

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE EN LA SOLDABILIDAD DEL
ACERO ASTM A36 POR EL PROCESO TIG**

(Investigación tecnológica)

Tesis presentada por el:

Br. HENRRY PUMALLICA MOLINA

Para optar al Título Profesional de

INGENIERO METALÚRGICO

Asesor

ING. LEONARDO AVILÉS HINOJOSA

CUSCO –PERU

2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi padre, quien fue un gran ejemplo y mientras vivió fue el mejor padre que me pudo haber dado la vida, a mi madre BENEDICTA MOLINA SANCHEZ, la mujer trabajadora y luchadora con alma de guerrera, que es mi inspiración y mi ejemplo a seguir aparte quiero dedicar este trabajo a mis amigos y familiares, por acompañarme en todos los momentos y a todas aquellas personas que de una u otra forma han logrado contribuir en mi formación profesional y personal.

HENRRY PUMALLICA MOLINA.

AGRADECIMIENTO

Agradezco, a Dios por haberme permitido llegar a este punto tan importante de mi vida, también a mi familia por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado, por su consejo, amor y confianza en todo lo que he emprendido hasta el día de hoy, porque gracias a ese apoyo y a ese amor familiar cumplí mi sueño de ser profesional y porque con su esfuerzo y ejemplo diario han hecho de mí una mejor persona, aparte agradecer enormemente a todos mis compañeros de estudio, quienes durante estos años han sido parte importante de este proceso de formación, personas que más que compañeros se convirtieron en mis amigos y quienes sin esperar nada a cambio, compartieron, conocimiento, alegrías y tristezas durante estos años de vida universitaria.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica quienes dieron lo mejor de sí para compartir sus conocimientos, al Mgt. Ing Guillermo Barrios Ruiz e Ing. Leonardo Aviles Hinojosa, asesores de esta tesis, quienes siempre me orientaron en el desarrollo de este trabajo.

HENRY PUMALLICA MOLINA.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
SIMBOLOGIA	x
PRESENTACIÓN.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Situación Problemática.....	1
1.2. Formulación del Problema	1
1.2.1. Problema General	1
1.2.2. Problemas Específicos	1
1.3. Justificación.....	2
1.3.1. Justificación Tecnológica	2
1.3.2. Justificación Económica.....	2
1.3.3. Justificación Social	2
1.3.4. Justificación Ambiental.....	2
1.4. Objetivo	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. Hipótesis General.....	3
1.5.2. Hipótesis Específicas.	3
1.6. Variables I	4
1.6.1. Variables Independientes	4
1.6.2. Variable Dependiente.....	4
1.7. Metodología.....	6
1.7.1. Método de Análisis y Síntesis	6
1.7.2. Método de Deducción e Inducción	6

1.7.3.	Método Experimental.....	6
1.8.	Metodología.....	6
1.8.1.	Nivel o Tipo de Investigación	6
1.9.	Sistema de Estudio	7
1.9.1.	Universo	7
1.9.2.	Muestra.....	7
1.10.	Técnicas e Instrumentos de Toma de Datos	7
1.10.1.	Técnica	7
1.10.2.	Instrumentos	7
1.10.3.	Viabilidad	8
CAPITULO II.....		9
MARCO TEORICO.....		9
2.1.	Antecedentes de la Investigación.....	9
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	9
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	9
2.2.	Soldabilidad.....	10
2.2.1.	Propiedades Tecnológicas	10
2.2.2.	Aspectos de la Soldabilidad	10
2.2.3.	Factores que Influyen en la Soldabilidad	11
2.2.4.	Soldabilidad en los Materiales.....	11
2.3.	La Soldadura Por arco Eléctrico	11
2.3.1.	Clasificación de Procesos de Soldadura.....	12
2.3.2.	Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW).....	14
2.3.3.	Soldadura por Arco con Alambre y Protección Gaseosa (GMAW).....	15
2.3.4.	Soldadura por Arco con Alambre Tubular (FCAW)	15
2.3.5.	Soldadura Por Arco Sumergido (SAW).....	16
2.3.6.	Soldadura Por Plasma (PAW).	17
2.3.7.	Soldadura por Electroescoria (ESW).	18
2.3.8.	Soldadura Oxiacetilenica (OAW).....	19
2.3.9.	Soldadura de Espárrago (SW)	19
2.3.10.	Soldadura por Láser (LBW)	20
2.3.11.	Soldadura Por Haz de Electrones (EBW).	20

2.4.	Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa (GTAW -TIG).	20
2.5.	Electrodos de Tungsteno	39
2.5.1.	Codificación de los Electrodos	40
2.5.2.	Condiciones de Utilización	42
2.5.3.	Forma de los Electrodos.....	42
2.6.	Método Operatorio de la Soldadura TIG.....	44
2.6.1.	Preparación de Bordes.....	44
2.6.2.	Protección al Revés.....	45
2.6.3.	Disipación Térmica.....	45
2.7.	Método de Soldadura	46
2.7.1.	Puenteo.....	46
2.7.2.	Sostenimiento de la Antorcha.....	47
2.7.3.	Caudal de Gas.....	47
2.7.4.	Modo Operatorio.....	47
2.7.5.	Extinción del Arco	50
2.8.	Acero ASTM A36.....	50
2.8.1.	Aplicaciones del Acero ASTM A36.....	54
2.8.2.	Presentación de los Aceros ASTM A36.....	55
2.9.	Posiciones de Soldadura.....	61
2.10.	Flujo de Calor en Soldadura por Fusión.....	62
2.10.1.	Factores que Influyen en los Cambios de Temperatura Durante la Soldadura por Arco	63
2.10.2.	Ecuación del Máximo de Temperatura	65
2.10.3.	Cálculo del Ancho de la ZAT	66
2.10.4.	Velocidad de Enfriamiento.....	67
2.10.5.	Ecuación de la Velocidad de Enfriamiento para Chapas Gruesas y Delgadas.....	67
2.11.	Defectos Típicos en las Soldaduras.....	70
2.12.	Ensayos no Destructivos y Destructivos.....	78
2.12.1.	Ensayo no Destructivo	78
2.12.2.	Ensayos Destructivos	82
CAPÍTULO III.....		86
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....		86

