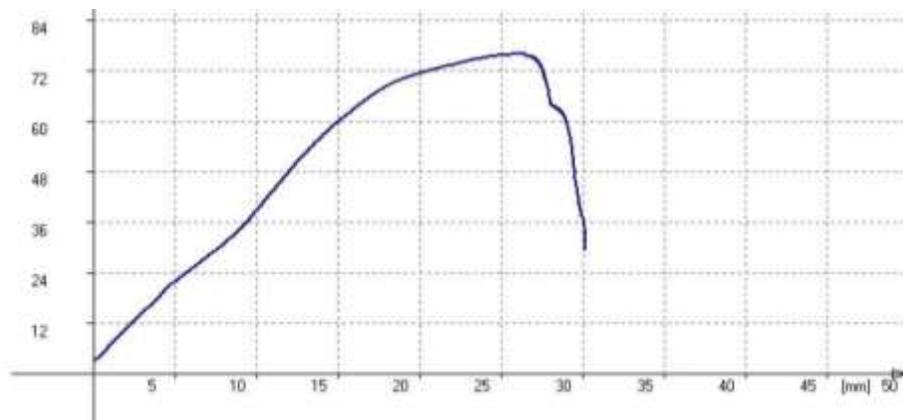


Figure 31 Gráfica de tracción probeta 1.

Fuente: Los Autores.

3.4.1.2. Probeta 2.

Se aprecia que el daño en el tubo central especialmente en el punto donde se unen ambas soldaduras.



Figure 32 Ensayo de tracción probeta 2.

Fuente: Los Autores.

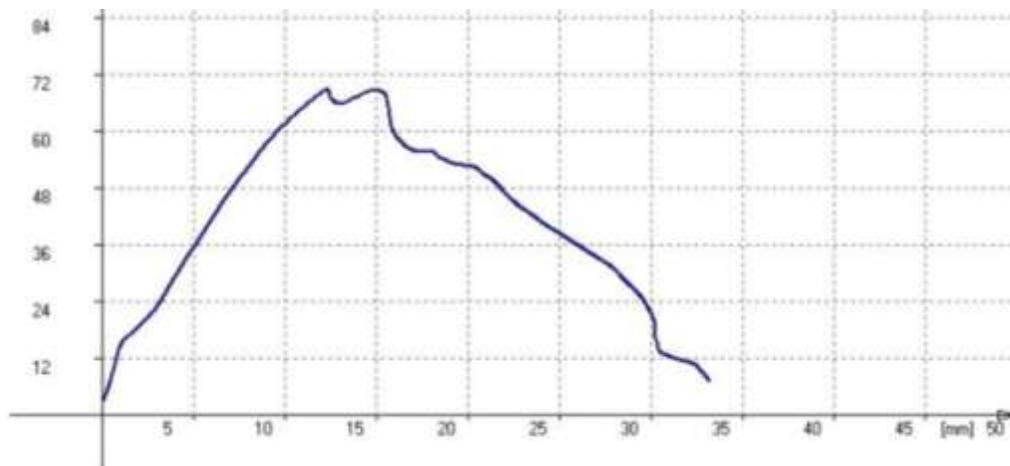


Figure 33 Gráfica de tracción probeta 2.

Fuente: Los Autores.

3.4.1.3. Probeta 3.

Es la soldadura que presento la mayor resistencia, la rotura ocurre en el tubo y aunque se aprecia daño a la soldadura la rotura no se genera en esta.



Figure 34 Ensayo de tracción probeta 3.

Fuente: Los Autores.

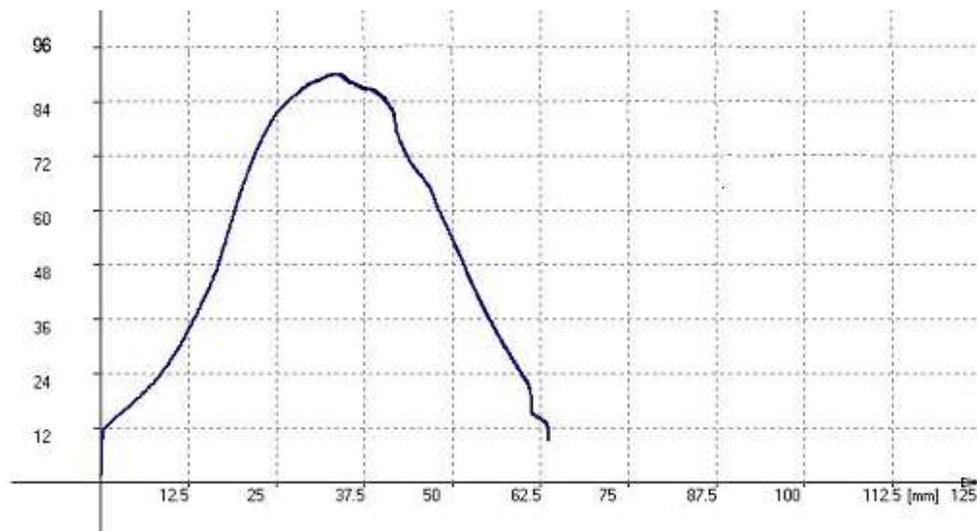


Figure 35 Gráfica de tracción probeta 3.

