



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: “ESTUDIO COMPARATIVO DE PROCESOS DE
SOLDADURA APLICADO AL CAMPO AUTOMOTRIZ ”**

AUTOR: ESPÍN POLANCO PERCYBAL SEBASTIÁN.

DIRECTOR: Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.

IBARRA – ECUADOR

2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "**Estudio comparativo de procesos de soldadura aplicado al campo automotriz**", presentado por el señor **Percybal Sebastián Espín Polanco** con número de cédula 171622616-0, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 29 días del mes de marzo de 2023.

Atentamente



Ing. Paul Hernández MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:		171622616-0	
APELLIDOS Y NOMBRES:		Espín Polanco Percybal Sebastián	
DIRECCIÓN:		Cayambe	
EMAIL:		psespinp@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	09806369898
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:		“ESTUDIO COMPARATIVO DE PROCESOS DE SOLDADURA APLICADO AL CAMPO AUTOMOTRIZ”	
AUTOR (ES) AUTORES		Percybal Sebastián Espín Polanco	
FECHA:		14 junio de 2023	
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:		<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO	
TITULO POR EL QUE OPTA		INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ	
ASESOR/DIRECTOR		Ing. Erik Paúl Hernández Rueda MSc	

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de junio del 2023

AUTOR

Firma

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal dashed line. The signature is cursive and appears to read 'Percybal Sebastián Espín Polanco'.

Nombre completo

Percybal Sebastián Espín Polanco

171622616-0



CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR
TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TECNICA
DEL NORTE

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **“Estudio comparativo de procesos de soldadura aplicado al campo automotriz**, presentado por el señor: **Percybal Sebastián Espín Polanco** con número de cédula 171622616-0, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 14 días del mes de junio del 2023.

Atentamente

Ing. Erik Paúl Hernández Rueda MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Firma

Percybal Sebastián Espín Polanco

C.C. 1716226160

Ibarra, a los 29 días del mes de marzo del 2023

Dedicatoria

Esta investigación va dedicada a todas las personas que puedan hacer uso de este documento, y como no dedicar este esfuerzo a mi familia y a mi esposa que siempre estuvieron apoyándome para la finalización de este objetivo.

Percybal Espin.

Agradecimiento

Un agradecimiento especial a todos los maestros que compartieron su valioso conocimiento a lo largo de mi formación profesional y a esta prestigiosa institución como es la Universidad Técnica del Norte, que día a día construye profesionales y cumple los sueños de muchos estudiantes que se plantean un futuro próspero para el bien de nuestra nación.

Tabla de contenido

1	CAPÍTULO I.....	1
1.1	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
	1.1.1 Antecedentes	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Delimitación.....	3
	1.3.1 Temporal	3
	1.3.2 Espacial	3
1.4	Objetivos.....	3
	1.4.1 General	3
	1.4.2 Específicos	3
1.5	Justificación.....	3
2	CAPÍTULO II.....	5
2.1	MARCO TEÓRICO.....	5
	2.1.1 Historia	5
2.2	Concepto de soldadura.....	7
2.3	Aplicaciones de la soldadura.....	7
2.4	Procesos de soldadura.....	8
2.5	Normas y códigos de soldadura.....	10
	2.5.1 AWS - (Sociedad Americana de Soldadura)	11
	2.5.2 ASME - (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)	12
	2.5.3 API - (Instituto Americano del Petróleo)	13
2.6	Proceso de soldadura SMAW.....	13
	2.6.1 Equipos de soldadura SMAW	14
	2.6.2 El proceso de conversión de AC en DC	14
	2.6.3 Los equipos inversores	15
	2.6.4 Elementos utilizados para el proceso de soldadura SMAW	15
	2.6.5 Aplicaciones de la soldadura SMAW	15
	2.6.6 NOMENCLATURA DE LOS ELECTRODOS.	16
	2.6.7 Ventajas	18
	2.6.8 Desventajas	18
2.7	Proceso de soldadura GMAW MIG/MAG.....	19
	Elementos que se utiliza en el proceso de soldadura GMAW	20

2.7.1	Fuente de alimentación	20
2.7.2	Elementos para el proceso MIG/MAG	22
2.7.3	Ciclo de trabajo	23
2.7.4	Especificaciones alambre MIG.	23
2.7.5	Aplicaciones de la soldadura MIG/MAG	24
2.7.6	Ventajas	25
2.7.7	Desventajas	25
2.8	Proceso de soldadura GTAW	25
2.8.1	Descripción del proceso TIG.	26
2.8.2	Elementos que se utiliza en el proceso de soldadura GTAW.	26
2.8.3	Tipos de electrodos	28
2.8.4	Aplicaciones	28
	Ventajas	29
2.8.5	29	
2.8.6	Desventajas	29
2.9	Corte por plasma	30
2.9.1	Historia	30
	Concepto	30
2.9.2	30	
2.9.3	Descripción de componentes del corte por plasma	31
2.9.4	Aplicaciones.	32
2.9.5	Ventajas	33
2.9.6	Desventajas	33
3	CAPÍTULO III	34
3.1	MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1.1	Desarrollo de la propuesta de estudio	34
3.2	Materiales	34
3.2.1	Soldadora Lincoln Electric AC/DC/225/125	34
3.2.2	Cebora Bravo 2525/M 590	36
3.2.3	Miller Syncrowave 250 CC – AC/DC Welding Power Source	38
3.2.4	DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS.	40
3.3	MÉTODOS.....	44
3.3.1	Pasos para efectuar la soldadura SMAW.	44
3.3.2	Como soldar con el proceso MIG/MAG.	46

3.3.3	Como soldar con el proceso TIG.	48
3.3.4	CORTE CON PLASMA.	50
4	CAPÍTULO IV	51
4.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1.1	Pruebas realizadas a diferente amperaje.	51
4.1.2	Observaciones generales de los procesos utilizados.	51
4.1.3	Prueba realizada con el proceso SMAW.	52
4.1.4	Pruebas realizadas con el proceso GMAW.	53
4.1.5	Pruebas realizadas con el proceso GTAW	53
4.1.6	ENSAYOS APLICADOS A LOS PROCESOS DE SOLDADURA.	54
4.1.7	Datos obtenidos.	56
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1	CONCLUSIONES.	64
5.2	RECOMENDACIONES.	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	66
	ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1 Métodos de soldadura	5
Figura 2 Soldadura con dos placas	6
Figura 3 Suelda de embarcaciones.....	8
Figura 4 Construcción de puentes.....	8
Figura 5 Ensamble automotriz.....	8
Figura 6 Función del electrodo revestido	16
Figura 7 Nomenclatura de electrodos. (Bravo, 2012)	17
Figura 8 Soldadura por arco con alambre y protección gaseosa	19
Figura 9 cuadro de ciclo de trabajo (Maquinasyequipos, 2018)	23
Figura 10 Soldadura de oleoductos	24
Figura 11 Soldadura de cilindros Hidráulicos	24
Figura 12 Industria automotriz.....	25
Figura 13 Proceso TIG	26
Figura 14 Suelda en aluminio	29
Figura 15 Suelda en acero inoxidable	29
Figura 16.....	31
Figura 17 Partes de la boquilla de corte plasma.....	32
Figura 18 Corte plasma CNC.....	33
Figura 19 Corte de materiales gruesos	33
Figura 20 Simbología de medidas	41
Figura 21 Dimensiones de probeta.....	42
Figura 22 Croquis de corte	42
Figura 23 Posición de soldadura 3G, tabla D 1.1.....	43
Figura 24 Tracción alto amperaje.....	61
Figura 25 Tracción bajo amperaje.....	62
Figura 26 Tracción correcto amperaje	63

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1 Procesos de soldadura (Ingemecanica, Ingemecánica, 2019)	9
Tabla 2 Principales códigos de la AWS	11
Tabla 3 Principales códigos ASME	12
Tabla 4 Principales códigos API.....	13
Tabla 5 Nomenclatura de electrodos	17
Tabla 6 Posición de soldadura	17
Tabla 7 Tipo de revestimiento	17
Tabla 8 Denominación de colores de los cilindros.	21
Tabla 9 Propiedades alambre Indura	22
Tabla 10 Aleaciones electrodos de Tungsteno.....	28
Tabla 11 Ficha técnica Lincoln Electric	34
Tabla 12 Accesorios Lincoln Electric.....	35
Tabla 13 Ficha técnica Cebora Bravo 2525/M 590.....	36
Tabla 14 Accesorios Cebora Bravo 2525/M 590.....	37
Tabla 15 Ficha técnica Miller Syncrowave 250 CC-AC/DC.....	38
Tabla 16 Elementos Miller Syncrowav 250 proceso soldadura TIG	40
Tabla 17 Medidas de probetas de tracción.....	41
Tabla 18 Amperajes según espesor	47
Tabla 19 Pruebas smaw	52
Tabla 20 Pruebas Gmaw	53
Tabla 21 Pruebas Gtaw	54
Tabla 22 Numero de ensayos	56
Tabla 23 Número de muestras.....	56
Tabla 24 Identificación de muestras	57
Tabla 25 resultados alto amperaje.....	58
Tabla 26 resultados bajo amperaje.....	59
Tabla 27 Resultados amperaje correcto	59
Tabla 28 resultados de tracción alto amperaje	60
Tabla 29 Resultados de tracción bajo amperaje.....	61
Tabla 30 Resultado tracción amperaje correcto.....	62
Tabla 31 Relación de Amperaje y presión de aire.....	63

RESÚMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo principal realizar un estudio y hacer comparaciones de los diferentes procesos de soldadura que se aplican en la industria, específicamente en el campo automotriz.

La investigación realizada abarca una explicación precisa de los procesos de soldadura detallando el tipo máquina y componentes que cada uno tiene, también se explica rápidamente los pasos para realizar o iniciar un proceso de soldadura, damos a conocer los equipos de protección personal que es indispensable para la seguridad del soldador, tiene información de los pasos que se debe dar para realizar pruebas de resistencia mecánica en diferentes materiales en este caso fue en un material de acero estructural A36, las pruebas que se realizó para la comparación de los procesos de soldadura fue con variaciones de amperaje alto, medio y el amperaje correcto para el espesor del material, los procesos utilizados fueron SMAW, MAG y TIG ya que estos son los procesos más comunes en la industria, de manera visual sacamos conclusiones sobre el comportamiento de cada proceso aplicado a las chapas metálicas en diferentes amperajes de soldadura.

Para un estudio comparativo más profundo utilizaremos el proceso de soldadura GMAW (MIG/MAG) , aquí se abarco mediante normas que estipula la AWS D 1.1, la posición de soldadura, la más conveniente para el espesor del material fue la 3G vertical descendente, esta posición permite un cordón uniforme y bien distribuido en una placa con una unión a tope, el dimensionamiento de probetas se explica en un croquis en el cual se transporta a la placa para proceder al corte y dimensionamientos de cada probeta para las pruebas que se realizaron en el LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA NACIONAL.

La variación de amperaje afecta directamente en el tipo de cordón que se realiza siendo así que con un amperaje bajo la penetración de soldadura es poca presenta chisporroteo y mal acabado, con un amperaje alto existe exceso de penetración fundiendo al material base presentando un cordón de bajo relieve y con un amperaje adecuado el cordón es uniforme con una buena penetración y excelente acabado.

1 CAPÍTULO I

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 ANTECEDENTES

Con el paso del tiempo las técnicas de unión de diferentes materiales han ido mejorando, esto se debe gracias al avance de la civilización y las tecnologías que aparecen.

Según la historia la unión de materiales comenzó en la antigüedad cuando un hombre unió un palo a una piedra para hacer una lanza, los egipcios utilizaron piedras para crear las pirámides las cuales se unieron mediante una mezcla de yeso, para la unión de metales los antiguos demoraron mucho tiempo en descubrir un método eficaz (Jeffus, 2009).

La soldadura tomo fuerza en la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y el medio oriente, en la edad media se presentó la soldadura por fragua la cual consistía en calentar el metal y golpearlo de tal manera que se producía la unión entre dos metales, un claro ejemplo de este tipo de soldadura es en las armaduras que se construían en aquel tiempo (Somisa, 2017).

Con el descubrimiento del arco eléctrico en los años 1800 la soldadura ha ido evolucionando paulatinamente, en este proceso aparecen los electrodos, principalmente de carbón y después los electrodos con revestimiento, la soldadura es uno de los procesos responsables de la evolución de la industria aplicándola en gran escala en la construcción de maquinaria y aplicaciones militares.

Con crecimiento de los procesos de soldadura se ve la necesidad de crear entidades de control, los cuales son los encargados de establecer normas para una aplicación estandarizada de estos procesos.

Las entidades que verifican proponen y controlan los procesos de soldadura son (American Welding Society) AWS, (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) ASME.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la industria avanza con gran rapidez, y es importante actualizar nuestros conocimientos para brindar nuevas alternativas de mantenimiento en la industria, la utilización de nuevos materiales para la creación de partes y piezas en toda la industria nos da el desafío de conocer y adquirir nuevos equipos que presten facilidad de solucionar un problema.

El campo de la soldadura es considerado con un proceso muy importante dentro de la industria, por lo tanto, las entidades educativas que preparan profesionales en cualquier rama de la industria tienen el deber de impartir conocimientos enrollados a la soldadura, para que estos puedan dar solución a los problemas que se presenten en su vida laboral.

Los procesos de soldadura que se enseñan habitualmente en los colegios técnicos, institutos y universidades son los más básicos, como es la soldadura (Shielded metal arc welding) (soldadura por arco metal blindado) SMAW y (Inert Metal Gas.) MIG, estos procesos son los más utilizados en la industria ecuatoriana los equipos de estos procesos son de fácil obtención en el mercado, por lo cual los establecimientos educativos tanto privados como del Estado pueden adquirir con facilidad sus implementos y accesorios para poder realizar las prácticas de la mejor manera.

El proceso de soldadura (Tungsten inert gas) TIG, es un equipo un tanto costoso, no se lo utiliza a gran escala en la industria y tampoco se lo estudia a profundidad en los establecimientos educativos, la ventaja de la soldadura TIG es que se la puede aplicar en diferentes materiales como son: aceros al carbono, aceros inoxidable y aluminio, brindando un excelente acabado y una buena penetración de fundición.

Para que un establecimiento tenga un laboratorio de primera, es necesario un equipo de corte que sea de fácil utilización y con un corte limpio y rápido, esto es para agilizar los trabajos que se presenten, el equipo que brinda estas características se lo denomina CORTE PLASMA.

Para el desarrollo de este proyecto se plantea realizar un estudio comparativo entre los procesos de soldadura aplicados al campo automotriz, estos son: procesos de soldadura SMAW, MIG-MAG y TIG.

Para poder realizar las pruebas se determinará los procedimientos a seguir y se hará un estudio de resistencia entre los mismos.

1.3 DELIMITACIÓN

1.3.1 TEMPORAL

El proyecto se realizará desde el mes de enero a julio del presente año.

1.3.2 ESPACIAL

El proyecto será implementado en los talleres de soldadura de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte en la ciudad de Ibarra.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

- Realizar estudio comparativo de procesos de soldadura aplicado al campo automotriz.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- Investigar teóricamente acerca de los procesos de soldadura aplicados a la industria automotriz.
- Realizar pruebas para determinar la resistencia del proceso de soldadura MAG
- Analizar resultados
- Implementar un equipo de CORTE PLASMA al laboratorio de la Universidad Técnica del Norte.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La soldadura se ha convertido en un campo muy importante en la industria, existen diferentes procesos que se utilizan en el campo automotriz, algunos de estos son automatizados y otros los realizan soldadores calificados.

Es muy importante para la formación de estudiantes de ingeniería el estudio completo de procesos de soldadura, en este proyecto explicaremos de forma clara y concisa los conceptos básicos de los procesos de soldadura, los cuales estarán disponibles en el repositorio de tesis de la Universidad Técnica del Norte.

Para aclarar dudas de los estudiantes realizamos pruebas con variación de amperaje entre los procesos de soldadura SMAW, MIG y TIG estos procesos son los más utilizados en el campo automotriz y la industria.