3.1. Maquinaria y Equipos Utilizados en la Investigación	86
3.1.1. Máquina de Soldar	86
3.1.2. Durometro	87
3.1.3. Equipo de Ensayo de Doblado.....	88
3.2. Materiales para la Investigación	88
3.2.1. Material Base	89
3.2.2. Material de Aporte	89
3.3. Probetas de Ensayo	90
3.4. Soldabilidad de las Probetas	91
3.4.1. Condiciones de Soldabilidad	91
3.4.2. Fijación de los Parámetros Para la Soldadura de las Probetas.	92
3.5. Cálculos Realizados Después de la Soldadura	93
3.5.1. Cálculo del Calor Neto.....	93
3.5.2. Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor (ZAC).....	95
3.5.3. Cálculo de la Temperatura Máxima.....	96
3.5.4. Cálculo de la Velocidad de Enfriamiento	100
3.6. Control de Calidad del Depósito de Soldadura	102
3.6.1. Inspección Visual.....	102
3.6.2. Ensayo de Doblez	103
3.6.3. Prueba de Dureza	106
3.7. Discusión de Resultados.....	106
3.7.1. Inspección Visual.....	106
3.7.2. Resultados del ensayo de doblado.	106
3.7.3. Resultados de Ensayo de Dureza.....	107
3.7.4. Discusión.....	108
CONCLUSIONES	109
Bibliografía.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Soldabilidad en los Materiales</i>	11
Tabla 2 <i>Diametros típicos de Electroodos</i>	25
Tabla 3 <i>Características del soldeo de acuerdo con la corriente seleccionada</i>	26
Tabla 4 <i>Selección del tipo de corriente para soldadura TIG</i>	30
Tabla 13 <i>Composición química del acero A36</i>	89
Tabla 14 <i>Propiedades mecánicas del acero ASTM A36</i>	89
Tabla 15 <i>Composición química de ER70S-6 (TIGFIL St6)</i>	90
Tabla 16 <i>Propiedades mecánicas de ER70S-6 (TIGFIL St6)</i>	90
Tabla 17 <i>Condiciones de soldabilidad</i>	91
Tabla 18 <i>Variables de soldabilidad</i>	92
Tabla 20 <i>Ancho del ZAC</i>	96
Tabla 21 <i>Temperatura máxima de la ZAC.</i>	98
Tabla 22 <i>Cálculos realizados</i>	100
Tabla 23 <i>Temperatura máxima a un 25% del ancho de ZAC</i>	100
Tabla 24 <i>Resumen del cálculo de la velocidad de enfriamiento</i>	102
Tabla 25 <i>Resultados del examen visual</i>	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Clasificación de Procesos de Soldadura</i>	13
Figura 2 <i>Soldadura por arco con electrodo revestido (smaw)</i>	14
Figura 3 <i>Soldadura por arco con alambre y protección gaseosa</i>	15
Figura 4 <i>Soldadura por Arco con Alambre Tubular</i>	16
Figura 5 <i>Soldadura por arco sumergido</i>	17
Figura 6 <i>Soldadura por plasma</i>	17
Figura 7 <i>Soldadura por electroescoria</i>	18
Figura 8 <i>Soldadura oxiacetilenica</i>	19
Figura 9 <i>Soldadura por Arco con Electrodo Tugsteno</i>	21
Figura 10 <i>Instalación de soldadura TIG</i>	22
Figura 11 <i>Arco con Corriente Alterna</i>	29
Figura 12 <i>Corriente alterna con impulsos con alta frecuencia</i>	29
Figura 13 <i>Forma del cordón en función del gas de protección</i>	34
Figura 14 <i>Casos de funcionamiento de los electrodos</i>	43
Figura 15 <i>Cebado de arco</i>	48
Figura 16 <i>Perfil en L</i>	56
Figura 17 <i>Vigas H</i>	56
Figura 18 <i>Canal en U</i>	57
Figura 19 <i>Perfiles T</i>	58
Figura 20 <i>Barra redonda lisa y pulida</i>	58
Figura 21 <i>Pletina</i>	59
Figura 22 <i>Barra cuadrada</i>	59
Figura 23 <i>Barras hexagonales</i>	60
Figura 24 <i>Chapas de acero</i>	61
Figura 25 <i>Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWSA 3.0-8</i>	61
Figura 26 <i>Dispositivo (matriz) para doblado de probetas</i>	85
Figura 27 <i>Fuente de poder</i>	87
Figura 28 <i>Durómetro</i>	87
Figura 29 <i>Equipo de ensayo de doblado marca kamasa</i>	88
Figura 30 <i>Esquema de la junta</i>	91
Figura 31 <i>Soldando las probetas</i>	92
Figura 32 <i>Probetas soldadas</i>	93
Figura 33 <i>Zonas del depósito de soldadura</i>	95
Figura 34 <i>Posición de la probeta en el equipo de doblado</i>	104
Figura 35 <i>Deformación del espécimen, cordón de soldadura</i>	104
Figura 36 <i>Cara y raíz de una soldadura</i>	105
Figura 37 <i>Probeta puesta a prueba la dureza</i>	107

SIMBOLOGIA

AWS	American welding society
GMAW	Gas metal arc welding
ZAC	Zona afectada por el calor
MB	Metal base
DS	Depósito de soldadura
SMAW	Shielded metal arc welding
GMAW	Gas metal arc welding
GTAW	Gas tungsten arc welding
MIG	Metal inert gas
TIG	Tungsten inert gas
H	Calor de aporte (j/mm)
Hnet	Calor de aporte neto
V	Voltios
I	Intensidad de corriente (Amperios)
V	Velocidad de soldeo (mm/seg)
T	Espesor (mm)
<i>v</i>	Velocidad de la traslación de la fuente de calor (mm/seg)
<i>f</i>	Eficiencia térmica (%)
° C	Grados celcius
DCEP	Corriente continua, electrodo al polo positivo
DS	Depósito de soldadura.

MB	Metal base
HRB	Dureza Rockwell B.
Y	Ancho de la zona afectada térmicamente (mm)
T_{\max}	Temperatura máxima (°C)
T_0	Temperatura inicial del material (°C)
$T_{\text{fusión}}$	Temperatura de fusión (°C)
ρ	Densidad del material (g/mm ³)
C	Calor específico del metal solido (J/gr°)
K	Conductividad térmica del acero (J/mm-seg-°C)

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica. Señores Ingenieros miembros del Jurado dictaminador: Cumpliendo con el Reglamento de Grados y Títulos vigente de la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica y con el motivo de optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, presento el siguiente trabajo de tesis intitulada: **“INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A36 POR EL PROCESO TIG” (Investigación tecnológica)**. El presente trabajo es de carácter tecnológico que servirá en gran utilidad y aporte a la sociedad, profesionales y técnicos que se dedican a la aplicación e estudio de la soldabilidad del acero ASTM A36.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se ha evaluado la incidencia de la intensidad de corriente sobre la soldabilidad del acero ASTM A36 mediante el proceso de soldadura TIG (tungsten inert gas); para el cual se utilizaron. Las probetas que fueron soldadas a tope y con chaflán de 60°.

Después de la soldadura se realizaron las pruebas de inspección visual (identificación de discontinuidades), identificándose discontinuidades superficiales como falta de fusión, falta de penetración e inclusión de wolframio. También se realizaron ensayos de doblaje y de dureza.

Los resultados obtenidos indican la gran incidencia que tiene la intensidad de corriente en la obtención de cordones o uniones soldadas sin discontinuidades. Esto implica que es de suma importancia tomar en cuenta la intensidad de corriente.

Palabras clave: soldabilidad, intensidad de corriente, discontinuidades superficiales, fusión.

ABSTRACT

In the present research work, the incidence of current intensity on the weldability of ASTM A36 steel has been evaluated through the TIG (tungsten inert gas) welding process; for which they were used. The specimens that were butt welded and with a 60° chamfer.

After welding, visual inspection tests were carried out (identification of discontinuities), identifying surface discontinuities such as lack of fusion, lack of penetration and inclusion of tungsten. Bend and hardness tests were also performed.

The results obtained indicate the great incidence that current intensity has in obtaining cords or welded joints without discontinuities. This implies that it is very important to take into account the current intensity.

Keywords: weldability, current intensity, surface discontinuities, fusion.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación Problemática

El acero A 36 es un material considerado como un acero al carbono estructural, el mismo que se aprovecha al máximo en la industria de la construcción de estructuras (estructuras para edificios, puentes, plataformas petroleras, torres para electrificación, etc), este acero se rige bajo la norma ASTM A36. Este acero se usa en estructuras ya sean soldadas o atornilladas (Metinvesti, 2016).

Cuando estos aceros son utilizados en estructuras y soldados con el proceso TIG, no se toma en cuenta ciertas variables para obtener uniones de calidad, principalmente la intensidad de corriente, permitiendo la obtención de uniones con anomalías macroscópicamente defectuosas con discontinuidades por la falta de adhesión entre el metal depositado y el metal base, por una insuficiente penetración en el proceso del soldeo, lo que permite el colapsamiento de la estructura metálica. Formulación del Problema

1.1.1. Problema General

¿Cómo influye la intensidad de corriente en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG?

1.1.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cómo influye la intensidad de corriente eléctrica en el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG?

- b. ¿Cómo influye la polaridad de la corriente eléctrica en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG?
- c. ¿Cómo influye la velocidad de avance en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG?

1.2. Justificación

Se consideran las siguientes justificaciones:

1.2.1. Justificación Tecnológica

Se contribuye en el desarrollo de un nuevo conocimiento y tecnología en la soldabilidad del acero ASTM A36, lo que permitirá obtener uniones con mejor comportamiento en servicio.

1.2.2. Justificación Económica

Al conseguir uniones de buena calidad y buen comportamiento en servicio, se estará garantizando prolongar la vida útil de la unión soldada, consiguiendo ahorro económico, sobre todo, en los beneficiarios y usuarios de los procesos de soldadura por el método TIG.

1.2.3. Justificación Social

El conocimiento y desarrollo de nuevos procedimientos y métodos de soldabilidad del acero ASTM A36 permitirá la creación de recursos humanos con mejor calificación y viabilizando la oferta de profesionales y técnicos en el rubro de la soldadura.

1.2.4. Justificación Ambiental

El presente estudio contribuye a mejorar en el cuidado del medio ambiente, contribuyendo en la disminución de desechos del acero ASTM A36.

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la intensidad de corriente eléctrica en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar la magnitud de la corriente óptima para una soldabilidad metalúrgicamente óptima del acero ASTM A 36.
- b. Determinar la influencia de la polaridad de corriente en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG.
- c. Determinar la velocidad de avance en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

La intensidad de corriente influye en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG.

1.4.2. Hipótesis Específicas.

- a. La intensidad de corriente influye en la ZAC en la soldabilidad del acero ASTM
- b. La polaridad influye en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG.
- c. La velocidad de soldeo influye en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG.