Fuente: Los Autores.

3.4.1.4. Probeta 4.

El tubo sufre daño cerca de la soldadura en la parte inferior, en una de las caras y en el centro del tubo en la otra.



Figure 36 Ensayo de tracción probeta 3.

Fuente: Los autores.



Figure 37 Ensayo de tracción probeta 3.

Fuente: Los Autores.

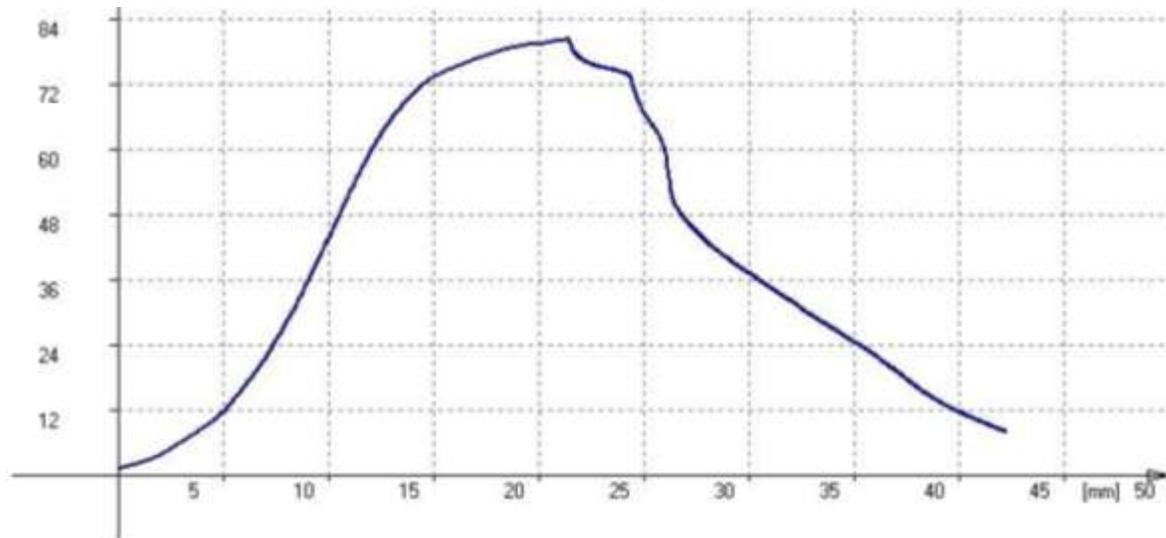


Figure 38 Gráfica de tracción probeta 4.

Fuente: Los Autores.

3.4.2. Ensayos compresión.

Para los ensayos de compresión se usará una probeta soldada en T, la misma que se colocará en la máquina según se indica en las figuras 12 y 13, esta posición permitirá que la presión sea ejercida tanto en el tubo como en la soldadura. La máquina entrega el valor tope de presión ejercida.



Figure 39 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de compresión.

Fuente: Los autores.



Figure 40 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo de compresión.

Fuente. Los Autores

El resumen de los valores obtenidos durante las pruebas se muestra a continuación.

	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
Carga máxima kN	121	124	139	151
Fuerza media (Fm) kN	169	172	139	151
Resistencia máxima (Rm) N/mm ²	336,9	339,3	163,7	169,8

Table 7 Resultado de los ensayos de compresión.

Fuente: Los autores.

3.4.2.1. Probeta 1

La soldadura presenta principios de daños.



Figure 41 Ensayo de compresión probeta 1.

Fuente: Los autores.

3.4.2.2. Probeta 2.

Se presenta un ligero desprendimiento sin llegar a fallar.



Figure 42 Ensayo de compresión probeta 2.

Fuente: Los autores.

3.4.2.3. Probeta 3.

La soldadura no sufrió daños e incluso demostró elasticidad al esfuerzo de compresión.



Figure 43 Ensayo de compresión probeta 3.

Fuente: Los autores.

3.4.2.4. Probeta 4.

Se observa apenas un ligero daño en la soldadura, sin embargo, este no es catastrófico.



Figure 44 Ensayo de compresión probeta 4.

Fuente: Los autores.

3.4.3. Penetración de la soldadura

Para la comprobación de la penetración de soldadura se realizará un corte en la unión soldada.

3.4.3.1. Probeta 1.

Se observa que la soldadura no ha penetrado completamente, medida la misma es de aproximadamente 1,5mm de los 2,5mm de la tubería.