2 CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 HISTORIA

La soldadura a través del tiempo ha ido evolucionando continuamente, haciendo más fácil la unión de metales, en el nacimiento de soldadura se aplicaron diferentes métodos para lograr la unión de dos metales.

La Figura 1, muestra un método de soldadura el cual consiste en formar un molde de arena sobre una placa metálica y fundir la forma deseada sobre el metal base de manera que las dos partes se fundan entre ellas (Jeffus, 2009).

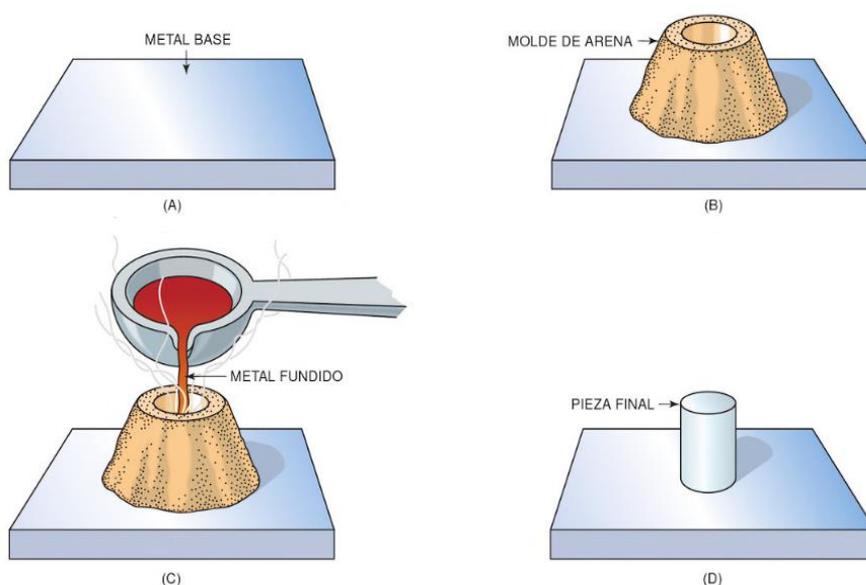


Figura 1 Métodos de soldadura
(Jeffus, 2009, pág. 5)

De la misma manera se lo hizo con 2 placas con una separación determinada en las cuales se los bordeaba con un filo de arena y se vertía el metal fundido, de esta forma las dos placas quedaban unidas entre sí. Figura 2.

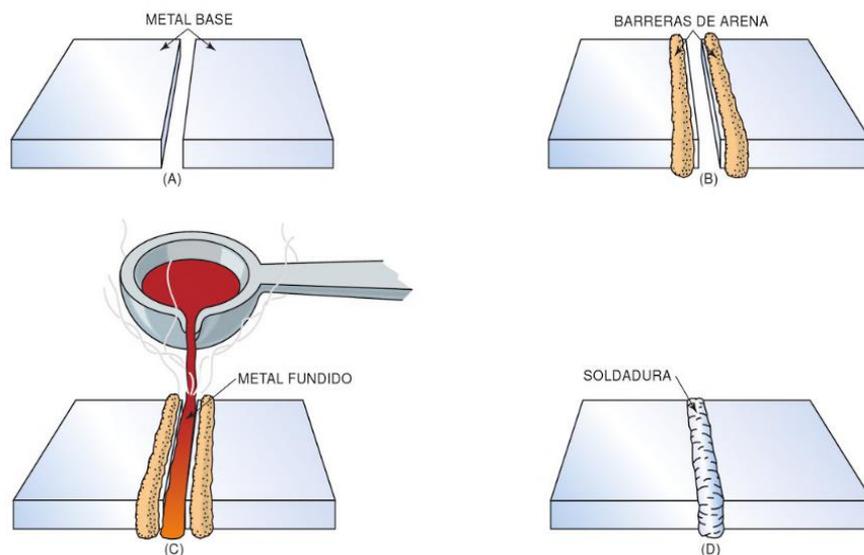


Figura 2 Soldadura con dos placas
(Jeffus, 2009, pág. 6)

Con la aparición de la Revolución Industrial en los años 1750 a 1850, apareció un método conocido como soldadura por forja, o también conocido como soldadura por martillo (Jeffus, 2009).

Esta forma de unión consistía en calentar los metales hasta un punto de maleabilidad, se juntaba los materiales y luego se procedía a golpearlos con el martillo a tal punto que se fusionen entre ellos. Este método dura hasta 1886.

Luego de estos métodos de soldadura aparece la unión por resistencia, este proceso es más rápido y seguro. En Estados Unidos y Europa todos estos métodos son sustituidos por la soldadura de fusión la cual ya se la aplica para la construcción de barcos a finales de la primera guerra mundial (Jeffus, 2009).

Este último proceso de soldadura es la base para la implementación de nuevos procesos, que son muy importantes y fundamentales para el desarrollo de la soldadura y para los avances paulatinos de la industria.

Para poder tener un concepto claro de soldadura, aparecen diferentes entidades encargadas del control y la normativa de los procesos de soldadura.

2.2 CONCEPTO DE SOLDADURA

Según la definición de la American Welding Society (AWS), es la unión localizada (fusión o crecimiento conjunto de la estructura del grano de los materiales soldados) de metales y no metales, producidos por el calentamiento de estos a temperatura de soldadura requeridas, con o sin la aplicación de presión, con el uso o sin el uso de material de aporte (Richard Rowe, 2008).

“Entonces se entiende por soldadura como el proceso de unión de dos materiales producido por la fusión o calentamiento de estos materiales para formar uno solo.”

Existen diferentes fuentes energía que pueden ser usadas para la soldadura, así como:

- Llama de gas.
- Arco eléctrico.
- Láser.
- Rayo de electrones.
- Procesos de fricción o ultrasonido.

La energía mayormente utilizada para formar la unión entre dos piezas de metal usualmente proviene de un arco eléctrico.

Todas las normas (códigos, especificaciones, prácticas recomendadas, métodos, clasificaciones y guías) de la AWS, son normas de consenso voluntario desarrollado según las reglas del Instituto Nacional Estadounidense de normalización (ANSI) (Comite D1 de soldadura estructura de la AWS, 2016).

2.3 APLICACIONES DE LA SOLDADURA

La soldadura interviene en todo los procesos de producción esto quiere decir que se la aplica de forma continua en varios campos de la industria, por ejemplo: en la industria marina Figura 2.3; en la construcción de puentes Figura 2.4; en la creación de maquinaria que se la utiliza para hacer otros productos, en la construcción y ensamble del parque automotriz Figura 2.5; agrícola y también en la fabricación de electrodomésticos.

No existe producto manufacturado donde no se aplicado la soldadura, es por eso que esta directamente relacionado en el mejoramiento del estilo de vida de cada uno de nosotros.



Figura 3 Suelda de embarcaciones
(Tukang, 2019)



Figura 4 Construcción de puentes
(Sicom, 2018)



Figura 5 Ensamble automotriz
(Maquinasyequipos, 2018)

2.4 PROCESOS DE SOLDADURA

Con el paso del tiempo el número de procesos ha ido creciendo, las diferentes formas de aplicar el calor y aplicar la presión, para poder llegar a la unión de materiales ha sido fundamental para el desarrollo de los procesos de soldadura, también ha influido de forma directa la aparición de nuevas tecnologías, técnicas y equipos que aparecen con tiempo.

Los procesos de soldadura se dividen en dos categorías principales:

- Soldadura por fusión, en la cual se obtiene una fusión derritiendo las dos superficies que se van a unir, y en algunos casos añadiendo un metal de aporte a la unión.

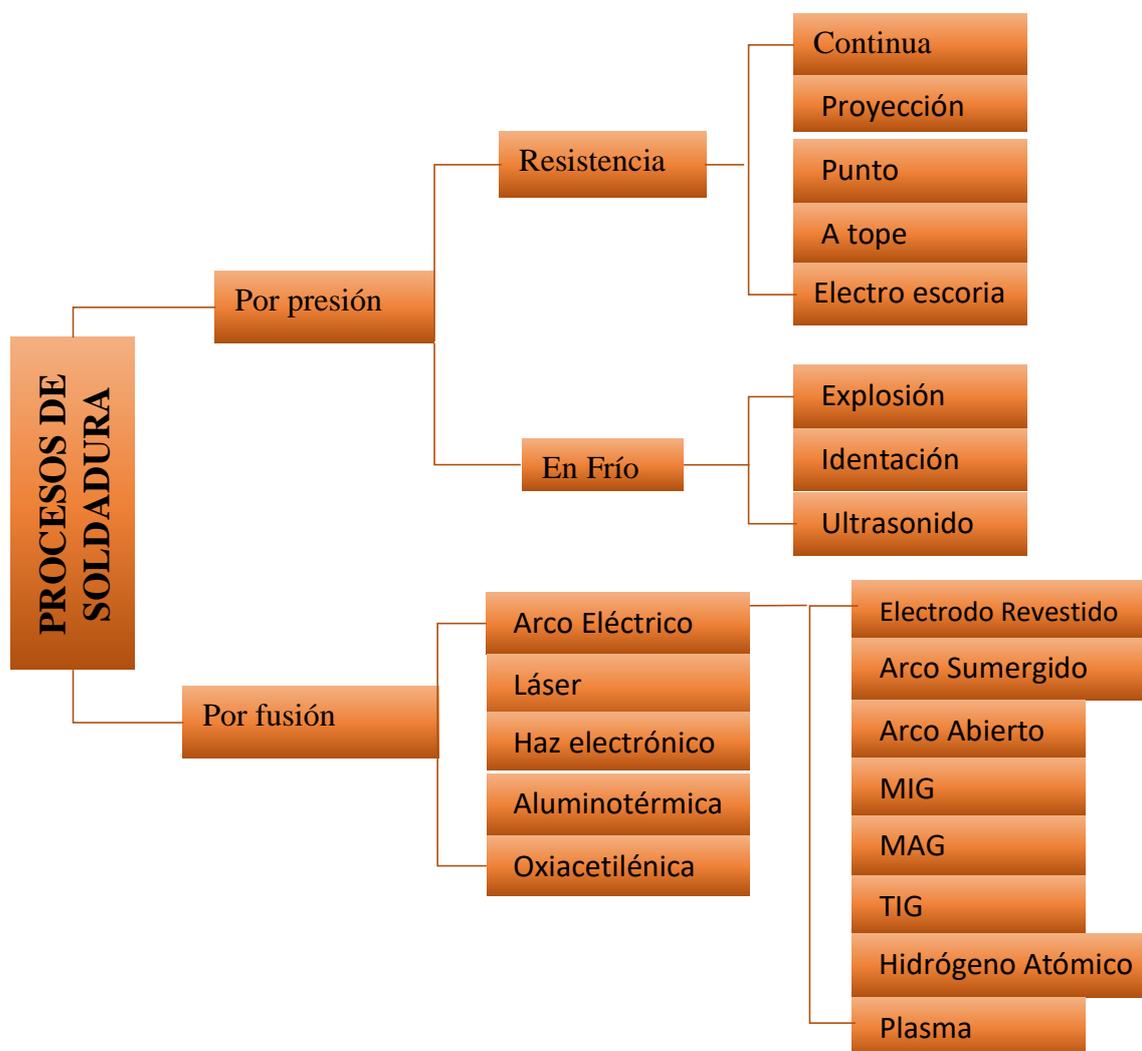
- Soldadura de estado sólido, en la cual se usa calor o presión o ambas para obtener la fusión, pero los metales base no se funden ni se agrega un metal de aporte (Oropeza, 2016)

La soldadura por fusión es la categoría más importante e incluye:

- La soldadura con arco eléctrico,
- La soldadura por resistencia,
- La soldadura con oxígeno y gas combustible (Oropeza, 2016)

Para poder conocer más sobre los procesos de soldadura detallamos en el siguiente cuadro.

Tabla 1 Procesos de soldadura



Fuente (Ingemecanica, Ingemecánica, 2019)

Existe una gran cantidad de procesos de soldadura, en este proyecto solo se tratará los más utilizados y más comunes en la metalmecánica, describiremos su procedimiento, aplicación, características principales y detallaremos los componentes de su equipo.

Según sus siglas se clasifican de la siguiente manera:

- Por arco con electrodo revestido (SMAW) (shield metal arc welding) en español (soldadura por arco con metal blindado)
- Por arco con alambre y protección gaseosa (GMAW) (gas metal arc welding) en español (soldadura a gas por arco metálico)
- Por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa (GTAW) (gas tungsten arc welding) en español (soldadura por arco de tungsteno a gas)
- Por plasma (PAW) (plasma arc welding) (soldadura por arco de plasma)

2.5 NORMAS Y CÓDIGOS DE SOLDADURA

Las normas y códigos que se crean para los procedimientos de soldadura tienen la finalidad de estandarizar un conjunto de reglas o procedimientos, esto abarca a la calidad de material y procesos de soldadura.

Estas normas son establecidas por organizaciones profesionales y luego son aprobadas por entidades gubernamentales.

Las entidades más importantes que definen los códigos o normas de soldadura, a nivel mundial son las siguientes:

- **AWS:** (Sociedad Americana de Soldadura) American Welding Society
- **ASTM:** (Sociedad Americana de Prueba de Materiales) American Society for Testing Materials
- **API:** (Instituto Americano del Petróleo) American Petroleum Institute
- **ASME:** (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) American Society of Mechanical Engineers
- **ANSI:** (Instituto Nacional Americano de estándares) American National Standards Institute
- **ISO:** Organización Internacional de Estándares

2.5.1 AWS - (SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA)

La AWS Prepara los códigos para fabricación de estructuras; construcción de puentes y edificios; especificaciones de electrodos, alambres y fundentes para soldadura; así como estándares para calificación de soldadores y operarios, pruebas, inspección y en general todo lo relacionado con soldadura (Sparkweld, 2017).

Tabla 2 Principales códigos de la AWS

AWS D1.1 Structural Welding Code - Steel (Código de Soldadura Estructural – Acero)	Este código aplica para las estructuras de acero al carbono y de baja aleación, en espesores mayores a 3 mm (1/8”) y con resistencia a la cedencia hasta 690 MPa (100 ksi).
AWS D1.2 Structural Welding Code - Aluminum (Código de Soldadura Estructural – Aluminio)	Este código aplica para la fabricación de estructuras en aluminio.
AWS D1.3 Structural Welding Code - Sheet Steel (Código de Soldadura Estructural – Láminas)	Este código aplica para la soldadura de estructuras en acero al carbono de 4.5 mm (3/16”) o menos, ya sea negro o galvanizado.
AWS D1.4 Structural Welding Code - Reinforcing Steel (Código de Soldadura Estructural – Acero de Refuerzo)	Este código aplica para la soldadura en acero de refuerzo a aceros al carbono o de baja aleación.
AWS D1.5 Bridge Welding Code (Código de Soldadura de Puentes)	Este código aplica para la fabricación de componentes para puentes de carreteras y debe ser utilizado en conjunto con el documento AASHTO Standard Specification for Highway Bridges (Especificación para Puentes de Carreteras) o el AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (Especificación para el Diseño de Puentes LRFD). Los aceros aprobados para uso bajo este código son los designados AASHTO M270M (M270) (ASTM A 709M). EL documento no cubre aceros con resistencia a la cedencia mayor a 690 MPa (100 ksi), ni espesores inferiores a 3 mm (1/8”).
AWS D1.6 Structural Welding Code - Stainless Steel (Código de Soldadura Estructural – Acero Inoxidable)	Este código cubre la soldadura de aceros inoxidable dentro de los siguientes límites: Carbono (C) igual o menor a 0.5%, Cromo (Cr) igual o mayor a 10.5%, Hierro (Fe) mayor a cualquier otro elemento.

Fuente: (Sparkweld, 2017)

2.5.2 ASME - (SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS)

La ASME ha establecido alrededor de 600 normas industriales, entre ellas destaca el código ASME de Calderas y Recipientes a Presión, el cual establece las reglas de seguridad que gobiernan el diseño, la fabricación y la inspección durante la construcción de dichos elementos (Sparkweld, 2017).