1.5. Variables

1.5.1. Variables Independientes

- Intensidad de corriente
- Velocidad de soldeo
- Polaridad de corriente

1.5.2. Variable Dependiente

Soldabilidad del acero ASTM A36

1.5.3. Operacionalización de variables

La matriz de variables se presenta en la página siguiente:

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A36 POR EL PROCESO TIG”

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	INSTRUMENTO	
DEPENDIENTE	Soldabilidad del acero ASTM A36	La soldabilidad es la mayor o menor facilidad con la que un metal permite que se obtengan soldaduras homogéneas y de gran calidad, que respondan a las necesidades para las que fueron diseñadas en un proceso de manufactura metálica o de infraestructura. (Ferrepro 2017).	Se mide en función a la energía calorífica generada en el proceso en función de la energía eléctrica suministrada en el proceso de soldadura.	Cantidad de calor generada en el arco estimado como calor de aporte mínimo y máximo	Penetrabilidad	J/mm	- Termómetro digital infrarrojo. - Pie de rey.	
	INDEPENDIENTES	Intensidad de corriente	La intensidad de la corriente es el flujo de electrones que pasa por el arco eléctrico por unidad de tiempo.	La intensidad de la corriente se mide en Amperios mediante el instrumento denominado pinza amperimétrica...	-Amperaje mínimo. -Amperaje máximo	Baja y alta penetrabilidad	Amperio (Coulomb/s)	- Amperímetro digital en forma de pinza.
		Velocidad de soldeo	La velocidad de avance o de desplazamiento es la tasa de movimiento lineal del arco a lo largo de la junta a soldar. Con todas las otras condiciones constantes, la penetración de la soldadura es máxima con una velocidad de avance intermedia	La velocidad de soldeo se determina midiendo la longitud de cordón depositado en el material base por unidad de tiempo.	Dimensiones del cordón de soldadura en un período de tiempo.	Ancho del cordón de soldadura (delgado y grueso)	mm/s	- Pie de rey. - Cronómetro digital.
	Polaridad de corriente	Es la dirección del flujo de electrones en el circuito de soldadura con corriente continua normal entre la antorcha y el metal base.	La cantidad de corriente continua directa se determina en función a la polarización de cargas mediante el multítester.	- Polaridad directa o normal. - Polaridad invertida o indirecta.	Para polaridad directa, polo positivo en el metal base y negativo en la antorcha.	Coulomb	- Multítester digital. En modo diodo.	

Nota: Elaboración Propia

1.6. Metodología

Se utilizará los siguientes metodos:

1.6.1. Método de Análisis y Síntesis

Nos permite analizar los componentes involucrados (materiales de aporte y base) en la soldadura y las distintas variables que son necesarias estudiar para el proceso de soldadura TIG, así como las interrelaciones y a partir de este análisis obtener la síntesis para la soldabilidad del acero ASTM A36.

1.6.2. Método de Deducción e Inducción

Con el apoyo de éste método lógico lograremos entender el marco teórico para la formulación del perfil de la investigación; así como para deducir los aspectos relevantes para la validación de la hipótesis, obtención de las conclusiones y la formulación de las sugerencias.

1.6.3. Método Experimental

Por la naturaleza de la investigación y su carácter tecnológico, mediante este método, se obtendrá experimentalmente toda la data que debe ser sistematizada, analizada, procesada e interpretada para ayudar a lograr a establecer los objetivos y la discusión de resultados.

1.7. Metodología

1.7.1. Nivel o Tipo de Investigación

- a. Explorativo.** Se examinarán todos los elementos del trabajo y cada uno de los parámetros analíticos con el fin de crear hipótesis e identificar las variables de interés para la investigación.

- b. Descriptivo.** Este estudio se realiza explicando la cuestión en un escenario geográfico determinado; además, debido a la génesis y evolución del problema de investigación, esta investigación será la más adecuada para el problema de investigación.
- c. Correlacional.** El objetivo de este tipo de estudio es evaluar la hipótesis sometida a prueba para descubrir el grado de interacción o asociación no causal que existe entre dos o más variables.
- d. Explicativa.** La investigación consiste en dar cuenta de una faceta de la realidad y, al mismo tiempo, dilucidar su relevancia en el contexto de una teoría de referencia que se esfuerza por explicar los hechos mediante la identificación de vínculos de causa y efecto.

1.8. Sistema de Estudio

1.8.1. Universo

Los Aceros estructurales ASTM-A36

1.8.2. Muestra

Se usaran cinco probetas de Acero ASTM A36

1.9. Técnicas e Instrumentos de Toma de Datos

1.9.1. Técnica

Esta tarea de investigación se completará utilizando un método de observación directa.

1.9.2. Instrumentos

Durante el trabajo, deben utilizarse los siguientes instrumentos: una máquina de soldadura por arco eléctrico, un equipo de prueba de flexión y un termómetro digital.

1.9.3. Viabilidad

El estudio actual es práctico, ya que todos los componentes esenciales están a mano (máquina de soldar y sus accesorios, materiales: muestras/probetas necesarias para la experimentación, instrumentos para el control de calidad).

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Mediante una búsqueda de información de trabajos con respecto al proyecto de investigación, se encontró el siguiente trabajo. “Estudio de la soldabilidad de uniones de acero estructural ASTM A36 con acero SAE 304 por el proceso TIG para la empresa INGEMAR. Pereira (2015) el trabajo realizado por Laura Montoya del estudio de la soldabilidad de uniones entre el acero estructural ASTM A36 con acero inoxidable SAE.ASI 304, las uniones de dichos materiales se harán mediante los Procesos los procesos de soldadura GTAW”. Este trabajo se enfocó a la realización de pruebas experimentales a partir de la metodología de investigación tecnológica. En dicho trabajo se encontró relevantes puntos que nos ayudó a proseguir con nuestro trabajo de investigación. El estudio que enfocaron fue encontrar parámetros de la soldadura TIG, tales como el calor de aporte, velocidad de soldeo, temperatura de enfriamiento.

2.1.2. *Antecedentes Nacionales*

“Estudio de la soldabilidad de la unión disimilar de un acero estructural ASTM A36 con una aleación de aluminio AA5052-H34” (Pontificia Universidad Católica Del Perú) Presentado por el bachiller Guillermo Alejandro Moreno Zavala Lima junio 2015 En el siguiente trabajo se llegó a encontrar la misma metodología de investigación tecnológica Tomando en cuenta la soldabilidad de ambos metales, y llegando a realizar la prueba Experimentales.

2.2. Soldabilidad

Es la propiedad tecnológica de los metales y sus aleaciones a realizar uniones aleadas, las cuales, por continuidad metálica características locales (metalúrgicas) y consecuencias globales permiten realizar uniones soldadas de característica químico físicas y mecánicas deseadas.

2.2.1. Propiedades Tecnológicas

- Maleabilidad
- Fusibilidad
- Templabilidad
- Colabilidad
- Forjadura
- Maquinabilidad.

2.2.2. Aspectos de la soldabilidad

- **Soldabilidad metalúrgica**

La capacidad de los metales para mantener la integridad estructural en la conexión soldada.

- **Soldabilidad operativa**

Funcionamiento de la soldadura, problemas técnicos y ejecución de juntas de soldadura mediante cualquier procedimiento de soldadura.

- **Soldabilidad constructiva**

Comportamiento de la contracción y dilatación de la estructura soldada , que pueden provocar riesgos de rotura , deformaciones , tensiones etc.

2.2.3. Factores que influyen en la soldabilidad

- Tipo de material base y su espesor
- Influencia de los elementos de aleación
- Tipo de junta y proceso de la soldadura
- Energía suministrada
- Temperatura de precalentamiento
- Velocidad de enfriamiento
- Secuencia de soldadura

2.2.4. Soldabilidad en los Materiales

En la tabla 1, se detallan la soldabilidad de los metales ferrosos y no ferrosos.

Tabla 1

Soldabilidad en los Materiales

Ferrosos	No ferrosos
<p>En este tipo de materiales, los aceros presentan una buena soldabilidad, misma que será proporcional a cuanto menor sea el porcentaje de carbono existente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estaño y plomo soldabilidad bastante buena • Zinc baja soldabilidad • Aluminio y manganeso: buena soldabilidad. • Cobre y sus aleaciones: buena soldabilidad • NIQUEL: excelente soldabilidad • Titanio y Zirconio: medianamente soldables.