Figure 45 Penetración de la soldadura probeta 1.

Fuente: Los autores.

3.4.3.2. Probeta 2.

En este caso se observa que la soldadura ha penetrado en un punto.



Figure 46 Penetración de la soldadura probeta 2.

Fuente: Los autores.

3.4.3.3. Probeta 3.

Con el uso de Mix 20 como gas se observa una mejor penetración en la soldadura MIG que la realizada únicamente con CO₂. Además, en este caso se preparó un bisel previo a la soldadura.



Figure 47 Penetración de la soldadura probeta 3.

Fuente: Los autores.

3.4.3.4. Probeta 4.

La soldadura muestra una buena penetración en varios puntos.



Figure 48 Penetración de la soldadura probeta 4.

Fuente: Los autores.

Capítulo 4.

Realizar un análisis técnico de las propuestas.

En este capítulo se evaluarán las diferentes opciones mediante un análisis técnico de las propuestas.

4.1. Variables a considerarse.

Se consideran las diferentes variables existentes, para determinar aquellas que tengan relevancia en la construcción del chasis del FSAE.

4.1.1. Determinación de las variables relevantes.

- Resistencia máxima a la tracción. -El valor se obtiene mediante los ensayos de tracción.
- Costo. - Los costos del equipo de soldadura no se consideran como variables relevantes en este caso debido a que la universidad ya dispone de los equipos de MIG y TIG, sin embargo, se considerarán los materiales a utilizar y el costo de mano de obra.
- Experticia. -La preparación del soldador se aprecia en aspectos como la penetración de la soldadura y el acabado.
- Alargamiento antes de la rotura. - Medido por la máquina de ensayos de tracción.
- Asequibilidad. - La facilidad con la que se puede obtener los resultados deseados con los recursos de los que se dispone.
- Carga máxima en compresión. -Medida en la máquina de ensayo de compresión.

4.1.2. Rangos de calificación

Para la evaluación de las variables se cuantificarán las mismas de acuerdo a la siguiente tabla:

<i>Cualitativa</i>	<i>Cuantitativa</i>
<i>Muy Bueno.</i>	9-10
<i>Bueno.</i>	6-8
<i>Regular.</i>	4-5
<i>Malo.</i>	1-3

Table 8 Rango de calificación.

Fuente: Los autores.

Existe además variables cuantitativas las mismas que se considerarán asignando el máximo puntaje a las más alta y a las demás un valor proporcional.

4.1.3. Ponderación de las variables.

<i>Variable.</i>	<i>Ponderación.</i>
<i>Resistencia máxima a la tracción.</i>	0,35
<i>Costo.</i>	0,20
<i>Experticia.</i>	0,20
<i>Alargamiento antes de la rotura.</i>	0,15
<i>Asequibilidad</i>	0,05
<i>Carga máxima en compresión.</i>	0,05
	1,00

Table 9 Factores de ponderación de las variables.

Fuente: Los autores.

4.2. Evaluación de resultados de las probetas.

4.2.1. Probeta 1.

<i>Variable</i>	Factor Ponderación.	Calificación.	Ponderación total.
<i>Resistencia máxima a la tracción.</i>	0,35	8,36	2,93
<i>Costo.</i>	0,20	10,00	2,00
<i>Experticia.</i>	0,20	8,00	1,60
<i>Alargamiento antes de la rotura.</i>	0,15	4,73	0,71
<i>Asequibilidad</i>	0,05	10,00	0,50
<i>Carga máxima en compresión.</i>	0,05	8,01	0,40
	1,00		8,14

Table 10 Evaluación de la probeta 1.

Fuente: Los autores.

4.2.2. Probeta 2.

<i>Variable</i>	Factor Ponderación.	Calificación.	Ponderación total.
<i>Resistencia máxima a la tracción.</i>	0,35	7,56	2,65
<i>Costo.</i>	0,20	6,00	1,20
<i>Experticia.</i>	0,20	8,00	1,60
<i>Alargamiento antes de la rotura.</i>	0,15	5,17	0,77
<i>Asequibilidad</i>	0,05	8,00	0,40
<i>Carga máxima en compresión.</i>	0,05	8,21	0,41
	1,00		7,04

Table 11 Evaluación de la probeta 2.

Fuente: Los autores.

4.2.3. Probeta 3.

<i>Variable</i>	Factor Ponderación.	Calificación.	Ponderación total.
<i>Resistencia máxima a la tracción.</i>	0,35	10,00	3,50
<i>Costo.</i>	0,20	8,00	1,60
<i>Experticia.</i>	0,20	10,00	2,00
<i>Alargamiento antes de la rotura.</i>	0,15	10,00	1,50
<i>Asequibilidad</i>	0,05	9,00	0,45
<i>Carga máxima en compresión.</i>	0,05	9,21	0,46
	1,00		9,51

Table 12 Evaluación de la probeta 3.