Tabla 3 Principales códigos ASME

<p>ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Código de Calderas y Recipientes a Presión).</p>	<p>Este Código consta de doce secciones, agrupadas en Códigos de Construcción (secciones I, III, IV, VIII, X, XII); Códigos de Referencia (secciones II, V, IX); y Reglas para el cuidado, operación e inspección en servicio (secciones VI, VII y XII):</p>
<p>Sección I: Calderas de potencia. Sección II: Especificaciones de materiales ferrosos, especificaciones de materiales, varillas de soldadura, electrodos y materiales de aporte. Sección III: Componentes de Plantas de energía nuclear. Sección IV: Calderas de calefacción. Sección V: Pruebas no destructivas Sección VI: Reglas recomendadas para el cuidado y el funcionamiento de calderas de calefacción. Sección VII: Reglas recomendadas para el cuidado de calderas de potencia. Sección VIII: Recipientes a presión, divisiones I, II y III. Sección IX: Calificaciones de soldadura y Brazing. Sección X: Recipientes a presión de plástico reforzado con fibra de vidrio. Sección XI: Reglas para inspección de sistemas de enfriamiento de reactores nucleares dentro del servicio. Sección XII: Reglas para la construcción y servicio continuado de recipientes de transporte.</p>	
<p>SME B31.1 Power Piping (Tuberías para Generación de Potencia).</p>	<p>Este código regula los trabajos de soldadura en tuberías para sistemas de generación de potencia.</p>
<p>ASME B31.3 Process Piping (Tuberías de Proceso).</p>	<p>Este código regula los trabajos de soldadura en tuberías para procesos incluyendo sustancias químicas e inflamables.</p>

Fuente: (Sparkweld, 2017)

2.5.3 API - (INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO)

Regula todo lo relacionado con la industria petrolera y sus sistemas de construcción para explotación, transporte, almacenamiento, refinación, etc.

Su normativa comprende la construcción de oleoductos, tanques a presión y atmosféricos para almacenamiento de crudos y productos terminados, así como todos los elementos conexos (tubería, bridas, válvulas y bombas) y accesorios (codos, uniones, tees) (Sparkweld, 2017).

Tabla 4 Principales códigos API

API 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage (Tanques de Acero Soldados para Almacenamiento de Combustible).	Este estándar dicta las pautas para la construcción de tanques para productos de petróleo.
API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities (Soldadura de Oleoductos e Instalaciones Similares).	Este estándar regula la soldadura de sistemas de tubería para combustible y productos de petróleo. Los materiales aprobados son tubería de designación API 5L y algunas especificaciones ASTM.

Fuente: (Sparkweld, 2017)

2.6 PROCESO DE SOLDADURA SMAW

Uno de los procesos más utilizados en la mayoría de talleres y en la industria con su sigla en inglés SMAW que quiere decir (Shielded Metal Arc Welding), también es conocido con las siglas MMA (Manual Metal Arc), este proceso por ser de muy fácil aplicación se lo utiliza en diferentes trabajos como carpintería metálica (puertas, ventanas y rejas), hasta la soldadura de tuberías petroleras, estructura metálica (Ingemecanica, 2019).

Se la conoce como suelda eléctrica o de electrodo revestido, es un proceso muy versátil y de costos muy bajos, en el mercado existen varios tipos de equipos como transformadores, rectificadores, convertidores (moto soldadora o electro soldadora) e inversores.

2.6.1 EQUIPOS DE SOLDADURA SMAW

2.6.1.1 TRANSFORMADOR

Modifica el voltaje y la corriente de la señal de entrada, está formado por un núcleo de hierro magnético, que es básicamente dos enrollamientos de cables conductores, formando dos bobinas, una conocida como primaria o de baja, se conecta a la red de alimentación, y la otra llamada secundaria o de alta, se conecta a la salida del equipo porta/electrodo y a la pieza de masa, las cuales se utiliza para empezar el proceso de soldadura.

2.6.1.2 LOS EQUIPOS RECTIFICADORES

Constan de un transformador, tienen integrado puentes de diodos o semiconductores que dejan pasar la corriente eléctrica en un solo sentido. Esto implica convertir la corriente alterna de la red, con el voltaje reducido, en corriente continua.

2.6.1.3 LOS CONVERTIDORES

Producen corriente continua de baja tensión y están compuestos por un motor que puede ser eléctrico o de combustión interna. El movimiento es transmitido mediante un eje común al generador, que puede ser de corriente continua llamado dínamo o de corriente alterna.

2.6.2 EL PROCESO DE CONVERSIÓN DE AC EN DC

Recibe el nombre de rectificación, mientras que, al proceso inverso, paso de DC en AC, se la ha asignado el nombre de inversión. Así pues, los inversores son equipos capaces de transformar la CC en AC, la frecuencia que manejan estos circuitos es típicamente 10 kHz o mayor (muy superior a los 50-60 Hz que maneja una red eléctrica típica de distribución), aunque la alta frecuencia requiere sofisticados componentes y circuitos, ésta reduce drásticamente el tamaño del transformador reductor, adicionalmente, el circuito inversor también puede proporcionar características tales como control de potencia y protección contra sobrecargas (Ingemecanica, 2019).

2.6.3 LOS EQUIPOS INVERSORES

Incorporan electrónica son manejados por micro controladores, y las características eléctricas de la corriente de soldadura pueden ser cambiadas en base a un programa (software) en tiempo real, incluso ejecutar cambios en lapsos de tiempos muy pequeños.

Es muy común la utilización del transformador y el rectificador por su durabilidad, robustez y poco mantenimiento, aunque en los últimos años se ha notado una fuerte tendencia a cambiar estos equipos por inversores ya que tienen unas mejores características en comparación, algunas de ellas son:

- Físicamente más pequeños y más livianos (cerca de 30 % de un equipo tradicional).
- Un rango más amplio de corrientes de trabajo.
- Menor consumo de energía.
- Mayor ciclo de trabajo.

2.6.4 ELEMENTOS UTILIZADOS PARA EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW

La soldadura SMAW por ser un proceso muy fácil y económico consta de un equipo muy básico los elementos principales para su funcionamiento son:

- Generador de corriente.
- Cables de conexión
- Porta electrodo
- Cable de masa o de tierra
- Electrodo
- Material a soldar
- Equipo de protección personal
- Martillo quita escoria
- Cepillo de alambre

2.6.5 APLICACIONES DE LA SOLDADURA SMAW

Las aplicaciones para este tipo de soldadura cubren un gran campo en la industria, la soldadura SMAW es aplicable para varios materiales, solo es necesario tener el

conocimiento correcto para la aplicación de los diferentes electrodos que existen en el mercado.

Para mayor productividad, calidad y rentabilidad, el proceso SMAW se ha ido reemplazando gradualmente. Sin embargo, la aplicación del proceso SMAW no es restringido, significa que todavía encuentra un uso considerable en ciertas situaciones y aplicaciones (Demaquinasyherramientas.com, 2018).

Para la industria de campo como equipo caminero, la industria naval, armado de estructuras, puentes y edificios, principalmente se aplica este proceso, la variación para la aplicación solo es una correcta aplicación de electrodos para los diferentes materiales no ferrosos.

También es aplicable para la soldadura de aceros inoxidable, hierro fundido, aplicación para revestimientos de gran dureza y antifricción.

Es conveniente aplicar este procedimiento en el campo ya que la capacidad del electrodo es cubrir el material fundido con una capa de gas que no permite la entrada del aire, y permite un acabado muy bueno Figura 6.



Figura 6 Función del electrodo revestido
(Royo, 2014)

2.6.6 NOMENCLATURA DE LOS ELECTRODOS.

La nomenclatura de cada electrodo viene dada por las propiedades del material de aporte y fueron clasificadas y estudiadas por la AWS y la ASME, las diferentes características de operación de cada electrodo son atribuidas al revestimiento que cubre el alambre de cada electrodo. (Ingemechanica, s.f.).

2.6.6.1 DESCRIPCIÓN DE LA NOMENCLATURA.

E XXYZ - E 6013

Figura 7 Nomenclatura de electrodos. (Bravo, 2012)

Tabla 5 Nomenclatura de electrodos

Código electrodo	para	EXXYZ
Donde		
E		Letra que indica que es un electrodo revestido
Xx		Mínima resistencia a la tracción del metal depositado en Ksi
Y		Digito que indica la posición de soldadura
Z		Señala el tipo de revestimiento y la polaridad en que mejor suelda

(dtjrodriguez, 2021)

El kip por pulgada cuadrada (ksi, kip/in²) es una unidad de presión, esfuerzo, módulo de Young y resistencia a la tracción perteneciente a las unidades tradicionales de Estados Unidos y a las imperiales británicas. Es una medida de fuerza por unidad de superficie. La unidad de presión es equivalente a 1000 psi.

2.6.6.1.1 Y POSICIÓN DE SOLDADURA.

Tabla 6 Posición de soldadura

Digito	Posición de soldadura
1	Todas las posiciones excepto vertical ascendente
2	Plana y horizontal
4	Todas las posiciones, pero en vertical solo hacia abajo

(dtjrodriguez, 2021)

2.6.6.1.2 Z TIPO DE REVESTIMIENTO.

Tabla 7 Tipo de revestimiento

Código de revestimiento		
Designación	Tipo de corriente	Recubrimiento
EXX10	Solo continua, positiva	Orgánico

EXX11	Continua y alterna, +	Orgánico
EXX12	Continua y alterna, -	Rutilo
EXX13	Continua y alterna, + -	Rutilo
EXX14	Continua y alterna, + -	Rutilo y hierro en polvo al 30%
EXX15	Solo continua, +	Bajo en hidrogeno
EXX16	Continua y alterna, +	Bajo en hidrogeno
EXX18	Continua y alterna, + -	Bajo en hidrogeno y hierro en polvo al 25%
EXX20	Continua y alterna, + -	Rico en óxido de hierro
EXX24	Continua y alterna, + -	Rutilo y hierro en polvo al 50 %
EXX27	Continua y alterna, + -	Mineral y hierro en polvo al 50 %
EXX28	Continua y alterna, +	Bajo en hidrogeno y hierro en polvo al 50 %

(Demaquinasyherramientas.com, 2018)

2.6.7 VENTAJAS

- Equipo de fácil adquisición.
- Se puede aplicar a una gran cantidad de materiales.
- Facilidad para conseguir el material de aporte (electrodos).
- Facilidad de aplicación en diferentes posiciones de soldadura.
- Gran penetración.

2.6.8 DESVENTAJAS

- El proceso es discontinuo debido a la longitud limitada de los electrodos.
- Por ser de proceso manual se necesita una experiencia comprobada para su aplicación.
- Por tener revestimiento deja una gran cantidad de escoria.
- Produce exceso de humo.

2.7 PROCESO DE SOLDADURA GMAW MIG/MAG

Según AWS identifica al proceso GMAW como Gas Metal Arc Welding, con los procesos derivados como MIG/MAG. Los equipos de soldadura son los mismos lo único que cambia es el gas que se aplica en cada uno de los casos.

En los principios de este proceso se utilizaba gases inertes como (Argón y Helio) por lo que se lo denominó, Metal Inert Gas, por lo tanto, sus siglas son (MIG), en la actualidad se utiliza gases activos como (CO₂ o la mezcla de Argón y CO₂), por eso se le denomina Metal Active Gas y sus siglas son (MAG).

Este es un proceso semiautomático, consta de un hilo como electrodo que se alimenta automáticamente conjuntamente con la salida del gas protector, el operador solo tiene que guiar el flujo de la soldadura mediante la antorcha.

Su principal característica es que el electrodo (alambre) alimenta el cordón de soldadura. Además, el arco eléctrico está protegido, por un flujo continuo de gas que garantiza una unión limpia y en buenas condiciones (SparkWeld, 2019)

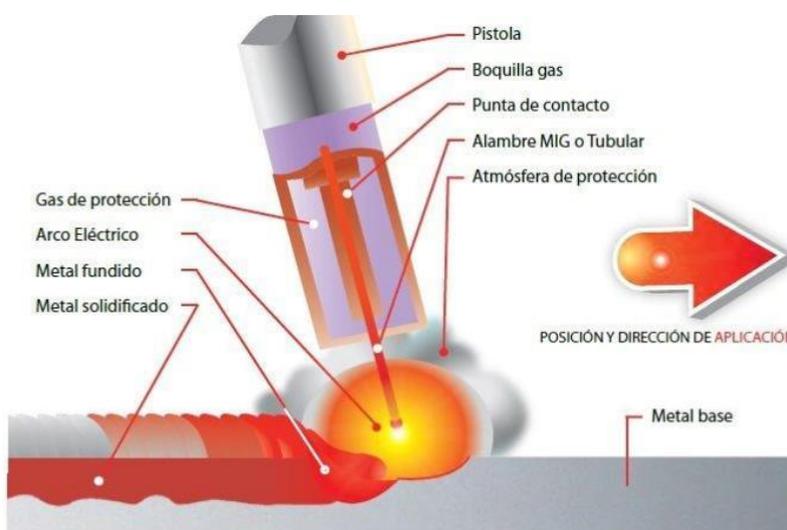


Figura 8 Soldadura por arco con alambre y protección gaseosa
(SparkWeld, 2019)

2.7.1 ELEMENTOS QUE SE UTILIZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación se compone de un transformador y un rectificador brindando una corriente una corriente continua que puede generar de 40 a 600 amperios con un voltaje de 10 a 40 voltios esto depende mucho de la maquinaria que se vaya a utilizar.

El ciclo de trabajo de la mayoría de las maquinarias es del 100 %, esto quiere decir que se puede utilizar a la mayoría de amperaje sin que el equipo sufra algún daño.

2.7.1.1 ALIMENTADOR DE HILO O ALAMBRE SÓLIDO

El alimentador de hilo proporciona al equipo una salida constante del alambre para soldar, de acuerdo a la variación de su velocidad depende el tipo de cordón que se realice en el proceso. Para lograr una buena fundición del alambre depende proporcionalmente del amperaje en el que se trabaje.

Este alimentador consta de un conjunto de rodillos que empuja el alambre directamente desde su carrete, enviando a este por un tubo conductor que se encuentra en la antorcha de soldar.

2.7.1.2 ANTORCHA DE SOLDAR

Que está compuesta de un tubo de contacto donde el alambre recibe la corriente de soldadura proveniente de la fuente; una tobera de metal que direcciona el gas que protege la soldadura, un linner que está dentro de la antorcha por donde pasa el alambre.

2.7.1.3 TUBO DE GAS Y REGULADOR

Esta manguera es la que proporciona el flujo continuo de gas al equipo, está conectada a un regulador de presión el cual es el encargado de controlar la salida de gas desde el tanque.

2.7.1.4 CILINDRO DE GAS

Según la aplicación del proceso, puede ser MIG o MAG, se utilizará CO₂ o Argón, en el mercado actual también existe una mezcla de CO₂ y Argón, esto se lo puede reconocer por los diferentes colores de los tanques.

Tabla 8 Denominación de colores de los cilindros.

	Color	Cilindro
Para el cilindro de CO ₂ .	Plomo	
Para el cilindro de Argón.	Negro	
Para la mezcla CO ₂ y Argón.	Negro con plomo	

Fuente: (INDURA, 2019)

2.7.1.5 CARRETE DE ALAMBRE

El alambre ER 70S-6 INDURA, elaborado bajo el proceso ISO 14001, es un electrodo continuo de acero revestido con una delgada capa de cobre, que ofrece una excelente soldabilidad cuando se lo usa con mezclas de CO₂ o Ar/CO₂ (INDURA, Alambre MIG/MAG de INDURA, 2019).