2.3. La Soldadura por arco eléctrico

La soldadura por arco eléctrico es un proceso completamente metalúrgico que necesita la creación de calor a muy altas temperaturas y la utilización de plasma, el cuarto estado de la

materia, esto se lleva a cabo gracias al efecto termoiónico, que consiste en ionizar el aire, excitando a los átomos del medio que es el aire, volviéndolos conductores y por el calor desprendido por los niveles de energía que posee cada átomo en su estructura atómica, llega a notarse un desprendimiento de espectros que es la radiación en forma de la luz y los electrones sueltos tienden a ser acelerados en el campo y estos son dirigidos hacia donde carecen de electrones en la cual el campo electromagnético generado por el diferencial de potencial.

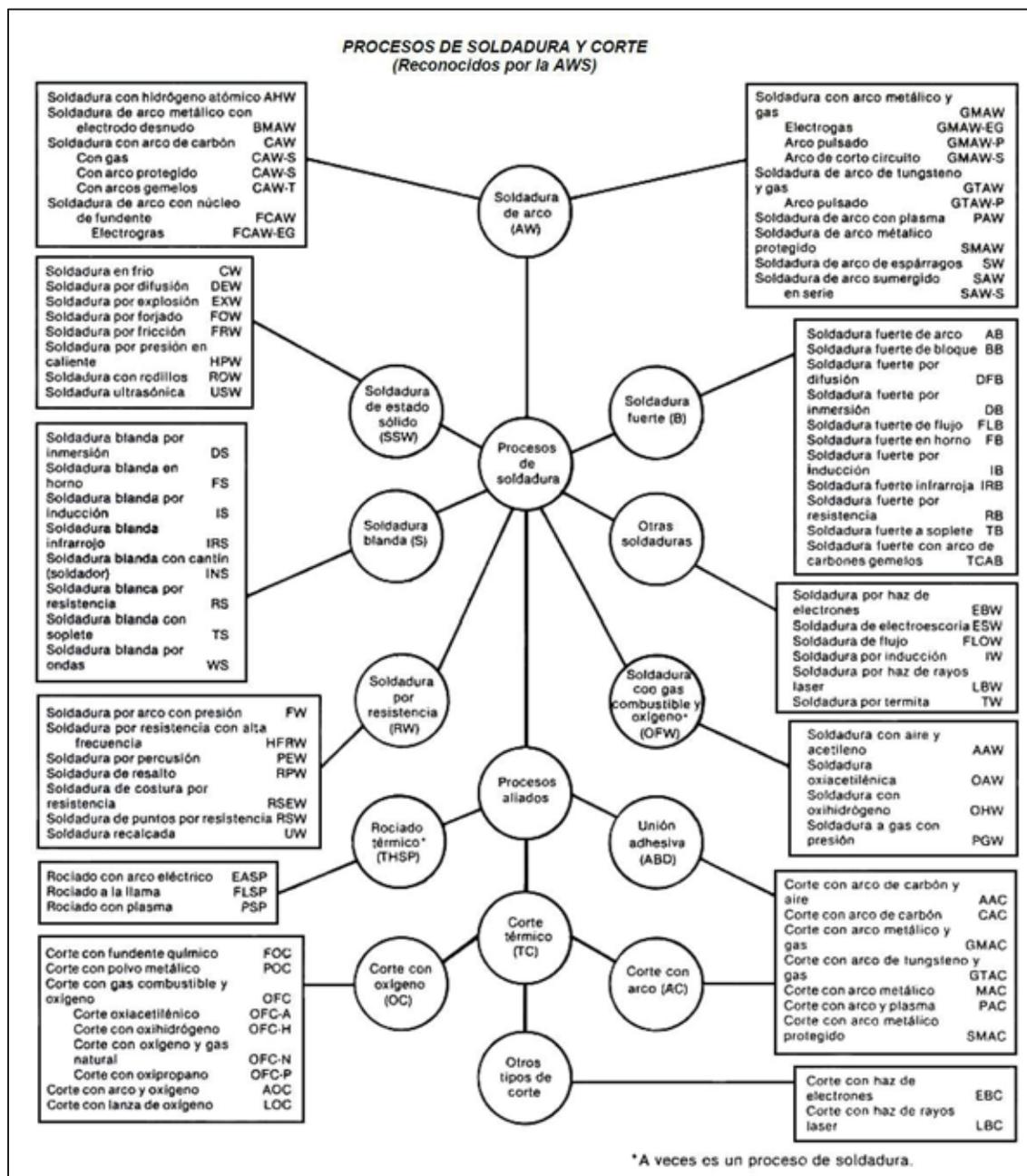
Donde la corriente eléctrica es una variante muy importante en el proceso de la soldadura por arco eléctrico.

2.3.1. Clasificación de Procesos de Soldadura

La figura 1, muestra una clasificación general de los procesos de soldadura.

Figura 1

Clasificación de Procesos de Soldadura



Nota: internet <http://m.soldadurayestructuras.com/procesos-de-soldadura-y-corte.html>

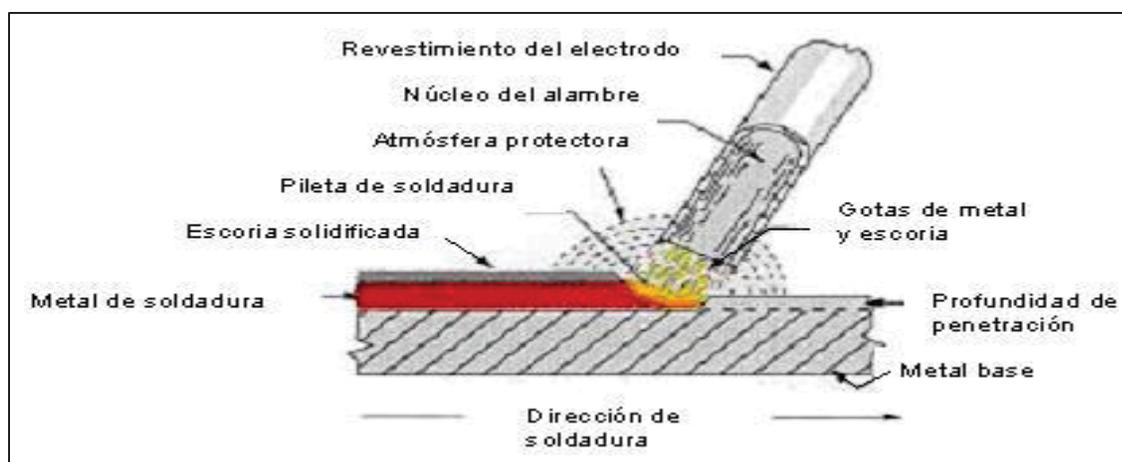
A continuación se describen algunos procesos de soldadura que tienen aplicación masiva.

2.3.2. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)

“En esta técnica, el metal se calienta mediante un arco eléctrico formado entre un electrodo metálico revestido y el metal al que está conectado. En la figura 2 se muestran los diferentes componentes del proceso de soldadura por arco eléctrico revestido. Este gráfico representa el arco formado por la corriente eléctrica entre el electrodo y la pieza. Este arco genera suficiente calor o energía para fundir el metal base, el metal de aportación y el revestimiento del electrodo. A medida que el arco de soldadura avanza hacia la derecha, deja una capa de flujo fluctuante, denominada escoria, sobre el metal de soldadura endurecido. Esta escoria tiende a flotar sobre el metal a medida que se solidifica después de que se solidifica el metal fundido, por lo que es menos probable que quede atrapada en el área de soldadura, lo que resulta en la inclusión de la escoria” (Bazán, 2002). Otra característica a tener en cuenta en la Figura 2 es la presencia de un gas de protección, que se produce cuando el revestimiento del electrodo se calienta.

Figura 2

Soldadura por arco con electrodo revestido (smaw).