Fuente: Los autores.

4.2.4. Probeta 4.

<i>Variable</i>	Factor	Calificación.	Ponderación
	Ponderación.		total.
<i>Resistencia máxima a la tracción.</i>	0,35	8,82	3,09
<i>Costo.</i>	0,20	6,00	1,20
<i>Experticia.</i>	0,20	10,00	2,00
<i>Alargamiento antes de la rotura.</i>	0,15	6,63	0,99
<i>Asequibilidad</i>	0,05	8,00	0,40
<i>Carga máxima en compresión.</i>	0,05	10,00	0,50
	1,00		8,18

Table 13 Evaluación de la probeta 4.

Fuente: Los autores.

4.3. Resumen de resultados.

Resultados.

<i>Probeta 1.</i>	8,14
<i>Probeta 2.</i>	7,04
<i>Probeta 3.</i>	9,51
<i>Probeta 4.</i>	8,18

Table 14 Resumen de evaluación de probetas.

Fuente: Los autores.

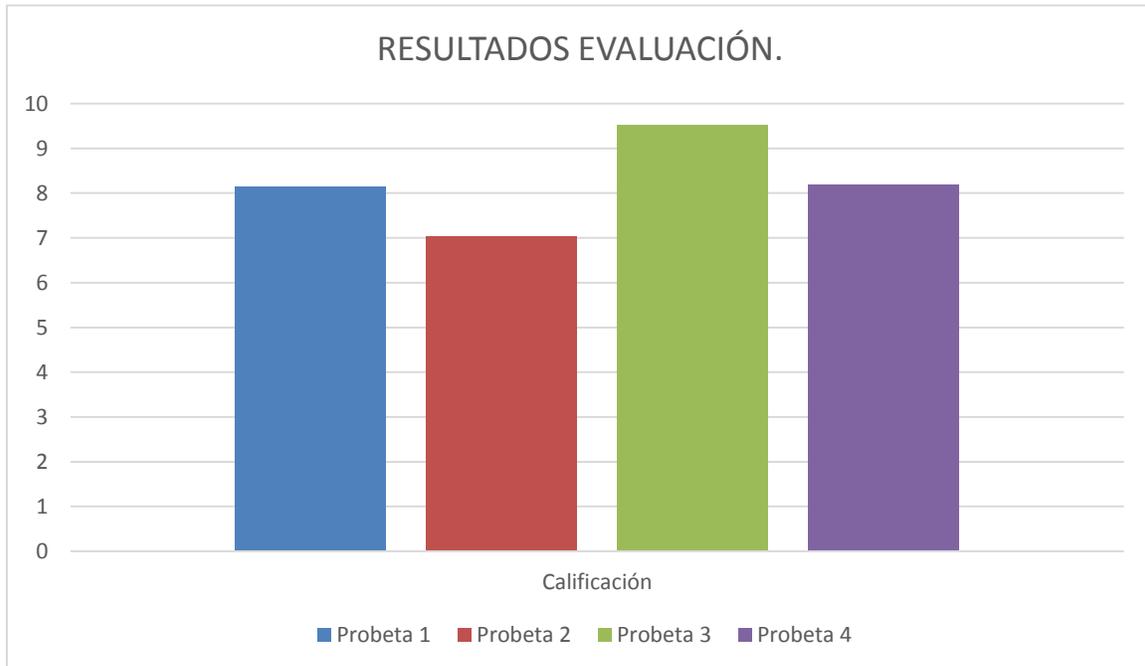


Figure 49 Evaluación de probetas.

Fuente: Los autores.

La probeta 3 es la que nos brinda las mayores ventajas, al tener las mejores propiedades mecánicas en el ensayo de tracción y buenas propiedades en el ensayo de compresión, con un bajo costo.

Las probetas 1 y 4 presentan una puntuación similar para la aplicación requerida bajo la ponderación propuesta, sin embargo, sus características son diferentes. En el caso de que se le dé un mayor peso al costo la mejor será la probeta 1, si se la da un mayor peso a la experticia será la 4.

4.4 Descripción del proceso de soldadura.

El proceso de soldadura MIG, se describe en el siguiente diagrama de flujo:

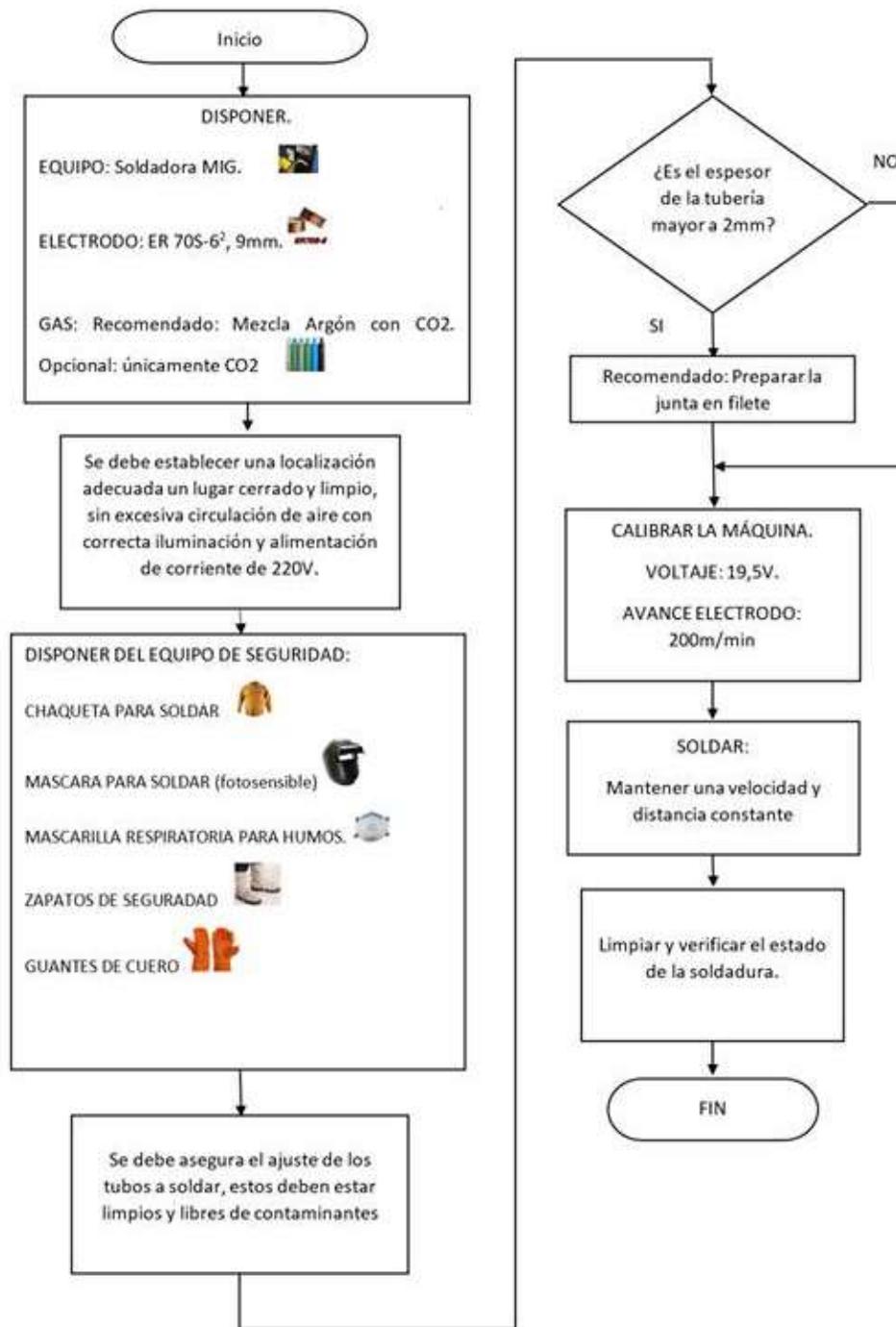


Figure 50 Diagrama de flujo proceso de soldadura MIG.

Fuente: Los autores, (Todo en Equipo de Protección Personal y Seguridad Industrial - Protección para soldar, 2016), (Reinsol, 2016).

El proceso opcional para TIG, se resume en el siguiente diagrama.