Tabla 9 Propiedades alambre Indura

Composición química (típica) del alambre:				
C 0,08%; Mn 1,44%; Si 0,86%; P 0,012%; S 0,014%; Cr 0,02%; Ni 0,04%; Mo 0,003%; V 0,005%; Cu 0,20%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.18/A5.18M-05):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 530 MPa	480 MPa	103J a -30°C	27J a -30°C	
Límite de fluencia : 415 MPa	400 MPa			
Alargamiento en 50 mm : 31%	22%			
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Voltaje, volt	Amperaje		Flujo CO ₂ lts. / min.
		min.	máx.	
0,8	14-26	60	160	7-12
0,9	15-27	90	230	8-12
1,2	17-30	130	340	12-14
*1,6	26-36	290	400	14-16

(INDURA, Alambre MIG/MAG de INDURA, 2019)

2.7.2 ELEMENTOS PARA EL PROCESO MIG/MAG

En este proceso necesita elementos como:

- Una fuente de corriente continua y tensión constante.
- Un alimentador de alambre macizo.
- Una antorcha.
- Un tubo de gas y un regulador correspondiente.
- Tanque de gas protector.
- Carrete de alambre.

2.7.3 CICLO DE TRABAJO

El ciclo de trabajo hace referencia al tiempo que los equipos para soldar pueden operar de forma continua. Técnicamente se expresa en porcentaje y toman como base un lapso completo de diez minutos. Una excelente manera de entender este concepto es mediante un ejemplo.

Model	MIG/ARC200		NO.20180401741	
	IEC 974-1			
U_s	50A/18.5V~200A/24V			
	X	60%	100%	
U_s V	I_s	200A	123.9A	
50V	U_s	24V	20.2V	
	Power Factor: 0.85			
Insulation class: F	U_s V	I_{max}	27.8A	
	-220V±15%	I_{eff}	19.5A	
Gas Cool	50/60Hz	S:	6.1kV.A	4.3kV.A
Enclosure class: IP23				

Figura 9 Cuadro de ciclo de trabajo (Maquinasyequipos, 2018)

El ciclo de trabajo usualmente se encuentra en la tabla de especificaciones técnicas de los equipos de soldadura. En el caso de la imagen 60% a 200amp y 100% a 123.9amp. (soldadura, 2019).

2.7.4 ESPECIFICACIONES ALAMBRE MIG.

Los alambres continuos para soldadura MAG/MIG se pueden clasificar del modo que a continuación se describe, de este modo, se habla de electrodos para soldar distintos metales como son:

- Electrodo de acero dulce
- Electrodo de acero de baja aleación
- Electrodo de acero inoxidable
- Electrodo para recubrimiento (Cabrero Armijo & Molino Casas, 2017).

2.7.5 APLICACIONES DE LA SOLDADURA MIG/MAG

La aplicación de la soldadura MIG/MAG, no solo se lo aplica en grandes industrias sino también en pequeños talleres o empresas que necesiten que su trabajo sea de gran resistencia y su elaboración sea rápida, es por eso que también se la utiliza de forma muy común en la producción de oleoductos Figura 10, en la construcción de elementos hidráulicos Figura 11, construcciones metálicas, industria naval y también en la industria automotriz Figura 12.

Este proceso se populariza cuando fabricantes de autos empezaron a utilizar acero de alta resistencia (HSS) y acero de baja aleación y alta resistencia (HSLA), en la industria automotriz se la aplicó por su rapidez para realizar trabajos que demoraban más de 4 horas los cuales con el proceso MIG se los hizo en los 30 minutos (Richard Rowe, 2008).

Para una buena aplicación de los procesos de soldadura MIG/MAG, es conveniente realizarlos en galpones de trabajo en los cuales no corra una corriente de aire, esto es importante, ya que si se soldara en campo abierto el gas protector no trabajaría de la forma adecuada, produciendo porosidad en su acabado.



Figura 10 Soldadura de oleoductos
(Lescam, 2011)



Figura 11 Soldadura de cilindros
Hidráulicos



Figura 12 Industria automotriz

2.7.6 VENTAJAS

- Fácil aplicación.
- Mayor velocidad de aplicación a comparación de la SMAW.
- No existe pérdida de tiempo en el cambio de electrodo, ya que es electrodo continuo.
- Se requiere mínima limpieza luego de soldar.
- Puede utilizarse para soldar cualquier metal ferroso y no ferroso.
- Se puede soldar en toda posición.
- Se pueden realizar soldaduras de grandes longitudes sin que tengan empalmes entre los cordones, evitando imperfecciones.

2.7.7 DESVENTAJAS

- Equipos costosos.
- El arco debe ser protegido de las corrientes de aire, por lo que su aplicación al aire libre es limitada.

2.8 PROCESO DE SOLDADURA GTAW

Las siglas en ingles según la AWS quieren decir, proceso de soldadura por arco de tungsteno con gas (Gas Tungsten Arc Welding) GTAW, se caracteriza por la utilización de un electrodo no consumible de tungsteno, también se lo conoce como Tungsten Inert Gas (TIG).

Es un proceso que se lo puede realizar manualmente o adaptar a un brazo robótico para mejor procedimiento de trabajo, se lo puede aplicar en materiales de cualquier espesor con una penetración excelente y con un acabado casi perfecto, brindándole resistencia y mucha flexibilidad.

El avance lento y el costo elevado del equipo no permiten que este proceso sea utilizado con frecuencia en la industria.

El proceso TIG es empleado para soldar aluminio, magnesio, acero inoxidable, bronce, plata, cobre, níquel y aleaciones, también se los utiliza para soldar aceros dulces, hierro fundido y aceros aleados, se emplea para realizar soldaduras de raíz en juntas soldadas de tubos de acero buscando una mayor penetración al principio de soldadura (Bravo, 2012)

2.8.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TIG.

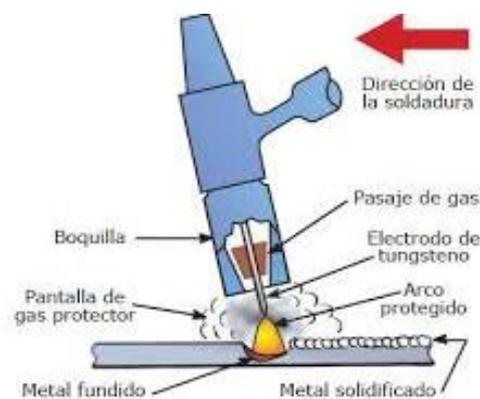


Figura 13 Proceso TIG
(Puebla, 2014)

2.8.2 ELEMENTOS QUE SE UTILIZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW.

2.8.2.1 FUENTE DE PODER

Para el proceso de soldadura GTAW, utiliza una máquina de soldar especial, es un rectificador con CA/CC o un generador de corriente continua (CC) con una unidad de alta frecuencia, La selección de corriente CA o CC depende del material a soldar.

Corriente alterna es recomendada para la soldadura de aluminio y magnesio.

Corriente continua se recomienda para soldadura de aceros inoxidable, hierro fundido, acero al carbono y baja aleación, cobre, níquel y aleaciones y plata.

Una típica máquina de soldar TIG opera con un amperaje de 3 a 350 amperios, con 10-35 voltios y un ciclo de servicio de 60%.

2.8.2.2 PISTOLA PORTA ELECTRODO DE TUNGSTENO

El soplete porta electrodo es un dispositivo que engloba el electrodo de tungsteno, y está conectado a algunos cables conectados al generador, los cuales tiene como tarea alimentarlo eléctricamente y distribuir el gas de protección.

En función del tipo de empleo, puede haber sopletes con enfriamiento natural, a través del gas de protección, si son necesarias intensidades bajas de corriente, y sopletes con enfriamiento por agua, cuando son necesarias corrientes elevadas (200-500 A) y soldaduras frecuentes.

2.8.2.3 VARILLA DE MATERIAL DE APORTE

El espesor del material, el tipo de junta y las características de soldadura deseadas influyen en la necesidad de usar o no un metal de aporte a añadir al baño. El añadido del metal de aporte en la soldadura manual se efectúa inmergiendo una varilla de material en la zona del arco, lateralmente al baño de fusión.

El metal de aporte es a menudo similar al metal base y con frecuencia se añaden limitadas cantidades de elementos que mejoran las propiedades de la zona fundida.

2.8.2.4 CILINDRO DE GAS Y REGULADOR DE PRESIÓN

El cilindro de gas inerte más utilizado en este proceso puede ser el Argón o el Helio, pero por su elevado costo se utiliza habitualmente Argón, consta de un regulador de presión que controla el flujo de gas.

2.8.2.5 CABLE DE MASA

Pinza que es necesaria para cerrar el circuito o arco eléctrico.

2.8.3 TIPOS DE ELECTRODOS

Los tipos de electrodos de tungstenos se clasifican de la siguiente manera:

- WP o Wolframio puro: su punto de fusión es de 3.420 °C y se distingue con el color verde en un extremo. Sus características, en comparación con el resto, son las peores, es el que tiene menor resistencia al calor y menor capacidad de emitir electrones.
- WTh o Wolframio con óxidos de Torio: su punto de fusión ronda los 4.000 °C. En función del porcentaje añadido se distinguen con varios colores amarillo (1%) y rojo (2%, el más popular). El torio aumenta la capacidad del electrodo de conducir la corriente y el calor, por tanto, el tungsteno se calienta menos y resiste mejor el deterioro (Marcos, 2017, pág. 21).

Tabla 10 Aleaciones electrodos de Tungsteno

Aleación	AWS	ISO	Cantidad de Óxido
2% Torio	EWTh-2	WT20	1,7-2,2% ThO ₂
2% Cerio	EWCe-2	WC20	1,8-2,2% CeO ₂
1,5% Lantano	EWLa-1.5	WL20	1,3-1,7% La ₂ O ₃
1% Lantano	EWLa-1	WL10	0,8-1,2% La ₂ O ₃
Zirconio	EWZr-1	WZ3	0,15-0,40% ZrO ₂
Puro	EWP	W	Ninguno

Fuente: (SMP, 2012)

Los fabricantes deben colorear según la norma establecida un extremo del electrodo con el color según la aleación correspondiente.

2.8.4 APLICACIONES

El proceso TIG se puede utilizar para el soldar de todos los materiales como, acero inoxidable Figura 2.14, aluminio Figura 2.15.

Por su alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial, es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía, nuclear y aeroespacial.

No resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 6-8 mm. En estos casos el TIG se utiliza para efectuar la pasada de raíz, empleándose otros procesos de mayor productividad para el resto de las pasadas de relleno.

Los siguientes gráficos que detallan las diferentes aplicaciones de la soldadura TIG.



Figura 15 Suelda en acero inoxidable
(Ferrepro, 2015)



Figura 14 Suelda en aluminio
(Soldaduras, 2018)

2.8.5 VENTAJAS

- Puede soldar diferentes materiales.
- Aplicable a espesores variables.
- No produce escoria.
- Su electrodo tiene excelente durabilidad al desgaste.
- Acabado perfecto.
- Excelente penetración.

2.8.6 DESVENTAJAS

- Para su correcta utilización se necesita ser experimentado.
 - No es económico.
- Con presencia de corrientes de aire puede tener un mal acabado.

2.9 CORTE POR PLASMA

2.9.1 HISTORIA

Se desarrolló a mediados de los años cincuenta en un intento de crear el arco, utilizando argón que fue tan caliente como si se utilizara Helio, con la restricción de una columna de flujo rápido de Argón formaba un plasma, este estaba lo suficientemente caliente para fundir rápidamente el metal, por no poder controlar la dispersión del material fundido decidieron hacer un equipo de corte (Jeffus, 2009).

2.9.2 CONCEPTO

El plasma se genera cuando se calienta un gas a temperatura suficiente como para convertirlo en iones positivos y negativos, átomos neutros y electrones, la temperatura del arco puede llegar hasta los 6000 grados Celsius, pero la temperatura creada cuando el arco se concentra para formar el plasma llega aproximadamente a 23600 °C suficiente como para fundir cualquier metal (Jeffus, 2009).

Resumiendo, el corte por plasma se basa en la acción térmica y mecánica de un chorro de gas calentado por un arco eléctrico de corriente continua establecido entre un electrodo (-) ubicado en la antorcha y (+) la pieza a mecanizar. El chorro de plasma lanzado contra la pieza penetra la totalidad del espesor a cortar, fundiendo y expulsando el material.

La ventaja principal de este sistema radica en la capacidad de poder cortar aceros inoxidables, así como casi todos los metales conductores de electricidad Figura 16.

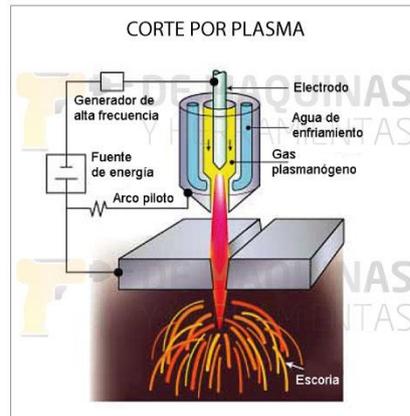


Figura 16 Corte por arco plasma
(Casamia, 2012)

2.9.3 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL CORTE POR PLASMA

2.9.3.1 CILINDRO DE GAS O GAS COMPRIMIDO

Es fundamental para el corte por plasma el uso de gases denominados gases primarios para crear el plasma. El circuito del gas está controlado por un regulador, los gases usados son: aire, nitrógeno, argón, helio (demaquinasyherramientas, 2013).

2.9.3.2 FUENTE DE ENERGÍA

Generalmente es un transformador eléctrico de alimentación monofásica o trifásica, equipado con refrigeración, elevada tensión de vacío (100-400 V) e intensidad constante (demaquinasyherramientas, 2013).

2.9.3.3 PIEZA DE TRABAJO

El corte con plasma se emplea para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductor. A menudo, los metales cortados incluyen aceros al carbono simple, acero inoxidable y aluminio, pero últimamente también se corta hierro, cobre, latón, bronce y titanio (demaquinasyherramientas, 2013)

2.9.3.4 ANTORCHA

Es la pieza que realiza el corte y está equipada con mangueras para aire comprimido y electricidad y con una serie de elementos que veremos en detalle más abajo (demaquinasyherramientas, 2013).

2.9.3.5 PARTES DE BOQUILLA DE CORTE



Figura 17 Partes de la boquilla de corte plasma

2.9.4 APLICACIONES.

Las aplicaciones de corte por plasma netamente es seccionar o cortar materiales de diferente tipo, puede ser aceros de bajo carbono, aluminio, acero inoxidable, hierro fundido y muchos más.

Lo interesante de esta maquinaria es que puede cortar materiales que con el equipo de oxicorte no es posible, la rapidez de corte es sumamente alta a comparación con la del oxicorte.

Es muy precisa y se la puede realizar a mano o también mediante un equipo CNC. Figura 17, con la maquinaria CNC se puede realizar diferentes modelos de corte a una precisión muy exacta. El ancho del corte depende la punta del electrodo. Según la maquinaria se puede cortar materiales de diferentes espesores Figura 18



Figura 18 Corte plasma CNC
(Casamia, 2012)



Figura 19 Corte de materiales gruesos
(Demaquinasyherramientas, 2014)

2.9.5 VENTAJAS

- No existe desgaste.
- Gravado permanente.
- Preciso.
- No produce escoria.
- Corta cualesquiera clases de material.
- La zona calentada es muy pequeña.

2.9.6 DESVENTAJAS

- Energía requerida.
- Costo de maquinaria.

3 CAPÍTULO III

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE ESTUDIO

Para el desarrollo de la presente investigación se enfocó en el estudio de cada uno de los procesos de soldadura, se detalla uno a uno explicando los métodos y procedimientos que se utilizan para obtener resultados de excelente calidad.

Con la aplicación de los diferentes procesos de soldadura se realizó una comparación entre cada uno de estos y se determina que proceso es el más apto para la aplicación en el campo automotriz.

Se incluirá una ficha técnica de los equipos que existen en los laboratorios de la Universidad Técnica del Norte, los cuales se usaron para realizar las pruebas comparativas de los diferentes procesos de soldadura.

3.2 MATERIALES

A continuación, detallamos de una forma ordenada los materiales que se utiliza en cada uno de los procesos, y se especifica la maquinaria enlistando sus características de funcionamiento.