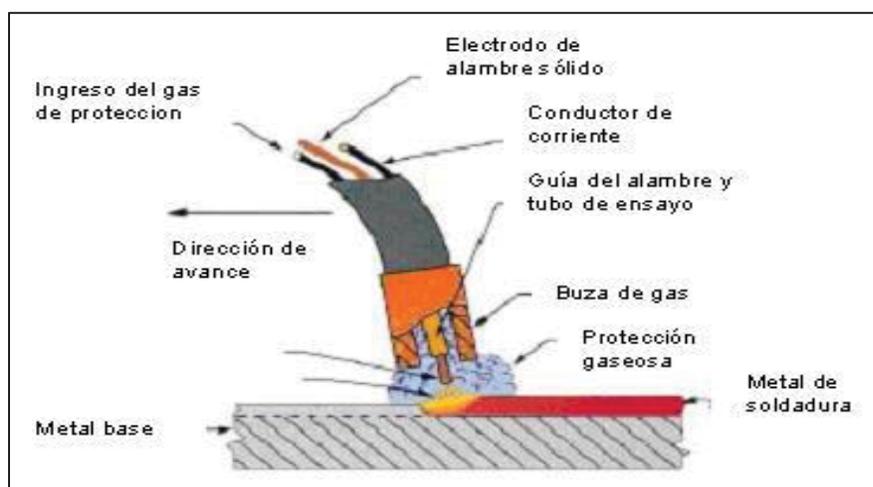
Nota: Instituto Asteco Venezuela

2.3.3. Soldadura por Arco con Alambre y Protección Gaseosa (GMAW)

Una ventaja importante de GMAW es que toda la protección para el proceso de soldadura la proporciona la atmósfera protectora que también proporciona la pistola de soldar desde una fuente externa, como se muestra en la Figura 3. “Los usos incluyen gases inertes (argón y helio) que pueden usarse solo, combinado o mezclado con otros gases reactivos como el oxígeno o el dióxido de carbono, es más económico en comparación con los gases inertes y reactivos. Los electrodos utilizados en este proceso son alambres sólidos suministrados en forma de carretes o bobinas de varios tamaños” (Esab, 2020).

Figura 3

Soldadura por arco con alambre y protección gaseosa



Nota: Instituto Asteco Venezuela

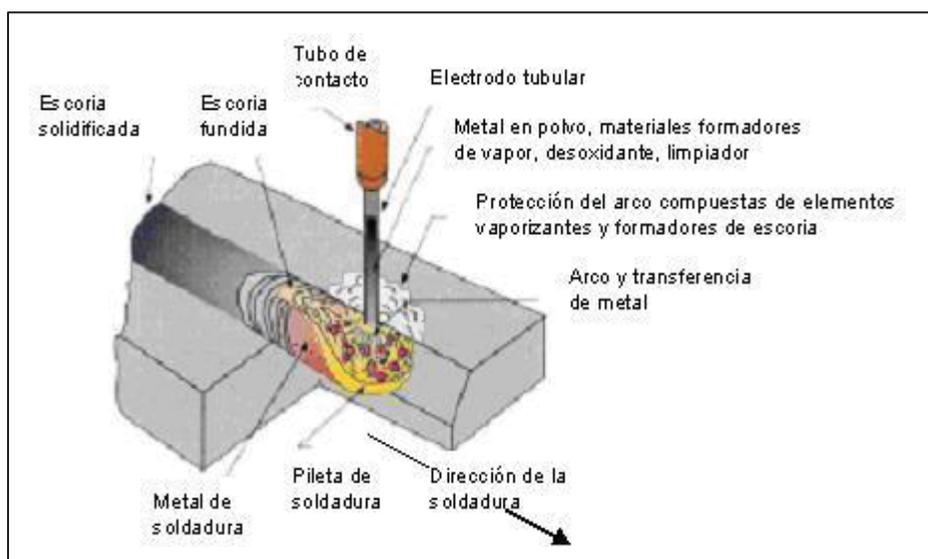
2.3.4. Soldadura por Arco con Alambre Tubular (FCAW)

“Es similar a la soldadura por arco con protección de gas, sólo que el electrodo es tubular y está compuesto por fundente granular en lugar de un hilo sólido, en la figura 4 se muestra el

conjunto de soldadura para mostrar la diferencia. Esto es posible gracias al enfoque de autoprotección FCAW y a la visión precisa del área del arco” (Esab, 2020).

Figura 4

Soldadura por Arco con Alambre Tubular

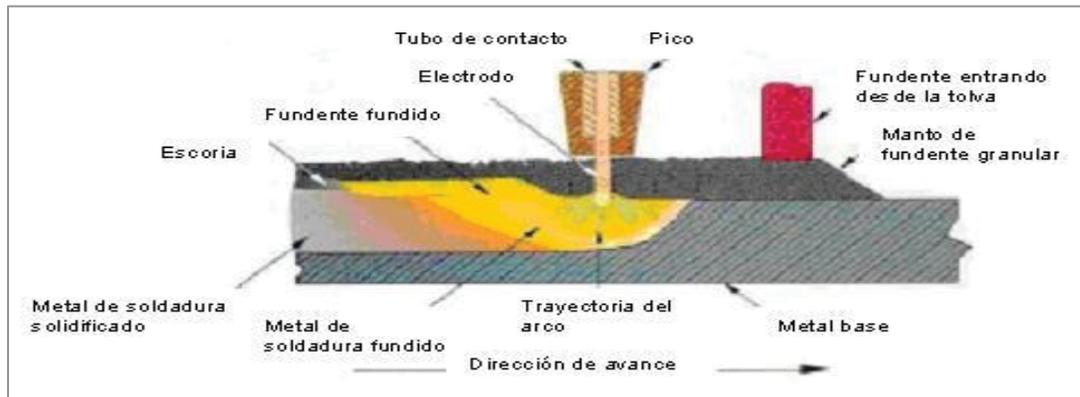


Nota: Instituto Asteco Venezuela

2.3.5. Soldadura Por Arco Sumergido (SAW)

“En términos de tasas de deposición de metal de soldadura, este procedimiento es el más exitoso hasta ahora SAW se distingue por el empleo de una bobina de acero continua para crear un arco enteramente recubierto de fundente granular, de ahí el término de arco hundido. La figura 5 muestra el proceso de soldadura mencionado en acción” (Chora, 2018).

Al igual que en la soldadura FCAW o GTAW, el hilo se coloca en la zona de soldadura de la misma manera.

Figura 5*Soldadura por arco sumergido*

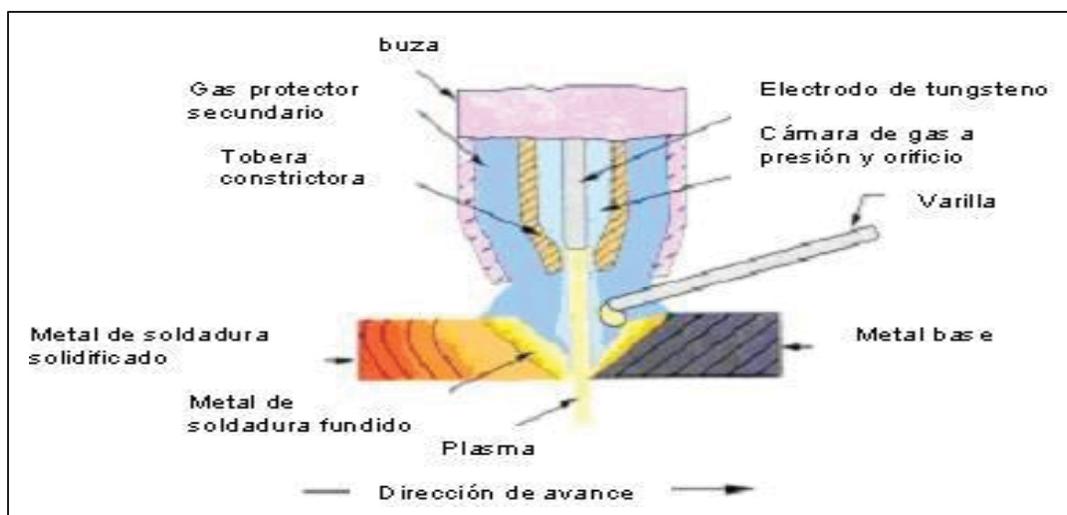
Nota: Instituto Asteco Venezuela

2.3.6. Soldadura Por Plasma (PAW).

El plasma se conocen como gas ionizados, el plasma se forma en cualquier proceso que emplee un arco. Sin embargo, debido a la densidad de esta parte del plasma, se le dio el término (PAW).

Es fácil confundirlo con el GTAW a primera vista, ya que los requisitos del equipo son muy similares. La figura 6 muestra un montaje común.