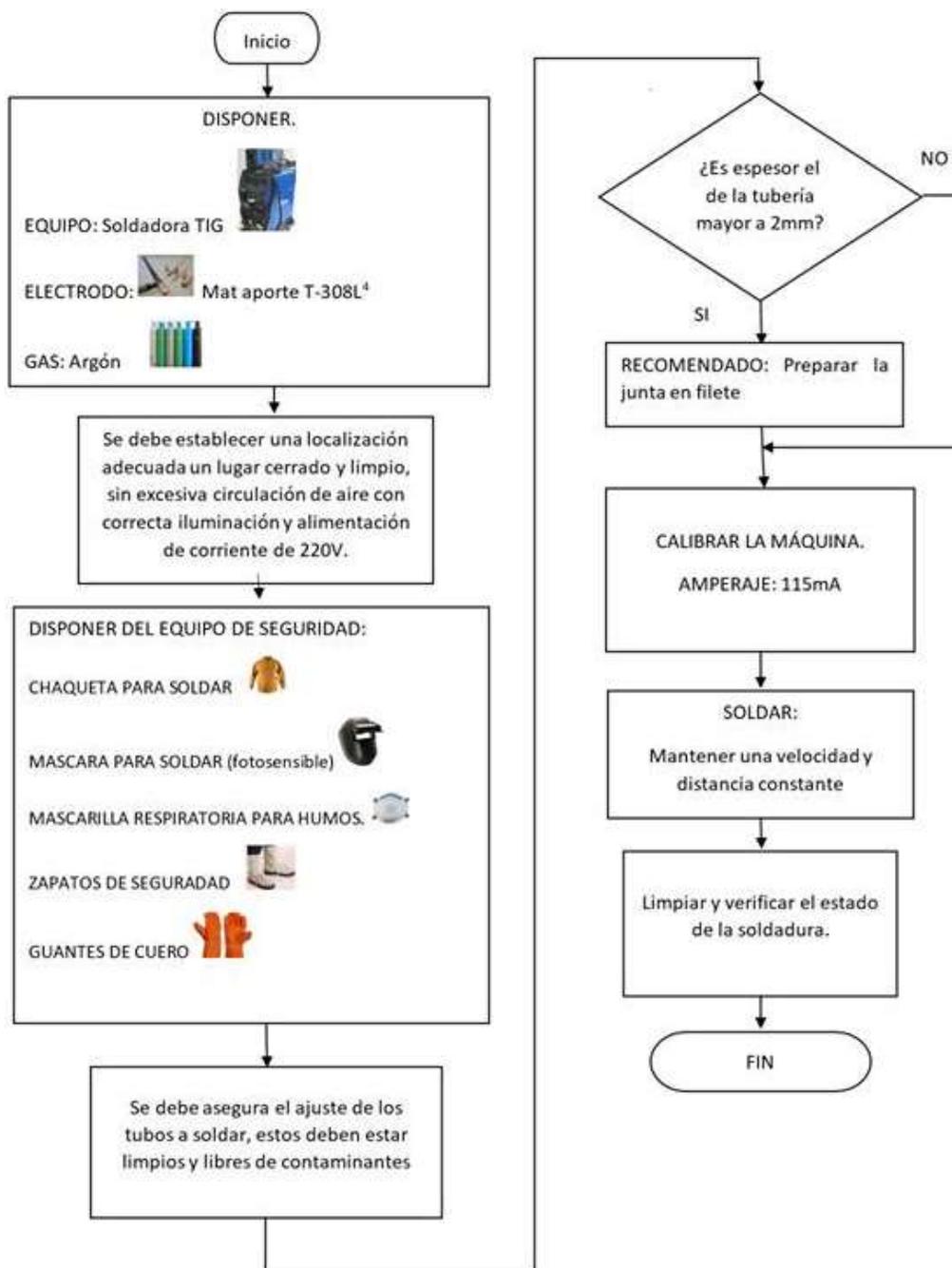


Figure 51 Diagrama de flujo proceso de soldadura TIG.

Fuente: Los autores, (Todo en Equipo de Protección Personal y Seguridad Industrial - Protección para soldar, 2016), (Reinsol, 2016).

5. Conclusiones.

De acuerdo al análisis realizado mediante ensayos no destructivos, tanto visuales como por tintes penetrantes, se pudo determinar que en el chasis del formula SAE actual existen fallas como: falta de fusión, amontonamiento, poros, fisuras y empalmes, causados por una incorrecta elección de parámetros de suelda.

Todos los procesos de soldadura usados en el presente estudio son válidos dependiendo del requerimiento, sin embargo, tomando en cuenta, las propiedades mecánicas y el costo, se determinó que el proceso de soldadura MIG, con una mezcla de gas y preparación de filete da un mejor resultado en aproximadamente un 13%, para los requerimientos del proyecto FSAE.

Los procesos opcionales: TIG con uso T-308 como material de aporte y MIG usando como gas únicamente dióxido de carbono, pueden ser válidos si modifican las necesidades.

La estética es considerada un importante criterio de evaluación en la competencia de formula SAE, esta depende del uso de una técnica adecuada que mejora con la experticia del soldador.

6. Referencias.

Libros

- Adams, H. (1993). Chassis engineering. Los Angeles: HP Books.
- Campbell, H. (2000). Certification manual for welding inspectors. (4th ed) Miami, Fla.: American Welding Society, Education Dept.
- Cary, H. & González Pozo, V. (1992). Manual de soldadura moderna. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Diaz Vargas, G. (2009). Inspección y control de la calidad en la aplicación de soldadura de elementos estructurales. Instituto Politécnico Nacional (IPN).
- Hughes, S. (2009). A quick guide to welding and weld inspection. Cambridge, England: Matthews Engineering Training.
- Khan, M.I.. Welding Science and Technology. Daryaganj, Delhi, IND: New Age International, 2008. ProQuest ebrary. Web. 5 July 2016.
- Omar, Mohammed A.. Automotive Body Manufacturing Systems and Processes (1). Hoboken, GB: Wiley, 2011. ProQuest ebrary. Web. 27 September 2016.
- Rodríguez Pérez, O. (2013). *Metalurgia de la soldadura*. La Habana: Editorial Universitaria.
- Safina, S. & Gonzales, F. (2011). Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares. Caracas: Unicon. (Safina & Gonzales, 2011)
- Singh, R. (2012). Applied welding engineering. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann.