3.2.1 SOLDADORA LINCOLN ELECTRIC AC/DC/225/125

3.2.1.1 FICHA TÉCNICA

Tabla 11 Ficha técnica Lincoln Electric

Producto	Número	Potencia de entrada V/fase/Hertz	Salida nominal A/V/%	Corriente de entrada Salida nominal		Rango de salida
				CA	CC	
CA/CC 225/125	K1297	230/1/60	CA225A/25V/20% CC125A/25V/20%	50 A	36 A	40-225 A de CA 30-125 A de CC

Este tipo de máquina fue creada para desarrollar trabajos domésticos, de campo y talleres pequeños, se la utiliza para realizar trabajos de reparación y mantenimiento ligero.

La máquina mencionada tiene la ventaja de realizar un arco muy suave y estable, esto es por la selección del tipo de corriente AC/DC, es ideal para soldar electrodos de acero al carbono, acero inoxidable y electrodos de revestimiento.

Funde electrodos de diámetros de 1/8 (3.2mm) a 125 amperios en DC, y electrodos de diámetro de 3/16 (4.2mm) en 225 amperios en CA.

3.2.1.2 ACCESORIOS

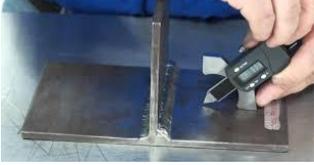
Al adquirir este tipo de máquina soldadora tenemos como accesorios lo siguiente:

- Cable y porta electrodo aislado
- Mordaza y cable de alta resistencia
- Toma corriente.

Para poder operar es fundamental tener a la mano el equipo de protección personal, los electrodos a utilizar según el material a soldar y elementos de limpieza, a continuación, le detallamos en un cuadro especificando cada uno de estos.

Tabla 12 Accesorios Lincoln Electric

1. Generador de corriente.	
2. Toma corriente	

3. Porta electrodo.	
4. Mordaza	
5. Electrodo.	
6. Material a soldar.	
7. Martillo quita escoria.	

3.2.2 CEBORA BRAVO 2525/M 590

3.2.2.1 FICHA TÉCNICA

Tabla 13 Ficha técnica Cebora Bravo 2525/M 590

DATOS TÉCNICOS	BRAVO 2525/M 590	
Alimentación monofásica.	230 V 50/60 Hz	
Potencia instalada máxima.	6,5 KW	
Potencia absorbida.	8,7 KVA 25%	
Regulación de corriente.	25÷250A	
Factor de potencia 10 min a 40 °C	250A	25%
	130A	60%
	100A 100%	

Tamaño de cables compatibles	SOLID 0.6/0.8 (1) CORED 0.9
Tamaño de carrete.	Ø 300mm/15Kg
Grado de protección	21 C
Peso.	58,5 Kg
Dimensiones.	542x915x795

Fuente: (Catalogo bravo Synergic, 2018)

Esta máquina está diseñada para la industria de mediana producción, puede ser usada en el campo automotriz, metal mecánico, en la construcción de carrocerías.

Cebora es una marca italiana que ofrece productos de gran calidad, posee repuestos de todas sus partes, en el mercado ecuatoriano son muy fáciles de conseguir, esta máquina puede funcionar como proceso MIG/MAG y también como proceso Flux Cored.

3.2.2.2 ACCESORIOS

Los accesorios que vienen en los equipos de soldar de la marca Cebora son los necesarios para empezar a trabajar de manera rápida y eficiente, el cliente que obtenga esta maquinaria solo necesita tener la conexión eléctrica que requiere la maquinaria.

A continuación, se detalla las partes de esta.

Tabla 14 Accesorios Cebora Bravo 2525/M 590

1. Una fuente de corriente continua y tensión constante.	
2. Una antorcha y mordaza	

3. Un tubo de gas y un regulador correspondiente.	
4. Tanque de gas protector.	
5. Carrete de alambre.	

3.2.3 MILLER SYNCROWAVE 250 CC – AC/DC WELDING POWER SOURCE

3.2.3.1 FICHA TÉCNICA

Tabla 15 Ficha técnica Miller Syncrowave 250 CC-AC/DC

Especificaciones.	
Nombre:	SYNCROWAVE 250 CC
Espesor de material:	Acero: 0.012 pulg. (0.3mm) a 1/2pulg. (12.7mm). Aluminio: 0.015pulg. (0.4 mm) a 3/8 pulg. (9.5 mm).
Metales soldables:	Aluminio, acero, acero inoxidable.
Voltaje de entrada:	220/ 240/ 460 V
Fase de entrada:	1 fase.

Hz de entrada	50 / 60 Hz
Corriente.	AC/DC
Tensión máxima de circuito abierto.	80 V DC
Amperaje mínimo.	3 A
Amperaje máximo.	310 A
Salida de soldadura.	CC
Dimensiones:	

Fuente: (Electric, s.f.).

La marca Miller, es muy reconocida a nivel mundial por ser equipos muy eficientes y por tener una gran trayectoria en el mundo de la soldadura, estos equipos poseen una gran variedad de insumos y repuestos para satisfacer cualquier necesidad.

Este tipo de maquinaria es utilizada en diferentes campos de la industria tal puede ser en tareas de hogar como también en aplicaciones de la industria a gran escala esto puede ser en el campo automotriz, construcción de puentes, estructuras, embarcaciones y muchos más, esto es posible gracias a la unión de diferentes procesos en un solo equipo.

3.2.3.2 ACCESORIOS

Antes de adquirir un equipo de soldadura o una soldadura multiproceso, el comprador debe cerciorarse de los accesorios que vienen incluidos en la compra.

En el equipo Miller Syncrowave 250 que existe en los talleres de la Universidad Técnica Del Norte cuenta con todos los accesorios para poder utilizar con normalidad los dos procesos que esta máquina nos brinda estos procesos son SMAW Y GMAW, para soldar con el proceso TIG se utiliza los que detallamos en el siguiente cuadro.

Tabla 16 Elementos Miller Syncrowav 250 proceso soldadura TIG
ELEMENTOS DE PROCESO TIG

1. Fuente de poder o máquina de soldar.	
2. Antorcha y mordaza de masa.	
3. Electrodo de tungsteno.	
4. Cilindro de gas protector.	
5. Regulador de presión de gas	

3.2.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS.

3.2.4.1 PROBETA DE TENSIÓN.

Para el dimensionamiento de las probetas nos basaremos en especificaciones plasmados en los códigos AWS D 1.1, AWS D 1.3, y tomaremos muy en cuenta las medidas que se

especifica en la norma ISO 6892-1:2009, esta norma abarca especificaciones de probetas utilizadas en el campo automotriz.

Nomenclatura de las probetas especificamos en los siguientes gráficos.

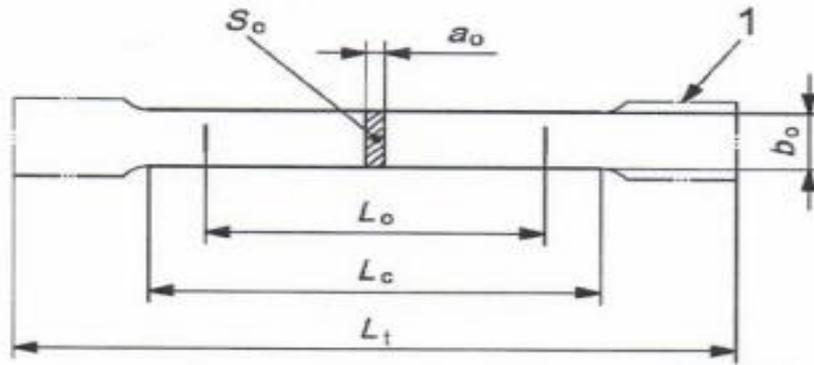


Figura 20 Simbología de medidas

Simbología:

a_o = espesor de pared inicial de un tubo

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

b_o = anchura media inicial de una banda

1 = cabezas de amarre

longitud

L_c = longitud de la parte calibrada

L_o = longitud inicial entre puntos

L_t = longitud total de la probeta

Para nuestra investigación vamos a utilizar las medidas especificadas en la siguiente tabla

Tabla 17 Medidas de probetas de tracción

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

Las medidas de la probeta tipo 2 son las más convenientes para realizar las pruebas de tracción de esta investigación, por lo tanto, las probetas tendrán medidas, que detallamos a continuación.

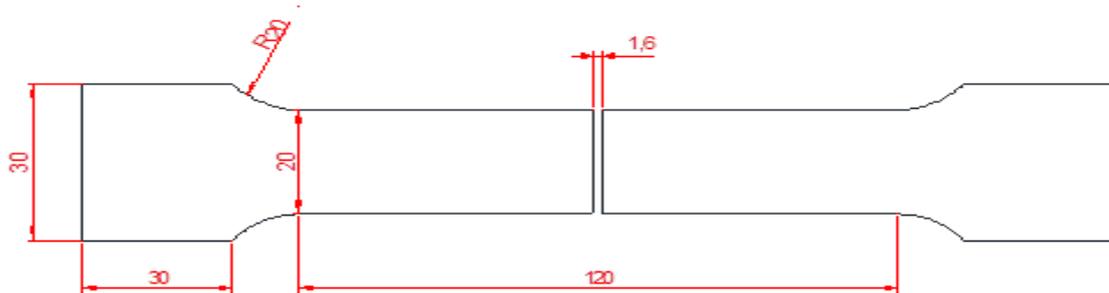


Figura 21 Dimensiones de probeta

3.2.4.2 CROQUIS PARA EL CORTE Y OBTENCIÓN DE PROBETAS.

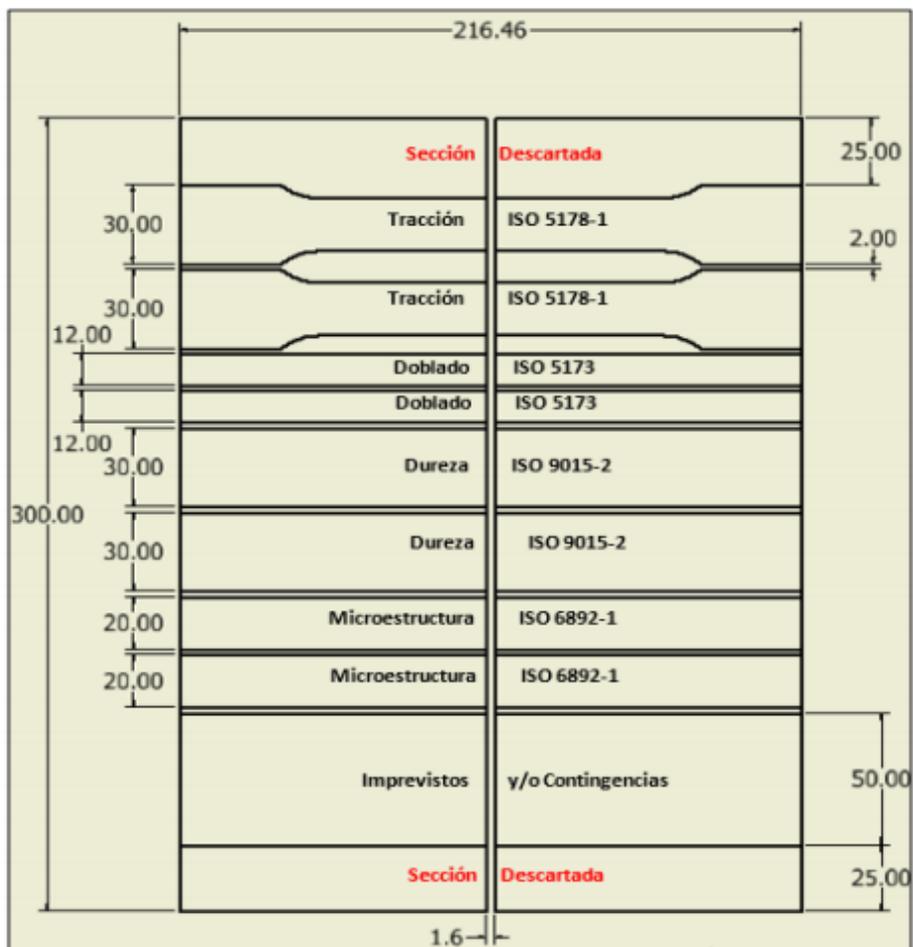


Figura 22 Croquis de corte

3.2.4.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CORDONES EN LAS PLACAS.

El procedimiento para empezar a soldar un material ya lo explicamos anteriormente en el capítulo tres específicamente en el literal 3.3.2, que explica la preparación de la máquina y el material a soldar.

En esta ocasión utilizaremos la posición de soldadura a tope en la posición 3G, esta posición es de forma vertical descendente los hacemos así para lograr una buena penetración, una distribución uniforme del cordón y de la temperatura en las placas soldadas.

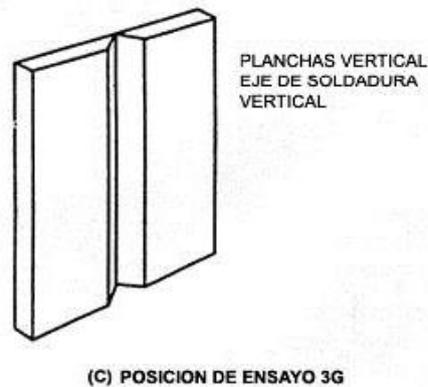


Figura 23 Posición de soldadura 3G, tabla D 1.1

3.2.4.4 INSPECCIÓN VISUAL.

Después de realizar los cordones y cortar las probetas de las medidas acordadas, la inspección visual es muy importante en este procedimiento verificaremos los siguientes aspectos detallado en la norma AWS- D 1.1.

- 1.- La soldadura debe estar libre de grietas.
- 2.- Los cráteres deben estar llenos completamente en la sección transversal de la soldadura.

- 3.- La raíz de la soldadura debe ser inspeccionada y no debe tener evidencia de grietas o fusión incompleta. (ANSI/AWS D 1.1 soldadura, 2000)

3.3 METODOS.

En el siguiente punto de nuestro proyecto explicamos los pasos necesarios que se debe tener en cuenta para realizar un proceso de soldadura.

3.3.1 PASOS PARA EFECTUAR LA SOLDADURA SMAW.

Existen diferentes pasos para efectuar una buena soldadura, y también aspectos que se debe tener en cuenta para realizar un excelente trabajo, uno de estos es determinar el tipo de material y espesor a soldar. También es fundamental escoger correctamente el diámetro y tipo del electrodo.

Los pasos principales para empezar aplicar soldadura SMAW son:

3.3.1.1 INSPECCIÓN VISUAL.

- Verificar que la parte a soldar este limpia, libre de óxido, aceite y agua.
- El material a soldar debe estar alineado y nivelado.
- El material debe estar previamente punteado, no debe existir poros y grietas, si presenta uno de estos defectos se debe esmerilar y retirar el punto (Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A).

3.3.1.2 CEBADO DEL ARCO.

Para empezar a soldar es necesario realizar el cebado del arco que consiste en topar el electrodo contra el material a soldar, existe dos formas muy comunes las cuales son:

Por golpe: se golpea el electrodo con la pieza a soldar y se levanta el electrodo creando el arco de soldadura (Demaquinasyherramientas.com, 2018).

Por raspado: este proceso es muy sencillo se topa el electrodo al material a soldar como si fuera un fosforo con una leve inclinación (Demaquinasyherramientas.com, 2018).

Después de realizar este proceso se debe mantener un arco uniforme para una buena soldadura.

3.3.1.3 REALIZACIÓN DE CORDÓN

Para empezar el cordón se debe realizar el cebado directamente en las partes a soldar, justo en la unión de los materiales, cuando empiece el arco se debe mantener una separación entre las partes a soldar y el electrodo, esta distancia debe ser aproximadamente del diámetro del electrodo.

La formación del cordón dependerá del tipo de suelda que se está realizando, esto puede ser recto u oscilatorio, el largo del cordón depende del tiempo en que se demore el soldador en consumir el electrodo.