Figura 6*Soldadura por plasma*



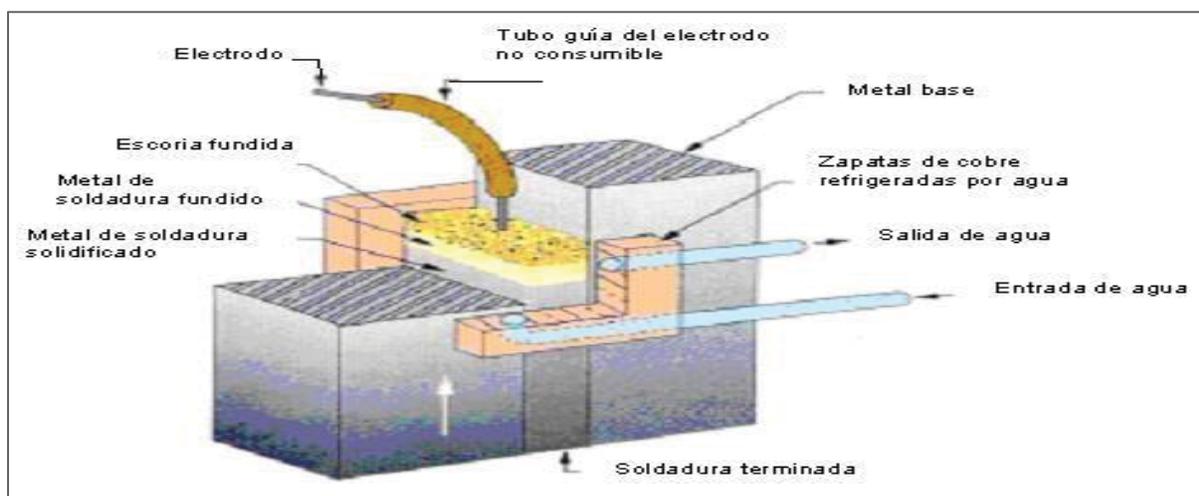
Nota: Instituto Asteco Venezuela

2.3.7. Soldadura por Electroescoria (ESW).

Calentando resistivamente el fundente, se funden el metal base y el metal de aportación. Durante este método, el arco se apaga cuando hay suficiente fundente fundido para suministrar el calor necesario para mantener las condiciones de soldadura en toda la junta. Los separadores refrigerados por agua sostienen el metal fundido durante la soldadura. La figura 7 ilustra la principal ventaja de la ESW es su rápida tasa de deposición de material.

Figura 7

Soldadura por electroescoria



Nota: Instituto Asteco Venezuela

2.3.8. Soldadura Oxiacetilénica (OAW)

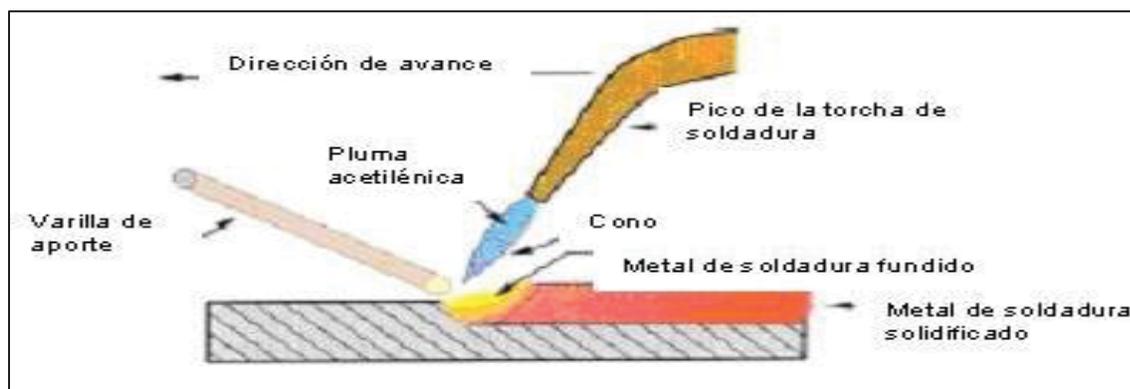
A pesar del nombre "soldadura de óxido", el acetileno es el único gas combustible capaz de alcanzar temperaturas suficientes para soldar con éxito; por lo tanto, hay que tener en cuenta la soldadura química al utilizar OAW.

El calor proviene de un proceso químico, y la llama protege la soldadura de oxígeno-acetileno. En consecuencia, no es necesario que haya seguridad interna.

La figura 8 muestra un método para obtener metal de aportación de un tercero.

Figura 8

Soldadura oxiacetilénica



Nota: Instituto Asteco Venezuela

2.3.9. Soldadura de Espárrago (SW)

Esta técnica se utiliza para fijar permanentemente clavos o tachuelas a superficies metálicas. El SW se clasifica como un procedimiento de soldadura por arco debido a que el calor creado por la soldadura es generado por un arco formado entre el remache y el metal base.

Se utiliza una pistola mecánica para controlar la operación, que está vinculada a la fuente de alimentación a través de un panel de control.

Como resultado, la soldadura es un proceso sencillo y repetible; tras insertar el perno de montaje y pulsar el gatillo, el procedimiento continúa en cuatro ciclos que están programados y secuenciados por la caja de control.

2.3.10. Soldadura por Láser (LBW)

Se trata de un procedimiento de fusión sin presión que da lugar a la fusión de un material mediante el calor generado por un haz concentrado de luz monocromática coherente que incide en la junta de soldadura. Para evitar la oxidación del baño de soldadura, se suele emplear un gas de protección inerte y, en ocasiones, se puede utilizar un relleno metálico.

2.3.11. Soldadura Por Haz de Electrones (EBW).

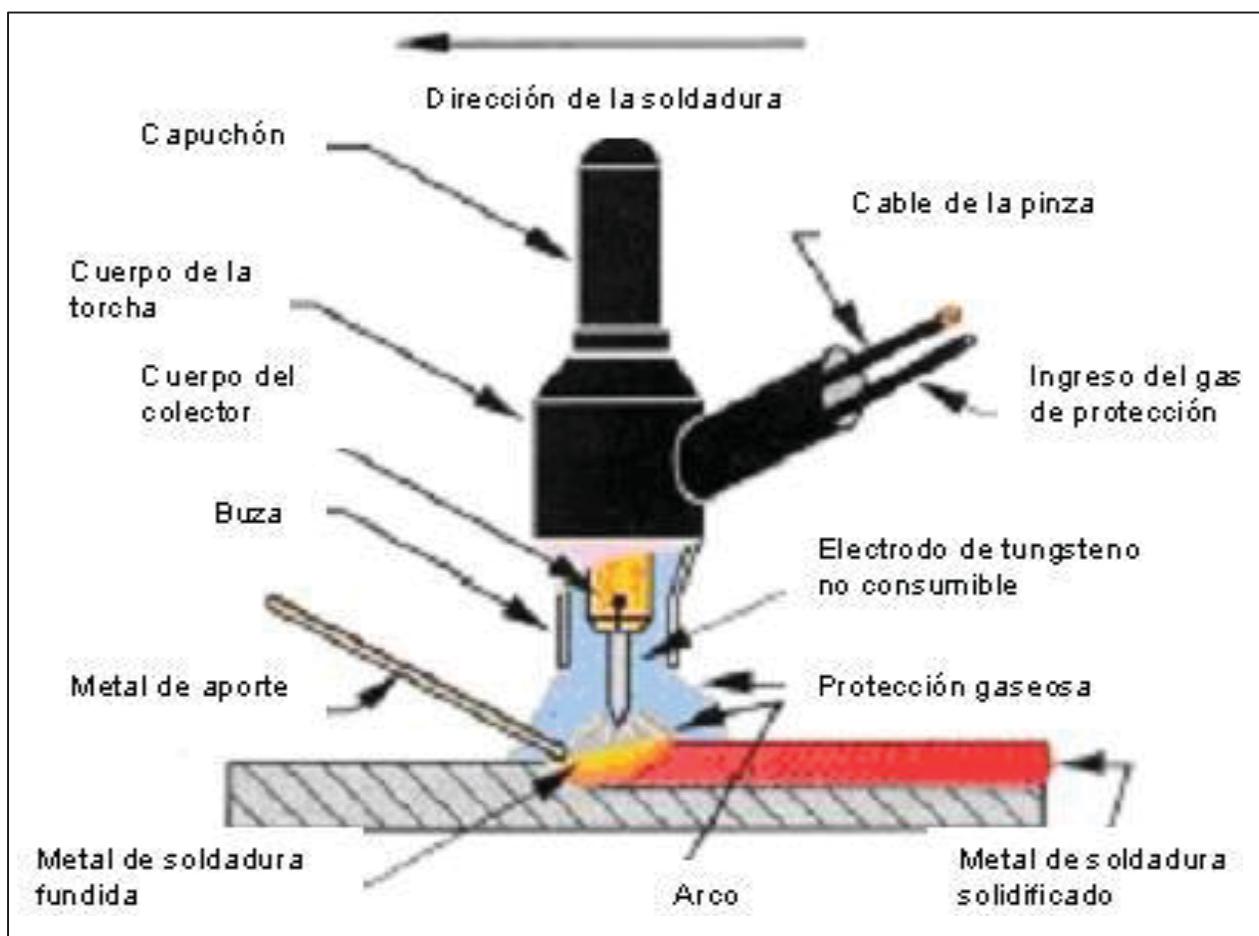
Este enfoque requiere un dispositivo capaz de producir un gran vacío en la zona de formación del haz para poder realizarlo con éxito. Desde finales de la década de 1950, cuando se comercializó la soldadura por haz de electrones (EBW), ésta ha ganado una amplia aceptación industrial, permitiendo también la soldadura en la cámara inferior. Esta innovación llevó a la adopción de la tecnología por parte de los fabricantes de vehículos comerciales y bienes de consumo. Como resultado, la EBW se utiliza en una amplia variedad de industrias en todo el mundo.