- Zarate Ordoño, Luis Gabriel. Procesos de soldadura. México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional, 2002. ProQuest ebrary. Web. 5 July 2016.

Documentos.

- Calvo, A. (2016). Diseño y analisis de un chasis para un prototipo de fórmula SAE (1st ed.). Madrid: Universidad pontifica de comillas. Retrieved from https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fcdn.fsbx.com%2Fv%2Ft59.2708-21%2F11228427_909716365742926_1871799048_n.pdf%2FAnalisis-y-disen-de-un-chasis-formula-SAE.pdf%3Foh%3Db0e3e1125d0f0e00a5045330db14d693%26oe%3D577A6F69%26dl%3D1&h=1AQFRnXd9
- DIWELD Antorchas de soldadura. Retrieved 7 July 2016, from <http://www.diweld.com/#!defectos-de-los-cordones-en-uniones-sold/c1xet>
- Itea Tomo 15 Estructuras Tubulares. (2016). Scribd. Retrieved 4 July 2016, from <https://es.scribd.com/doc/298466873/Itea-Tomo-15-Estructuras-Tubulares>
- Molina, J. & Tovar, J. (2016). Diseño y construcción de un chasis tubular monoplaz tipo buggy para la participación de la ESPE-L en la fórmula automovilística universitaria (1st ed.). Latacunga: Escuela Politécnica de Ejercito. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/311749710/Diseno-y-Construccion-de-Un-Chasis-Tubular>

- SAE (2016). Fsaonline.com. Retrieved 3 July 2016, from <http://www.fsaonline.com/content/2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%20in%20progress%20kz%2083114.pdf>
- Soldadura para diseño de estructuras metálicas . (2016). Scribd. Retrieved 4 July 2016, from <https://es.scribd.com/doc/282522111/Soldadura-para-diseno-de-estructuras-metalicas>

Páginas Web

- AISI 1030 Carbon Steel (UNS G10300). (2012). AZoM.com. Retrieved 30 September 2016, from <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6531>
- Anon, (2016). [online] Available at: [http://www.cryogas.com.co/Descargar/Indura3081AWS e-3081-16?path=/content/storage/co/biblioteca/ec21c7293e444fb89cd614b12e89b787.pdf](http://www.cryogas.com.co/Descargar/Indura3081AWS-e-3081-16?path=/content/storage/co/biblioteca/ec21c7293e444fb89cd614b12e89b787.pdf) [Accessed 27 Sep. 2016].
- Anon, (2016). [online] Available at: <http://www.esabna.com/us/en/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=69> [Accessed 27 Sep. 2016].
- DIPAC, (2016). Cañería Negra. [online] Dipac Manta S.A. Available at: http://www.dipacmanta.com/index.php?route=product/product&path=61&product_id=45 [Accessed 27 Sep. 2016].

- Material de protección - Reinsol. (2016). Reinsol. Retrieved 2 October 2016, from <http://www.reinsol.es/productos/materiales-de-proteccion/>
- ROJA, E. (2016). ELECTRODO DE TUNGSTENO 1mm PUNTA ROJA. [online] Gemaherramientas.com.ar. Available at: <http://www.gemaherramientas.com.ar/producto/electrodo-de-tungsteno-1mm/> [Accessed 27 Sep. 2016].
- Todo en Equipo de Protección Personal y Seguridad Industrial - Protección para soldar. (2016). Eppseguridad.com. Retrieved 2 October 2016, from <http://www.eppseguridad.com/ps.html>
- Welding for design engineers. (2007). Mississauga: CWB/Gooderham Centre for Industrial Learning.

Tesis.

- Bermeo Morejón, Luis Humberto, Jenny Elizabeth Calle Barrera, and Rubén Darío Carrión Jaura. "Diseño Y Construcción De Un Chasis Tubular De Un Vehículo Monoplaza Para La Competición En La Formula SAE". Dspace.ups.edu.ec. N.p., 2014. Web. 6 Apr. 2016.

Apéndice

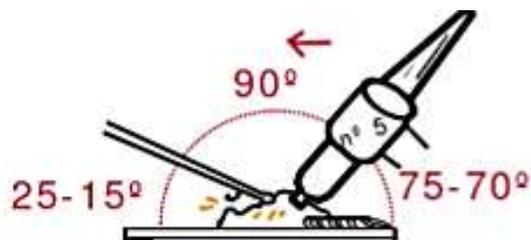
ANEXO 1. Informe de Ensayos a tracción.