3.3.1.1 CONTINUACIÓN DEL ARCO

Para continuar con el cordón debemos tomar en cuenta el corte del arco, se debe revisar porosidad y grietas en el cráter, el final del cordón debe estar libre de escoria, se debe pasar un cepillo de alambre para eliminar cualquier residuo de escoria, se reemplaza el electrodo, se vuelve a realizar el proceso de cebado de arco y se realiza el mismo procedimiento las veces que sea necesario.

Con los pasos detallados se puede realizar trabajos de buena calidad y muy confiables, también cabe recalcar que la experiencia del soldador debe ser muy buena tanto para la aplicación de electrodos como manejo de los equipos de soldar sin importar la marca y características de las mismas.

3.3.1.2 CAMBIO DEL ELECTRODO

No se debe cortar el arco de forma brusca ya que puede presentar grietas y fisuras en el cráter del cordón, existen tres formas adecuadas de interrupción del arco.

- Acortar el arco de forma rápida y luego desplazar el electrodo lateralmente fuera del cráter, esto se aplica cuando se va a hacer el cambio de electrodo.

- Detener el movimiento del avance y permitir el llenado del cráter luego retirar el electrodo.
- Dar al electrodo una inclinación contraria a la que se llevaba y retroceder de 10 a 12 mm sobre el mismo cordón, de esta forma se rellena el cráter (Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A).

3.3.2 COMO SOLDAR CON EL PROCESO MIG/MAG.

Este es uno de los procesos más fáciles de aprender, prácticamente no se necesita de una experiencia avanzada para la aplicación, la gran ventaja del proceso MIG/MAG, es que se lo puede utilizar con una sola mano solo es necesario apretar el gatillo de la pistola y comenzar a soldar.

Para realizar una buena suelda se debe tener una separación constante entre el alambre y la pieza a soldar, con la experiencia en este proceso el sonido de la suelda es indispensable para desarrollar un buen arco.

La calibración de la suelda dependerá del espesor del material a soldar, se deberá calibrar la velocidad de salida del alambre conjuntamente con la variación del voltaje.

Es indispensable la familiarización de todos los componentes que tenga la maquinaria y tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Tensión:** se determina en voltios se regula de la fuente de energía, a mayor longitud del arco, mayor será la tensión.
- **Velocidad de alimentación:** se relaciona con la intensidad, mientras mayor es la velocidad mayor es la intensidad.
- **Longitud libre del alambre o “stick – out”:** distancia del tubo de contacto hasta el extremo del alambre.
- **Velocidad de desplazamiento:** los parámetros son constantes, si la velocidad de desplazamiento es menor mayor será la penetración, pero la pistola se puede sobrecalentar. Si la velocidad es muy rápida el cordón será irregular.

- **Polaridad:** en este proceso la mayor parte se utiliza polaridad inversa la cual produce un arco estable.
- **Ángulo de inclinación de la pistola:** para una buena penetración se recomienda el desplazamiento de la antorcha hacia atrás, con un ángulo de 25°.
- **Gas de protección:** se determina de acuerdo a la aplicación de la soldadura.

El control de estos parámetros es fundamental para obtener soldaduras de buena calidad, la variación de cada una de estas afecta directamente a cada parámetro.

Para empezar a soldar con el proceso MIG-MAG se puede repetir pasos ya aprendidos en el proceso SMAW como los siguientes:

3.3.2.1 INSPECCIÓN VISUAL

Para empezar un procedimiento de soldadura, el soldador debe verificar el estado de las partes a soldar, estas deben estar libres de grasa, óxido, agua o restos de pintura, si las partes presentan alguno de estos elementos se debe limpiar antes de empezar el procedimiento.

3.3.2.2 CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA

Para poder calibrar la máquina el soldador debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de material
- Espesor de material
- Tipo de junta

La calibración consta de la variación de amperaje, velocidad de salida del alambre y presión de salida del gas protector.

Amperaje máximo (A)	90	110	130	150	180
Espesor máximo de acero (soldadura a tope)	2 mm	2,5 mm	3 mm	4 mm	5 mm
Espesor máximo de acero (soldadura doble V con talones y abertura en la raíz)	3 mm	3,8 mm	4,5 mm	6 mm	7,5 mm

Tabla 18 Amperajes según espesor

3.3.2.3 COMIENZO DEL CORDÓN

Una vez calibrada la máquina empezamos el cordón, esto se lo realiza dando un gatillazo contra las partes a soldar, cortamos el arco soltando el gatillo y nuevamente apretamos para empezar el arco, debemos mantener el desplazamiento de la pistola a una velocidad constante para mantener un cordón uniforme y con una buena penetración.

3.3.2.4 FIN DEL CORDÓN

Para termina el cordón solamente se deja de presionar el gatillo, donde termina la unión de las piezas que se está soldando.

El proceso MIG/MAG es de gran versatilidad, se los puede aplicar para soldar diferentes materiales y de diferentes espesores, para esto dependerá de la potencia de la maquinaria usada, de tipo de gas y del tipo de alambre que se aplicará. Los resultados de una buena soldadura dependerán de la aplicación correcta de los pasos detallados y de la experiencia que tenga el soldador.

3.3.3 COMO SOLDAR CON EL PROCESO TIG.

Para el comienzo de la soldadura con el proceso TIG, es muy importante estar bien protegidos por los equipos de seguridad personal, la ropa adecuada debe ser gruesa ya que en este proceso la irradiación de calor es muy fuerte, la utilización de guantes y mandil de cuero son indispensables.

Después de recalcar la importancia de la protección sigamos con los siguientes pasos.

3.3.3.1 INSPECCIÓN VISUAL Y LIMPIEZA

Como en todos los procesos el aseo de las partes a soldar es muy importante, esto mejora la calidad de suelda.

- La limpieza para aceros al carbón debe realizarse utilizando una amoladora, con esta se lo pule hasta que el metal este expuesto y brillante.
- Para aluminio es recomendable utilizar un cepillo de alambre, este cepillo puede ser de acero inoxidable.
- Para acero inoxidable solo se limpia la superficie con un trapo o un poco de disolvente.

3.3.3.2 CALIBRACIÓN DE LA MAQUINA.

La calibración de la maquinaria sea cual sea el proceso a utilizar es lo más importante, de esto dependerá la calidad de soldadura a realizar.

Para el proceso TIG, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Sacar filo la punta del electrodo.
- Seleccionar la corriente adecuada AC/DC.
- Ajustar el amperaje, esto se determina al espesor de material a soldar.
- Regular la presión de salida de gas de protección.

3.3.3.3 COMIENZO DEL CORDÓN.

- Verificar que las partes a soldar estén limpias.
- Unir las partes a soldar y sujetar con prensas o pinzas de presión.
- Colocar la masa.
- Mantener la pistola a 75° con el electrodo elevado.
- Puntear los materiales al comienzo y al final de las partes a soldar.
- Realizar el cordón con la técnica de movimiento más adecuada.

3.3.3.4 FINAL DEL CORDÓN.

Para finalizar el cordón simplemente se levanta el electrodo para cortar el circuito.

3.3.4 CORTE CON PLASMA.

El proceso es muy fácil de aplicar, es rápido, preciso y puede aplicar a diferentes espesores y materiales.

3.3.4.1 INSPECCIÓN VISUAL Y LIMPIEZA.

El material a cortar debe estar libre de óxido y grasas, si no es así limpiar con un cepillo y utilizar diluyente.

3.3.4.2 CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA.

La calibración de la maquinaria la determinamos por el espesor del material, en el cual se regula los siguientes puntos.

- Amperaje.
- Presión de aire.

3.3.4.3 COMIENZO DEL CORTE.

Es importante que los cortes con plasma se los realice en un lugar ventilado, ya que la emanación de gases es muy alta.

Si el corte es recto es recomendable utilizar una regleta y las ruedas guías que se incorpora en la antorcha.

Una vez fijado la guía solo es necesario apretar el gatillo y deslizar a una velocidad constante para realizar un corte perfecto.

3.3.4.4 FINAL DE CORTE.

Al terminar el corte suelte el gatillo de la pistola y retire.

4 CAPÍTULO IV

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.1 PRUEBAS REALIZADAS A DIFERENTE AMPERAJE.

Para estas pruebas se utilizó 3 placas metálicas, donde realizo 3 cordones de soldadura a un amperaje alto, bajo y al amperaje ideal para el material seleccionado, 2 placas son de acero ASTM A36 (Asociación Americana de Ensayos de Materiales), en la cuales aplicaremos los procesos MIG- MAG y SMAW, y una placa de acero inoxidable AISI 304 (Instituto Americano del Hierro y Acero), en esta placa se soldó con el proceso TIG.

Las tres placas tienen las mismas dimensiones (100*150*3mm).

Se utilizó acero A36 por ser uno de los aceros estructurales más utilizados su contenido de carbono es de un máximo de 0.29%, se considera acero suave, con una buena soldabilidad, es laminado en caliente y viene en muchas presentaciones como en ángulos, tubos, placas, vigas y canal U (Grados, 2020).

El acero inoxidable AISI 304 es un acero austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono resiste a la corrosión hasta los 300°C, es resistente a la corrosión por vapores, agua y ácidos, se lo utiliza en la industria alimenticia, cervecera, azucarera así también en la fabricación de utensilios de cocina y en la industria farmacéutica (aceros, 2016).

4.1.2 OBSERVACIONES GENERALES DE LOS PROCESOS UTILIZADOS.

En la variación de amperaje en cual quiera que sea el proceso utilizado, será muy notable la calidad de acabado.

- **Amperaje alto:** Cuando existe un amperaje demasiado alto el cordón no tendrá relieve, esto sucede porque la excesiva penetración no lo permite, con un alto

amperaje tenemos la probabilidad que la suelda perfora el material si este es muy delgado.

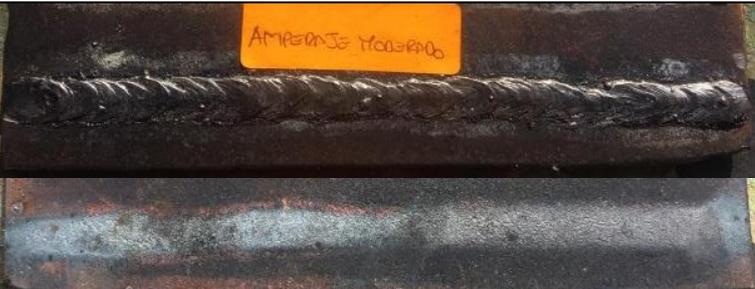
- **Amperaje bajo:** con un bajo amperaje los principales problemas que se presentaran son, mal acabado, relieve de cordón alto, chisporroteo excesivo, mala fundición de las partes soldadas.
- **Amperaje adecuado:** un soldador con suficiente experiencia determina su amperaje de acuerdo a las condiciones a soldar por lo tanto el cordón será preciso, con una buena penetración y un excelente acabado.

4.1.3 PRUEBA REALIZADA CON EL PROCESO SMAW.

Esta prueba la realizamos con un electrodo AGA E 60-11 con la soldadora lincoln electric ac/dc 225/125.

Tabla 19 Pruebas SMAW

Resultados de la variación de amperajes

<p>ALTO</p> <p>160 Amp</p>		
<p>BAJO</p> <p>60 Amp</p>		
<p>ADECUADO</p> <p>120 Amp</p>		

4.1.4 PRUEBAS REALIZADAS CON EL PROCESO GMAW.

En las pruebas realizadas con el proceso MAG utilizamos un rollo de alambre continuo ER 70S-6 / ER 48S-6 de INDURA con la maquina Cebora Bravo 2525/M 590, el gas utilizado CO₂

Tabla 20 Pruebas GMAW
Resultados de la variación de amperajes

<p>ALTO</p> <p>160Amp</p>		
<p>BAJO</p> <p>83 Amp</p>		
<p>ADECUADO</p> <p>124Amp</p>		

4.1.5 PRUEBAS REALIZADAS CON EL PROCESO GTAW

Esta prueba se la realizo con material de aporte y un electrodo de tungsteno punta roja WT20 el gas protector es argón, con la maquina Miller Syncrowave 250.

Tabla 21 Pruebas Gtaw
Resultados de la variación de amperajes

<p>ALTO</p> <p>90Amp</p>		
<p>BAJO</p> <p>45 Amp</p>		
<p>ADECUADO</p> <p>65 Amp</p>		

4.1.6 ENSAYOS APLICADOS A LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

Después de realizar pruebas de soldeo con variación de amperaje en los 3 procesos, construiremos probetas para realizar ensayos mecánicos bajo la norma AWS D1.1 y AWS D1.3, con el fin de evaluar el proceso de soldadura al amperaje correcto según el espesor del material.

Es importante dentro de la industria realizar pruebas y ensayos destructivos y no destructivos en los materiales utilizados para la fabricación de cualquier producto dentro del campo de metal mecánica, estas pruebas determinan las propiedades mecánicas tanto del material como también de la soldadura y evalúa la calidad de las uniones por soldadura respecto a su diseño. Para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación vamos aclarar ciertos conceptos utilizados para el desarrollo de las pruebas de resistencia de los materiales.

4.1.6.1 ENSAYOS MECANICOS.

Son los encargados de realizar experimentos de deformando parcial o permanentemente del material, según el ensayo aplicado puede presentar marcas leves, o puede llegar a la rotura leve o total, los ensayos destructivos son los siguientes

- Ensayo de resistencia a la tensión
- Ensayo de resistencia al dobléz
- Ensayo de Nick-Break
- Ensayo de resistencia al impacto
- Ensayo de dureza.

4.1.6.2 NORMAS Y CODIGOS A UTILIZAR EN LA INVESTIGACION.

Para determinar las dimensiones de las probetas nos basamos en estándares aplicados a todo el campo de la soldadura, respetando cada uno de los códigos planteados por la AWS.

Los códigos en los que nos basamos son AWS D 1.1 el cual nos especifica el dimensionamiento de las probetas respecto al espesor del material, AWS D1.3 procedimientos para la ejecución de juntas soldadas.

En cuanto a las pruebas que se van a realiza nos basaremos en las normas ISO 5173. Ensayo de doblado o flexión guiado - ISO 5178-1. Ensayos de tracción.

4.1.6.3 NÚMERO DE MUESTRAS PARA LA FABRICACION DE PROBETAS.

De acuerdo a las tablas QW-451.1 existe un número mínimo de muestras para la fabricación de probetas, esto se determina de acuerdo al espesor del material a ser estudiado.

En nuestra investigación utilizaremos un material de 3 mm tipo A36, comparando entre la variación de amperaje en el proceso de soldadura MAG.

Tabla 22 Número de ensayos

Table QW-451.1 Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests							
Thickness T of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness T of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]		Maximum Thickness t of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{1}{16}$ (1.5)	T	$2T$	$2t$	2	...	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2T$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33T	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33T	1.33T when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	..	..

NOTES:

(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, and QW-404.32. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.

(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.

(3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, LLBW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or $2T$, or $2t$, whichever is applicable.

(4) see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm)

(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness T is $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and over.

(6) For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

La tabla QW-451.1 determina que para materiales entre 1.5 a 10 mm debemos hacer las siguientes pruebas.

• Tensión: 2		
• Doblado:	Doblado de cara: 2	Doblado de raíz: 2

Tabla 23 Número de muestras

Nota 5: Las pruebas de curvatura de cuatro lados pueden sustituirse por las pruebas de curvatura de la cara y la raíz requeridas, cuando el espesor T es de 10 mm (3/8 pulg.) o más.

4.1.7 DATOS OBTENIDOS.

En las pruebas realizadas en el LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES de la universidad POLITECNICA NACIONAL, se utilizó una

nomenclatura específica para la identificación de las 18 muestras, las cuales detallamos a continuación.

La máquina utilizada tiene una capacidad de 250 Amperios, la perilla de selección de amperaje tiene 6 divisiones las mismas que se interpretó de la siguiente manera.

$$250 / 6 = 41.6 \text{ amperios por numero}$$

- 1= 41.6 Amperios
- 2= 83.2 Amperios
- 3= 124.8 Amperios
- 4= 166.4 Amperios
- 5= 208 Amperios
- 6= 250 Amperios

Las muestras ensayadas corresponden a tres grupos, las primeras se las realizo a un amperaje bajo que es de 83.2 amperios respecto al espesor del material, el segundo grupo corresponde a la soldadura con un amperaje alto de 166.4 amperios y el tercer grupo se realizó la soldadura con el amperaje adecuado el cual es de 124.8 amperios para el material.