2.4. Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa (GTAW - TIG).

“La soldadura TIG (gas inerte de tungsteno), también conocida como soldadura por arco bajo gas de protección con electrodo no consumible, emplea un arco eléctrico que se forma entre un electrodo no consumible y el elemento a soldar como fuente de energía, mientras que un gas inerte protege el baño de soldadura. Cuando se utiliza material de relleno, se aplica mediante varillas, como en la soldadura oxiacetilénica, el proceso TIG se muestra de forma esquemática en la figura 9”. (Westarco, 2020).

Figura 9

Soldadura por Arco con Electrodo Tungsteno



Nota: Instituto Asteco de Venezuela

El proceso de soldadura TIG también recibe el nombre:

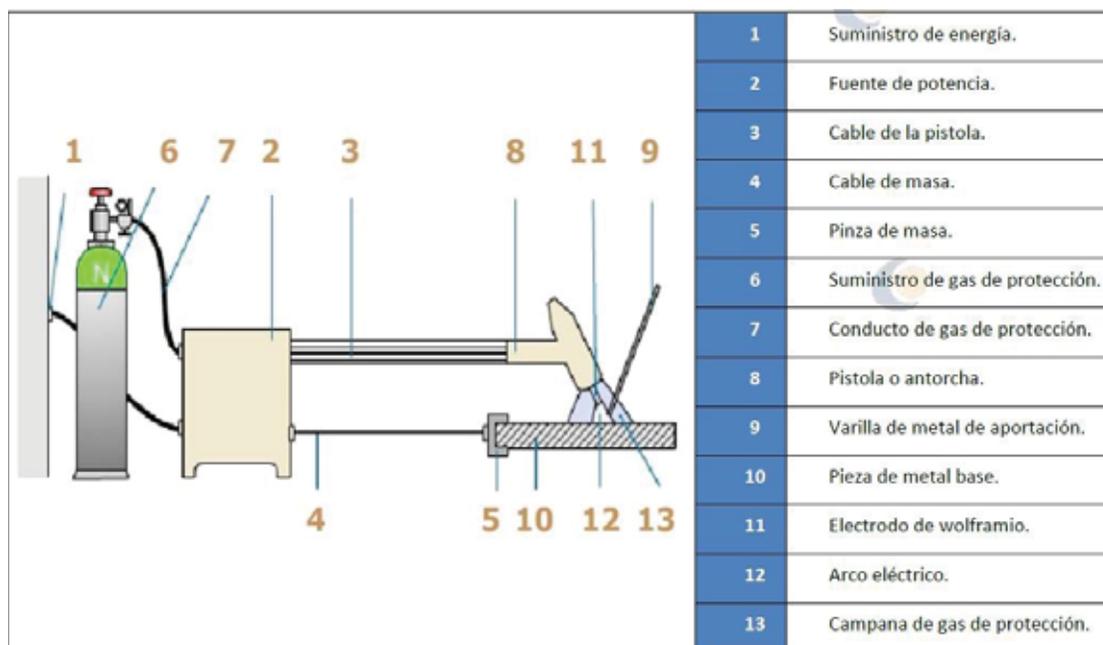
- GTAW, soldadura por arco con tungsteno y gas
- Soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y gas inerte (UNE-EN ISO 4063:2011)
- Soldadura por arco con electrodo de tungsteno (UNE-EN 14610:2006)

- **Indumentacion del proceso de soldeo**

En el proceso del soldeo este tiene que estar equipado por un kuds de elementos necesarios para proceder con dicha operación, en la figura 10 se observa las partes y las conexiones.

Figura 10

Instalación de soldadura TIG



Nota: Instituto Asteco Venezuela

▪ **Ventajas y limitaciones**

• **Ventajas:**

- Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales
- Un arco estable y enfocado
- Aunque este es principalmente un proceso manual, se ha automatizado para algunos productos voluminosos, como tubos de calibre delgado, soldaduras longitudinales o helicoidales, y para el montaje de tubos en paneles. el arco)
- No genera escoria.
- Producción de soldaduras lisas y uniformes.
- Puede usarse con o sin metal de aporte según la aplicación.
- Se puede utilizar en todo tipo de articulaciones y posiciones.
- Alta velocidad de soldadura con espesores inferiores a 3-4 mm.
- Puede realizar soldaduras de alta calidad.

- Proporciona un excelente control de la penetración de raíces.
- No requiere el uso de costosas fuentes de energía.
- Proporciona un control independiente de la fuente de alimentación y el metal de aporte.
- No produce humo.

- **Limitaciones**

- Tasas de deposición más bajas que las que se pueden lograr con otros procesos de soldadura por arco.
- Su aplicación manual requiere muchas veces una gran destreza del soldador.
- No económico para espesores superiores a 10 mm.
- Si hay corrientes, puede ser difícil obtener la protección adecuada del área de soldadura.
- Más radiación ultravioleta que otros procedimientos, que necesitan las salvaguardias adecuadas.

- **Características del proceso**

“La soldadura TIG puede utilizarse en diferentes tipos de material, incluido el aluminio, el magnesio y los metales sensibles a la oxidación, como el titanio, el circonio y sus aleaciones. Este método proporciona las características necesarias para producir soldaduras de alta calidad con gran pureza metálica, sin defectos y con acabados superficiales aceptables, Es ideal para la soldadura responsable en las industrias petrolera, química, petroquímica, alimentaria, de generación de energía, nuclear y aeroespacial” (Fondo Social Europeo, 2019). La soldadura de metales de más de 6-8 mm de espesor no es rentable debido a la escasa tasa de deposición. El TIG se utiliza para hacer la transferencia de raíz en estas circunstancias, empleándose otros métodos más productivos para el resto de la movilización. También es adecuado para la soldadura por puntos y la soldadura por puntos.

- **Variables de soldeo**

- a) Diámetro del electrodo**

El diámetro del electrodo influye en la soldabilidad influye en su resistencia, la inestabilidad del arco se producirá si se utilizan corrientes bajas para un determinado diámetro de electrodo. Por otro lado, una corriente excesiva puede inducir la degradación y la fusión de la punta del electrodo, así como impurezas de tungsteno en el metal de soldadura. Cuando la corriente es constante, los electrodos pueden transportar la mayor cantidad de corriente. Con la corriente inversa sólo se puede controlar el 10% de la cantidad que se puede manejar en las condiciones mencionadas. Podemos obtener el 50% de la capacidad máxima de transporte de corriente con corriente alterna. La tabla 2 muestra los tamaños de electrodos más comunes, así como los diámetros de boquilla correspondientes.

Tabla 2

Diametros típicos de Electrodo

Díámetro del electrodo (mm)	Díámetro interior de la tobera (mm)
1.6	10
2.4	12
3.2	12
4	12
4.8	16
6.4	19-20

Nota: Manual de Soldadura SOLDEXA

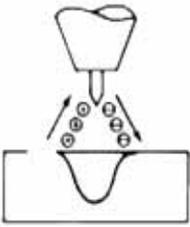
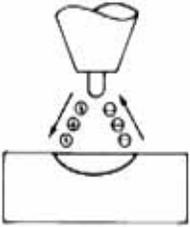
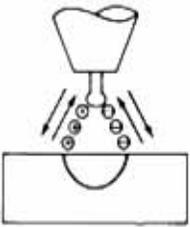
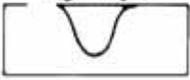
b) Tipo de Corriente

La soldadura TIG puede realizarse con corriente continua o con corriente alterna. El tipo de corriente y la polaridad vendrán determinados por el material a soldar.

La Tabla 3, resume cómo la polaridad afecta la soldadura con CC y con CA.