ANEXO 2. Informe de uso de laboratorios.

ANEXO 3. Tablas para Soldadura.

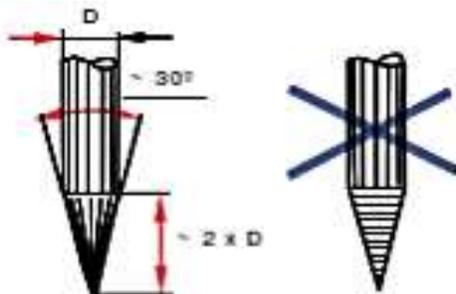
TIG.

Ángulo de soldadura.



(Alonso, 2012)

Afilado de electrodos para corriente continua.



(Alonso, 2012)

Gas inerte

<i>Metal a soldar</i>	<i>Gas</i>
Aluminio y sus aleaciones	Argón
Latón y sus aleaciones	Helio o Argón
Cobre y sus aleaciones (menor de 3 mm)	Argón
Cobre y sus aleaciones (mayor de 3 mm)	Helio
Acero al carbono	Argón
Acero Inoxidable	Argón

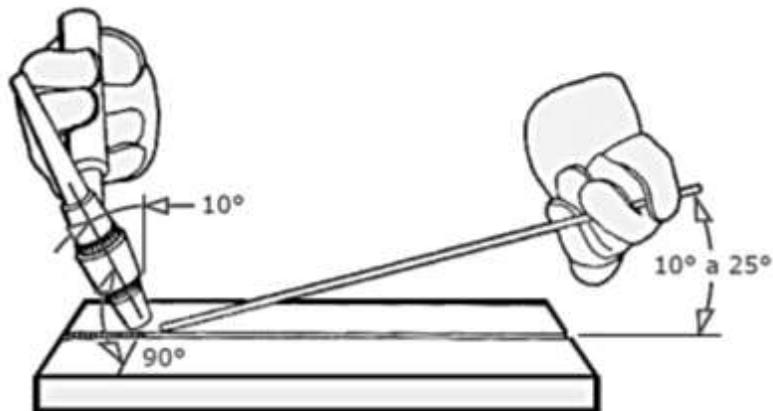
(Rodríguez, 2013)

Elección de la corriente.

Metal a soldar	Fuente de potencia	
	Preferida	Opcional
<i>Aluminio</i>	CA (alta frecuencia)	CC inversa
<i>Latón y aleaciones</i>	CC directa	CA (alta frecuencia)
<i>Cobre y aleaciones</i>	CC directa	-
<i>Acero al carbono</i>	CC directa	CA (alta frecuencia)
<i>Acero inoxidable</i>	CC directa	CA (alta frecuencia)

(Rodríguez, 2013)

Angulo de aporte



(Rodríguez, 2013)

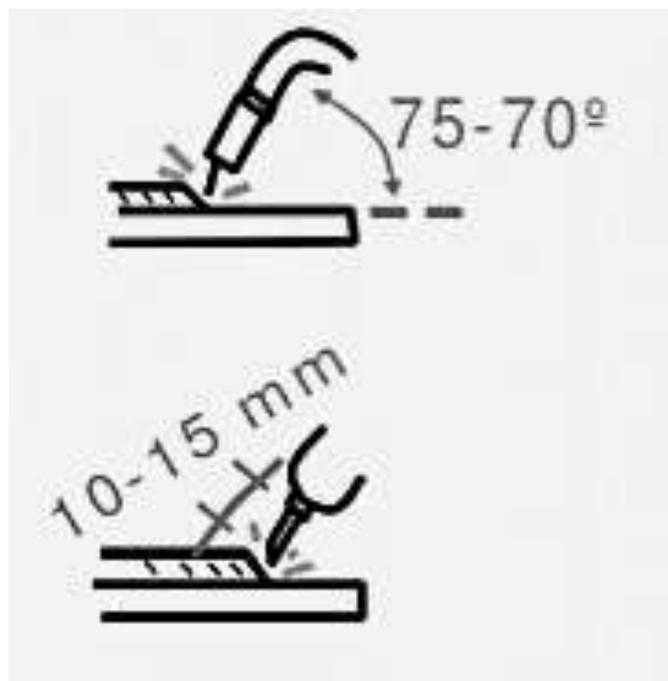
MIG.

Combinaciones de gases.

Gas	Se usa para soldar...
Argón	Aluminio y magnesio
Argón + CO ₂ (de 1 a 5%)	Aceros inoxidable, aceros aleados y cobre
Argón + CO ₂ (hasta 20%)	Aceros
CO ₂	Aceros al carbono con varilla desoxidante
Helio	Aluminio, magnesio y cobre
Helio + argón (20-80% o 50-50%)	Aluminio, magnesio y cobre

(Alonso, 2012)

Ángulo de soldadura.



(Alonso, 2012)