Para las pruebas realizadas se tomó en cuenta las condiciones ambientales.

Los ensayos se realizaron a una Temperatura promedio de 21.6 ± 1.3 °C y a una humedad relativa de 54.9 ± 4.2 %.

Tabla 24 Identificación de muestras

IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

GRUPO	ENSAYO	IDENTIFICACION LAEV
A(alto)	Doblado de cara	M21.101.05 – M21.101.06
A(alto)	Doblado de raíz	M21.101.07 – M21.101.08
A(alto)	Prueba de tracción	M21.101.15 – M21.101.16
B(bajo)	Doblado de cara	M21.101.01 – M21.007.02
B(bajo)	Doblado de raíz	M21.101.03 – M21.101.04
B(bajo)	Prueba de tracción	M21.101.13 – M21.101.14
C(correcto)	Doblado de cara	M21.101.09 – M21.101.10
C(correcto)	Doblado de raíz	M21.101.11 – M21.101.12
C(correcto)	Prueba de tracción	M21.101.17 – M21.101.18

4.1.7.1 PRUEBAS DE DOBLADO.

Los criterios de aceptación para la aprobación de las pruebas de doblado son las siguientes. La superficie convexa debe ser inspeccionada visualmente para verificar discontinuidades, para la aceptación no debe presentar discontinuidades que superen las siguientes medidas.

- Discontinuidad de soldadura que mida 3mm en cualquier dirección de la superficie.
- La suma de las discontinuidades que excedan en 1 mm pero que sean menores o igual a 3mm debe ser 10mm.
- Cuando la dimensión de la grieta en el borde sea de 6mm, esta grieta puede ser por discontinuidades por fusión, solo aprobará si tiene has 3mm (ANSI/AWS D 1.1 soldadura, 2000).

4.1.7.1.1 Resultado del ensayo de doblado del grupo A (alto amperaje).

Tabla 25 resultados alto amperaje.

Identificación.	Observaciones	Calificación.
M21.101.05	Se observa fractura total en el cordón de soldadura	No aprueba
M21.101.06	Se observa discontinuidades de 1.63 y 1.09 mm en el cordón de soldadura	Aprueba
M21.101.07	Se observa fractura total en el cordón de soldadura	No aprueba
M21.101.08	Se observa discontinuidades de 13.53 a 24.03 mm, en el cordón de soldadura	No aprueba

En esta prueba de alto amperaje el resultado de la soldadura puede variar por la experiencia del soldador, la velocidad con la que se realice el cordón es un aspecto fundamental para no dejar grietas o perforaciones por fundición excesiva del material, la posición de soldadura 3G también permite que el cordón fluya hacia debajo de la unión la cual hace que el material fundido gotee hacia el piso.

4.1.7.1.2 Resultado del ensayo de doblado del grupo B (bajo amperaje)

Tabla 26 Resultados bajo amperaje

Identificación.	Observaciones	Calificación.
M21.101.01	Se observa discontinuidad de 3.09 y 2.12 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.02	No se observa discontinuidad en el cordón de soldadura	Aprueba
M21.101.03	Se observa discontinuidad de 23.88 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.04	Se observa discontinuidad de 32.34 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba

Las discontinuidades por mala fusión son las que prevalecen en esta prueba, por ser una soldadura a tope con una separación de 1,3mm la fusión de las placas tienen discontinuidades bastante notorias la cual no permite la aprobación de esta prueba.

4.1.7.1.3 Resultado del ensayo de doblado del grupo C (amperaje correcto)

Tabla 27 Resultados amperaje correcto

Identificación.	Observaciones	Calificación.
M21.101.09	No se observa discontinuidad en el cordón de soldadura	Aprueba
M21.101.10	Se observa discontinuidad de 18.40 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.11	Se observa discontinuidad de 22.17 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.12	No se observa discontinuidad en el cordón de soldadura	Aprueba

Al soldar a un amperaje adecuado vemos que tenemos 2 probetas aprobadas una de doblado de cara y una de doblado de raíz, con esto corroboramos la importancia de una buena práctica de soldadura, tomando en cuenta el espesor del material, el diámetro del alambre del electrodo continuo y las especificaciones de amperaje de la máquina a utilizar.

4.1.7.2 PRUEBAS DE TRACCIÓN EN JUNTAS SOLDADAS.

Para realizar esta prueba es necesario tener la ficha técnica de la placa utilizada, como se describió anteriormente la placa que se utilizó es acero al carbono conocido como hierro negro la norma que describe a este material es ASTM A36, cuyas propiedades mecánicas son las siguientes: (SUMITEC, 2020).

- Esfuerzo a la fluencia mínima: 250MPa o 36300PSI
- Esfuerzo a la tensión: 400-550 MPa o (58000-79800 PSI)
- Elongación mínima en 50mm es del 23%
- Módulo de elasticidad: 200GPa o 29000 Ksi.

4.1.7.2.1 Pruebas de tracción a alto amperaje.

Tabla 28 Resultados de tracción alto amperaje

Identificación	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Observación
	mm		mm	lbf	N	ksi		MPa
M21.101.15	20.33	2.84	6275	27912	70.1	483.4	FMB
M21.101.16	20.31	2.92	6271	27897	68.2	470.4	FMB

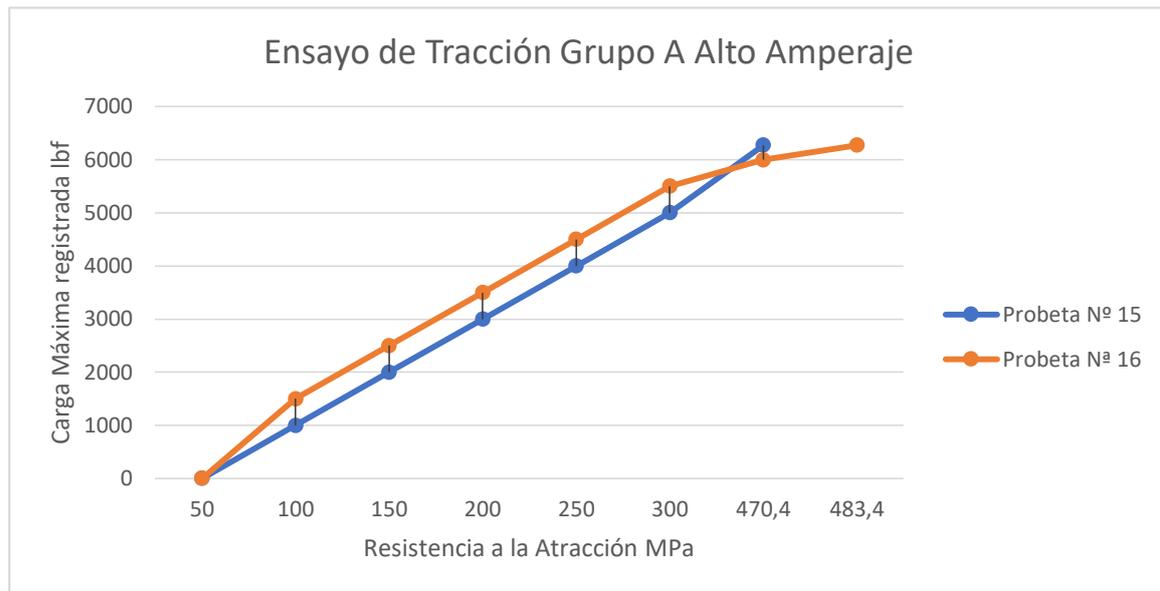


Figura 24 Tracción alto amperaje

El material a36 soporta un esfuerzo a tensión de 400 a 550 MPa, en esta prueba se cumple, ya que sufre fractura a los 470.4 y a los 483.4 MPa cumpliendo con un porcentaje del 85 y 87 % de esfuerzo a la tensión respectivamente, cabe recalcar que la fractura se presenta en el material base

4.1.7.2.2 Pruebas de tracción a bajo amperaje.

Tabla 29 Resultados de tracción bajo amperaje

Identificación	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Observación
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.101.13	20.35	2.93	6249	27799	67.6	466.2	FMB
M21.101.14	20.25	2.94	6273	27903	68.0	468.7	FMB

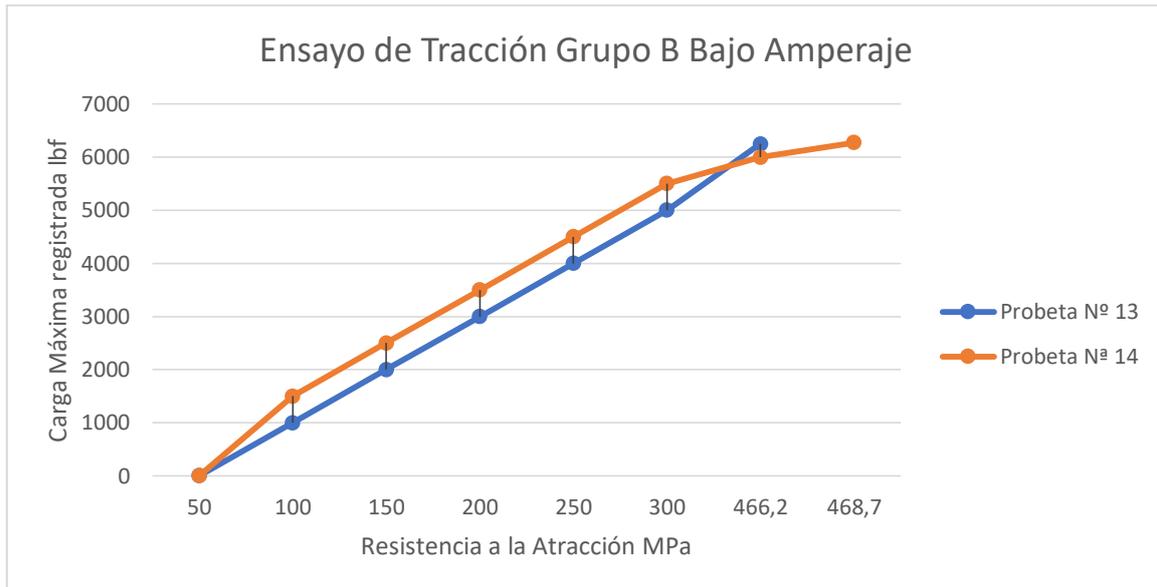


Figura 25 Tracción bajo amperaje

En el siguiente ensayo la fractura se presenta a un esfuerzo a la tensión de 466.2 MPa que equivale al 84.7 % y la otra a 468.7 MPa que es igual a un 85.2 %, la fractura se presenta en el material base

4.1.7.2.3 Pruebas de tracción a un amperaje correcto.

Tabla 30 Resultado tracción amperaje correcto

Identificación	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Observación
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.101.17	19.93	2.92	6146	27338	68.1	469.8	FMB
M21.101.18	20.31	2.93	6157	27338	66.8	460.2	FMB

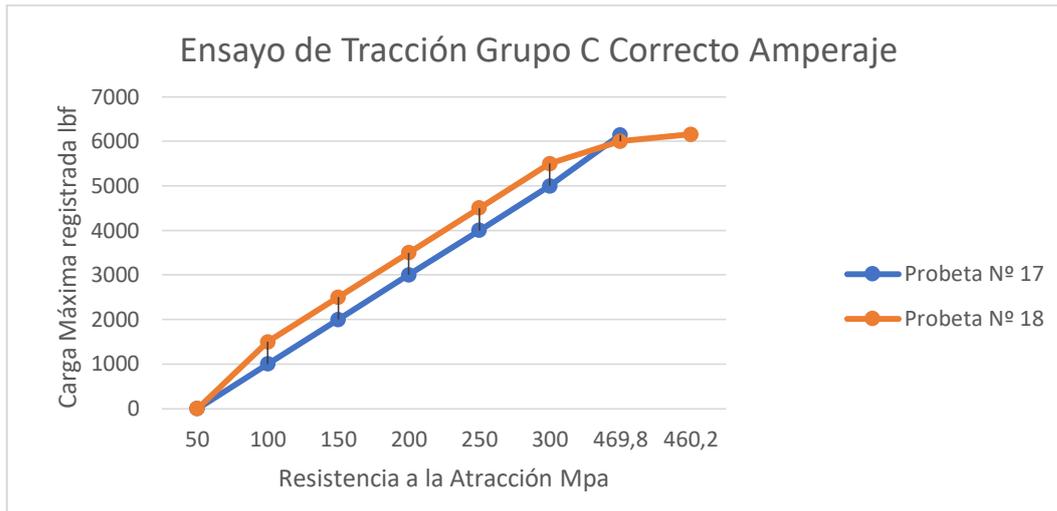


Figura 26 Tracción correcto amperaje

En esta última prueba la fractura se presenta a los 460.2 MPa o a un 83% y siguiente probeta a los 469.8 MPa o al 85.41 % de esfuerzo a la tensión.

Con estas pruebas podemos identificar que la soldadura realizada en las diferentes probetas no tuvo ninguna falla, en todas las variaciones de amperaje, es necesario destacar que la falla que presento es en la FMB (Falla en el material base).

Haciendo una comparación con los datos de la ficha técnica del material, tenemos valores de fractura que están dentro de los valores especificados en la tabla.

4.1.7.3 ESPECIFICACIONES GENERALES DE CORTADORA PLASMA A IMPLEMENTARSE AL LABORATORIO

La máquina de corte plasma a implementar es una cortadora de marca AMICO ELECTRIC DE 50 HF

Tabla 31 Relación de Amperaje y presión de aire

Corriente de corte (A)	Velocidad de corte (mm/min)	Presión de aire recomendado (psi)	Espesor de material (mm)
20-30	240	40-52	1.01 - 8.12
30-40	298.7	52-60	3.04 - 12.19
40-50	350.52	60-67	5.84 – 14.2
40-60	362.7	67-75	7.62 - 16

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- En conclusión, se determina que la variación de amperajes no afecta en la estructura del material soldado ya que la resistencia a la tracción del electrodo es similar al material utilizado.
- La variación de amperajes en cada caso se manifiesta de diferentes formas a bajo amperaje produce exceso de chispa y un perfil de cordón no homogéneo, a un amperaje alto se corre el riesgo de perforación por fundición y una soldadura sin perfil con aparición de cráteres en su cordón, y con el amperaje adecuado tenemos un cordón homogéneo en toda la unión a soldar
- La variación de amperajes en la aplicación de soldadura en chapas de un determinado espesor afecta directamente en la calidad de soldadura.
- Se concluyó que la experiencia del soldador es fundamental para la calidad de un proceso esto se debe que gracias a la experiencia la velocidad de avance de la soldadura puede variar según el amperaje ya sea bajo o alto.
- En estas pruebas se determinó que a mayor amperaje la soldadura presenta concavidad en la soldadura, perforaciones por fundición de material y grietas en la raíz, de las cuatro pruebas de doblado realizadas, tres presentaron grietas que sobrepasaron la medida de aprobación y en las pruebas de tracción se presentó falla en el material base.
- Las pruebas de bajo amperaje presentaron en los ensayos de doblado grietas por mala fundición de las cuatro pruebas realizadas tres no fueron aprobadas y en la prueba de tracción la falla también se dio en el material base.

- Los resultados fueron diferentes en la prueba de doblado con la aplicación de un amperaje correcto ya que de las cuatro pruebas realizadas se presentó falla en dos de ellas esto quiere decir que se cumplió con un 50 % de aprobación, en la prueba de tensión como en las otras se presentó falla en el material base.

5.2 RECOMENDACIONES.

- La capacitación permanente de un soldador debe ser continua, ya que cada día aparece nueva maquinaria para mejorar los procesos de soldadura.
- Realizar un estudio previo a la aplicación de cualquier proceso de soldadura, tomando en cuenta tipo de material y trabajo a realizar
- La importancia de que un trabajador calificado se desempeñe como tal es lo más conveniente para realizar un proceso, este personal tiene criterio y su experiencia ayuda a un buen desempeño de un trabajo asignado.
- Tener un buen conocimiento del funcionamiento de las soldaduras ayuda a que la aplicación de un proceso de soldadura sea mas eficiente y la calibración de la maquina sea más precisa al momento de realizar un trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- 1.- A3., A. (2001). *Norma de Términos y Definiciones de Soldadura*. Florida.
- aceros, D. p. (2016). *Eje AISI 304 inoxidable*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>
- 2.- ANSI/AWS D 1.1 soldadura, S. A. (2000). *Código para soldadura estructural- acero* .
- 3.- Bravo, L. (2012). *Manual de Soldadura y catalogo de productos*. lima: SOLDEXA.
- 4.- Cabrero Armijo, J. M., & Molino Casas, N. (2017). *Soldadura con alambre tubular*. IC.
- 5.- Casamia. (2012). Obtenido de <http://casamia.rideparos.com/corte-por-plasma/>
- 6.- Comité D1 de soldadura estructura de la AWS. (2016). *Código de soldadura estructural- acero*. Estados Unidos de america: AWS.
- 7.- Cursodesoldadura. (2017). Obtenido de <http://www.cursodesoldadura.info/blog/como-soldar-chapa-de-auto/>
- 8.- Demaquinasyherramientas. (2013). Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/corte-por-plasma-generalidades>
- 9.- Demaquinasyherramientas. (2014). Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/corte-por-plasma-mecanizado>
- 10.- Demaquinasyherramientas.com. (2018). Que es la soldadura SMAW. *Demaquinasyherramientas.com*. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>
- 11.- Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A. (s.f.). SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS. dtjrodriguez. (16 de Mayo de 2021). *Write and Engineer*. Obtenido de <https://wryen.com/2021/05/16/nomenclatura-y-clasificacion-aws-de-los-aportes-de-soldadura/>
- 12.- Electric, M. (s.f.). *Catalogo Miller*. Obtenido de www.millerwelds.com: <https://www.millerwelds.com/equipment/welders/tig-gtaw>
- 13.- Ferrepro. (2015). Obtenido de <http://ferrepro.mx/cordones-de-calidad-soldadura-gtaw/>
- 14.- Grados, M. M. (2020). *Acero ASTM A36, Acero A36 Propiedades, Ficha Tecnica, Dureza, Densidad Estructural PDF*. Obtenido de <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>
- 15.- INDURA. (lunes de enero de 2019). *Alambre MIG/MAG de INDURA*. Obtenido de <http://www.indura.com.ec/Descargar/Alambres%20MIG-MAG?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F2e6c177fa16e49dd91b33277fbad13e5.pdf>
- 16.- INDURA. (lunes de enero de 2019). *INDURA Grupo AIR PRODUCTS*. Obtenido de <http://www.indura.com.ec/web/ec/catalogo/2099>
- 17.- Ingemecanica. (20 de 10 de 2019). *ingemecanica.com*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>

- 18.-Ingemecanica. (19 de Febrero de 2019). *Ingemecánica*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn43.html>
- 19.- Jeffus, L. (2009). *Soldadura : principios y aplicaciones*. Madrid, España: Paraninfo.
- 20.- Lescam. (2011). Obtenido de <https://lescamgrupe.wordpress.com/mantenimiento-de-oleoductos-gaseoductos/>
- 21.- Maquinasyequipos. (2018). Obtenido de <https://maquinasyequipos.com.ar/reduccion-de-costos-en-soldadura-de-aluminio/>
- 22.- Marcos, C. A. (2017). *Soldadura TIG de acero carbono*. Paraninfo.
- mupets, s. (2 de 12 de 2017). Obtenido de <http://soldadura-mupes.blogspot.com/p/corte-oxigas-y-soldeo-con-electrodo.html>
- 23.- Oropeza, V. (2016). *Procesos de soldadura*.
- 24.- Puebla. (2014). Obtenido de <https://eaffpuebla12.blogspot.com/2014/06/sistemas-de-soldeo.html>
- 25.- Richard Rowe, L. J. (2008). *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*. Madrid, España: Paraninfo.
- 26.- Rowe, R., & Jeffus, L. (2008). *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*. Paraninfo.
- 27.- Royo. (2014). Obtenido de <https://talleres-royo.com/el-electrodo-revestido-para-soldadura/>
- 28.- Sicom. (2018). Obtenido de <http://sicom.guanajuato.gob.mx/2018/12/03/accelera-secretaria-de-infraestructura-construccion-de-puentes-blancos-en-salamanca/>
- 29.- SMP. (25 de Enero de 2012). Recuperado el 22 de Mayo de 2019, de <https://www.smp.es/electrodosdetungsteno>
- 30.- Soldadura, T. y. (15 de abril de 2019). *Tecnologías y soldadura*. Obtenido de <https://tecnologiasensoldadura.com.mx/la-importancia-del-ciclo-de-trabajo-de-los-equipos-para-soldar/#:~:text=El%20ciclo%20de%20trabajo%20hace,concepto%20es%20mediante%20un%20ejemplo.>
- 31.- Soldaduras. (2018). Obtenido de <https://soldaduras.online/tig/>
- 32.-Sparkweld. (2016). Obtenido de <https://sparkweld.wordpress.com/2016/06/13/soldadura-por-arco-con-alambre-y-proteccion-gaseosa/>
- 33.- Sparkweld. (01 de Agosto de 2017). *Codigos de soldadura: AWS- ASME*. Bogota, Colombia. Obtenido de <https://sparkweld.wordpress.com/2017/08/01/codigos-de-soldadura-aws-asme-api/>
- 34.- SparkWeld, S. (lunes de enero de 2019). *Soldaduras SparkWeld*. Obtenido de <https://sparkweld.wordpress.com/2016/06/13/soldadura-por-arco-con-alambre-y-proteccion-gaseosa/>
- 35.- SUMITEC. (2020). *Acero estructural ASTM A 36*.
- 36.- Tecnica, C. e. (2018). *Catalogo bravo Synergic. Catalogo bravo Synergic*, 8.
- 37.- Tukang. (2019). Obtenido de <https://hot.grid.id/read/181620846/7-fakta-tukang-las-bawah-air-bergaji-rp-177-juta-per-tahun?page=all>
- 38.- WikiHow. (s.f.). *WikiHow, como soldar con TIG*. Obtenido de <https://es.m.wikihow.com/soldar-con-TIG>

ANEXO 1

Pasos realizados para la construcción de las probetas a utilizar en los ensayos.

Paso 1 Trazado de placas según la medida 150*300



Paso 2 Corte de placas en este paso utilizamos la cortadora plasma



Paso 3 Limpieza de las placas



Paso 4 Punteado a tope con una abertura de 1.6mm entre placas.



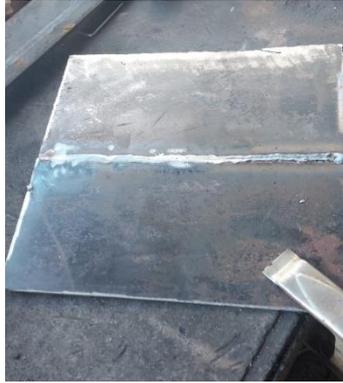
Paso 5 Comienzo de cordón.



Paso 6 Placa soldada



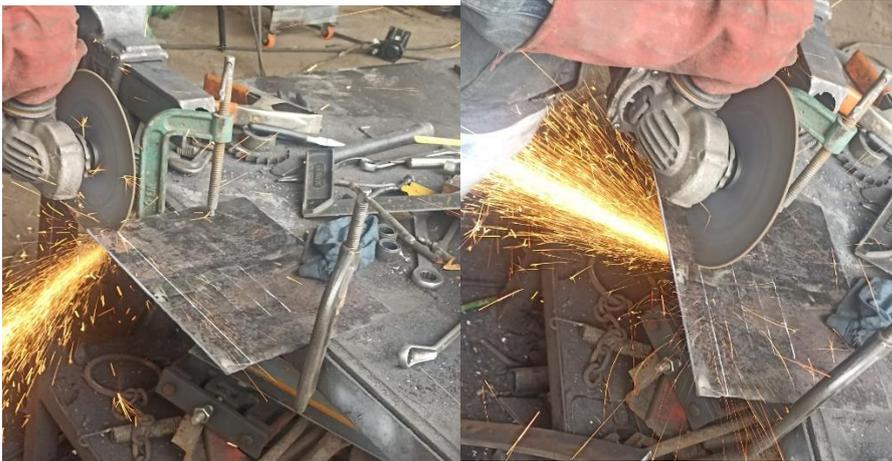
Paso 7 Esmerilado de cara y raíz en las placas soldadas.



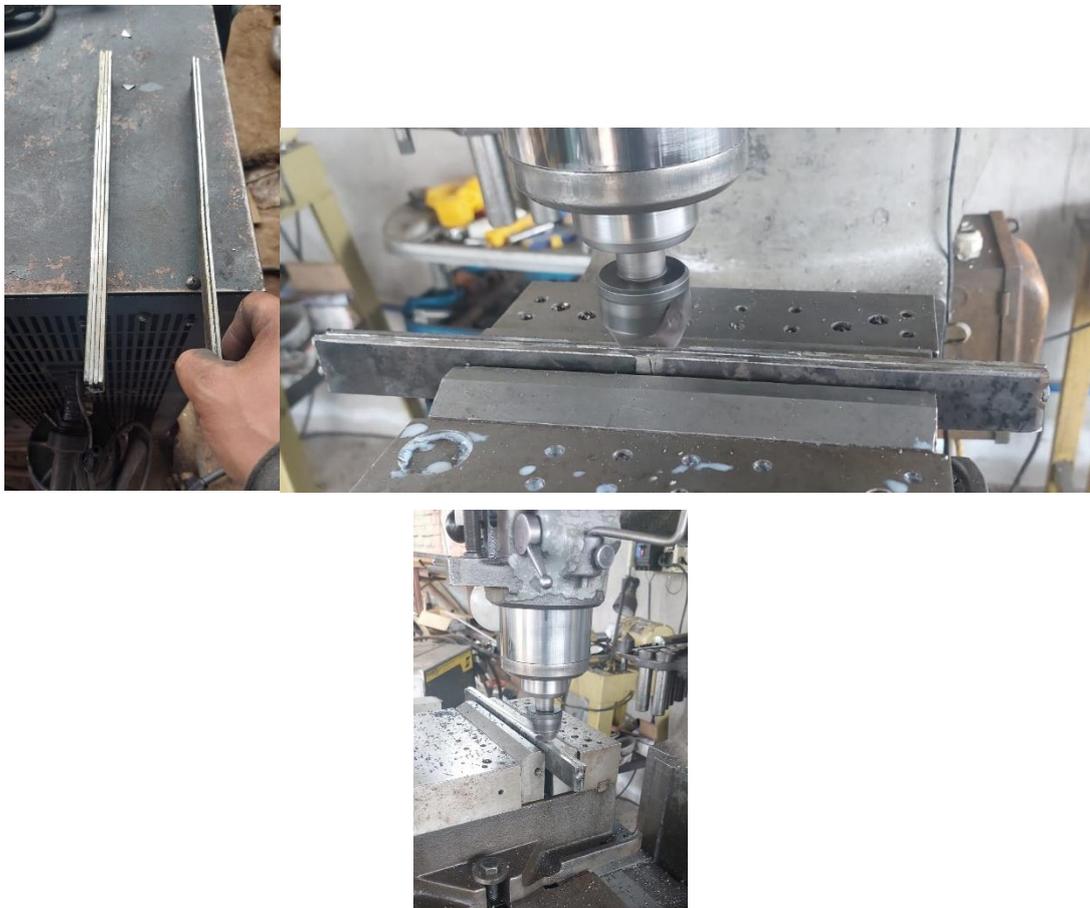
Paso 8 Trazado de muestras.



Paso 9 Corte de muestras.



Paso 10 Unificación de muestras y planeado en la fresadora de esta manera se da las medidas finales



Paso 11 Limpieza de muestras terminadas.



ANEXO 2

Informe del laboratorio de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

INFORME TÉCNICO

LAEV – M21.101

Quito, 17 de febrero de 2022

Solicitado por:	Ing. Ignacio Benavides
Persona de contacto:	Percybal Espín
Teléfono:	0980369898
Correo:	psespinp@utn.edu.ec
Fecha de recepción:	15/02/2022
Fecha de ejecución:	16/02/2022
ORDEN DE TRABAJO N°:	DM-OT0133-2021

1. **MUESTRAS:** Doce (12) probetas de junta soldada para ensayo de doblado y seis (6) probetas de junta soldada para ensayo de tracción.

2. **GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS:**

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: ESTUDIO COMPARATIVO DE PROCESOS DE SOLDADURA APLICADO AL CAMPO AUTOMOTRIZ

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas: Tabla 1. Identificación de las muestras.

Id. cliente	Ensayo	Id. LAEV
DC1-DC2-B	Doblado de cara – Grupo B (bajo)	M21.101.01- M22.007.02
DR1-DR2-B	Doblado de raíz – Grupo B (bajo)	M22.101.03- M22.101.04
DC1-DC2-A	Doblado de cara – Grupo A (alto)	M22.101.05- M22.101.06
DR1-DR2-A	Doblado de raíz – Grupo A (alto)	M22.101.07- M22.101.08
DC1-DC2-OK	Doblado de cara – Grupo C (correcto)	M22.101.09- M22.101.10
DR1-DR2-OK	Doblado de raíz – Grupo C (correcto)	M22.101.11- M22.101.12
T1-T2-B	Tracción Grupo B (bajo)	M22.007.01- M22.007.02
T1-T2-A	Tracción Grupo A (alto)	M22.007.01- M22.007.02
T1-T2-OK	Tracción Grupo C (correcto)	M22.007.01- M22.007.02

3. **CONDICIONES AMBIENTALES:**

Temperatura: $21,6 \pm 1,3$ °C

Humedad relativa: $54,9 \pm 4,2$ %

4. **ENSAYO DE DOBLADO**

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de doblado.

Tabla 2. Resultados del ensayo de doblado Grupo B

Identificación	Observaciones	Calificación
----------------	---------------	--------------

M21.101.01	Se observa discontinuidades de 3,09 y 2,12 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.02	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.	Aprueba
M21.101.03	Se observa una discontinuidad de 23,88 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.04	Se observa una discontinuidad de 32,34 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba

Tabla 3. Resultados del ensayo de doblado Grupo A

Identificación	Observaciones	Calificación
M21.101.05	Se observa fractura total del cordón de soldadura	No aprueba
M21.101.06	Se observa discontinuidades de 1,63 y 1,09 mm en el cordón de soldadura.	Aprueba
M21.101.07	Se observa fractura total del cordón de soldadura	No aprueba
M21.101.08	Se observa discontinuidades de 13,53 y 24,03 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba

Tabla 4. Resultados del ensayo de doblado Grupo C

Identificación	Observaciones	Calificación
M21.101.09	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.	Aprueba
M21.101.10	Se observa una discontinuidad de 18,40 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.11	Se observa una discontinuidad de 22,17 mm en el cordón de soldadura.	No aprueba
M21.101.12	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.	Aprueba

5. ENSAYO DE TRACCIÓN EN JUNTAS SOLDADAS

En las tablas 5,6 y 7 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 5. Ensayo de tracción Grupo B.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	Mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.101.13	20,35	2,93	6 249	27 799	67,6	466,2	FMB
M21.101.14	20,25	2,94	6 273	27 903	68,0	468,7	FMB

Tabla 6. Ensayo de tracción Grupo A.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.101.15	20,33	2,84	6 275	27 912	70,1	483,4	FMB
M21.101.16	20,31	2,92	6 271	27 897	68,2	470,4	FMB

Tabla 7. Ensayo de tracción Grupo C.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.101.17	19,93	2,92	6 146	27 338	68,1	469,8	FMB
M21.101.18	20,31	2,93	6 157	27 388	66,8	460,2	FMB

*FMB= Falla en el material base

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la

incertidumbre.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABRATORIO	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		