Tabla 3

Características del soldeo de acuerdo con la corriente seleccionada

Tipo de corriente	Corriente continua	Corriente continua	Corriente alterna
Polaridad	Directa	Inversa	
Flujo de electrones e iones			
Aspecto de la penetración			
Acción decapantes	No	Si	Si. Una vez durante el semiciclo positivo
Balance térmico (aproximado)	70% en la pieza. 30% en la punta del electrodo	30% en la pieza 70% en la punta del electrodo	50% en la pieza 50% en la punta del electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Ancha y menos profunda	Media
Preparación de afilado del electrodo	SI	NO	NO

Nota: Manual de Soldadura SOLDEXA

b1) Arco con Corriente Continúa

Cuando se utiliza la polaridad directa, es decir, cuando un electrodo está unido al cátodo, la energía del arco se concentra principalmente en la pieza, lo que permite un rendimiento térmico, una velocidad de soldadura y una penetración buena.

Por otro lado, el electrodo puede soportar corrientes hasta ocho veces superiores a las del electrodo si no está unido a él sin fundirse ni deteriorarse.

Cuando se invierte la polaridad, el electrodo positivo está unido, y la distribución del calor es menos ventajosa, lo que da lugar a un charco comparativamente amplio, a una menor penetración y a una acumulación excesiva de calor en el electrodo, lo que hace que se sobrecaliente y falle rápidamente incluso con una corriente modesta.

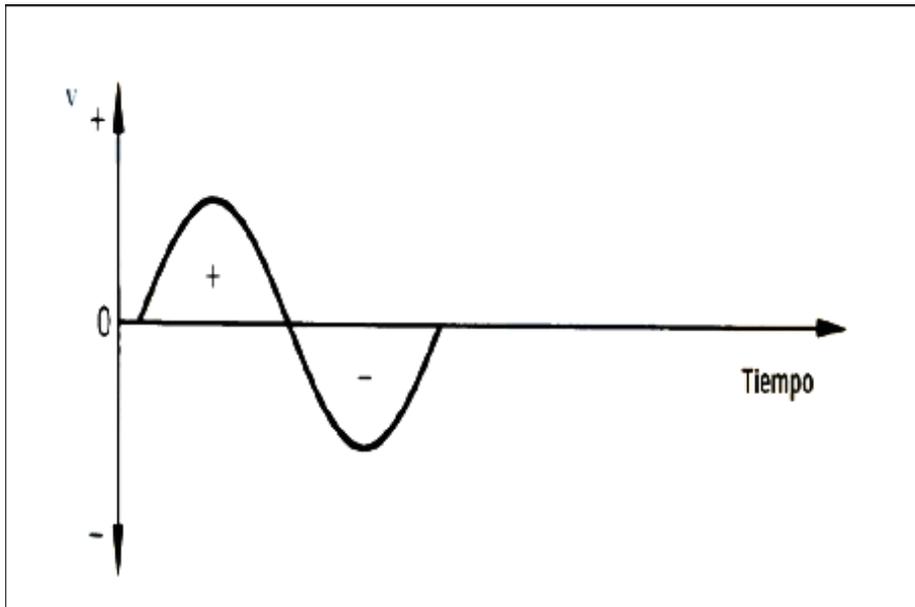
Por ello, se sugiere que la corriente continua sea la polaridad de CC, sin embargo, cuando se sueldan aleaciones ligeras de Al y Mg, esto es poco práctico, ya que la creación de una capa de óxido térmico cubre el depósito y hace imposible la soldadura. Este problema no se nota después de la inversión de la polaridad porque los óxidos se evaporan y se desintegran, flotan y se desplazan a los márgenes del baño de fusión.

b2) Arco con corriente alterna

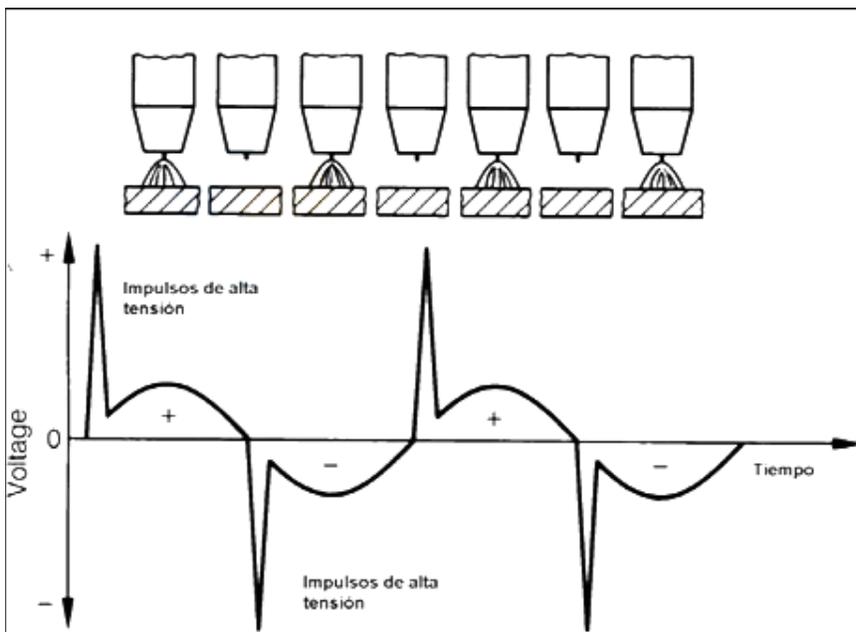
Aunque la corriente alterna es baja, combina las ventajas de ambos electrodos: un gran comportamiento en corriente alterna de polarización directa y un efecto de detección en corriente alterna de polarización inversa. En consecuencia, se utiliza a menudo para soldar aleaciones de aluminio y magnesio. Debido a que los principales fallos afectan a la ignición y a la estabilidad del arco, es fundamental que el dispositivo cuente con un generador de alta frecuencia. En corriente alterna, el arco se apaga dos veces en cada ciclo cuando la diferencia de potencial es cero (Fig. 11). Para mejorar la estabilidad, hay que aumentar la tensión en vacío; por ejemplo, es necesaria una tensión en vacío de 100 V con protección de helio.

Se ha determinado incluir una fuente de alta frecuencia; el voltaje y la frecuencia de la fuente de alta frecuencia pueden estar en el rango de 1000 V y MHz, respectivamente (Fig. 12).

Cuando la corriente de soldadura supera el cero, la corriente de alta frecuencia se suministra de forma continua. La opción se realiza a través del panel de control del aparato.

Figura 11*Arco con Corriente Alterna*

Fuente: Manual de Soldadura SOLDEXA

Figura 12*Corriente alterna con impulsos con alta frecuencia*

Nota: Manual de Soldadura SOLDEXA

En la tabla N° 4, se muestran los tipos de corriente para la soldabilidad de diferentes tipos de metales.

Tabla 4

Selección del tipo de corriente para soldadura TIG

METAL A SOLDAR	CORRIENTE ALTERNA	CORRIENTE	CONTINUA
	Con estabilización por alta frecuencia	Polaridad directa	Polaridad inversa
Magnesio, hasta 3 mm espesor	1	NR	2
Magnesio, espesores de 4 mm o más	1	NR	NR
Magnesio (piezas fundidas)	1	NR	2
Aluminio	1	NR	2
Fundición de aluminio	1	NR	NR
Acero inoxidable (hasta 1,5 mm)	2	1	NR
Acero inoxidable (1,5 mm o más)	2	1	NR
Latón	2	1	NR
Plata	2	1	NR
Hastelloy	2	1	NR
Metales placados con plata	1	NR	NR
Recargues duros	1	2	NR
Fundición de hierro	2	1	NR
Acero suave (0,3 a 0,7 mm espesor)	2	1	NR
Acero suave (0,7 a 3 mm espesor)	NR	1	NR
Acero duro (0,3 a 0,7 mm espesor)	2	1	NR
Acero duro (0,7 mm o más)	2	1	NR
Cobre desoxidado (hasta 2,5 mm)	NR	1	NR
Titanio	NR	1	NR

1.-Procedimiento recomendado. Excelentes resultados.
2.-Aunque puede dar resultados, es menos recomendable.
NR. No recomendable

Nota: Manual de soldadura SOLDEXA

c) Intensidad de Soldeo

Como se mencionó hasta ahora, la conexión de un electrodo no consumible al cátodo proporciona una mayor penetración que la conexión al ánodo. Esto es porque si tratamos de soldar con polaridad inversa, no se puede hacer con mayor corriente, porque

El tungsteno tiene un punto de fusión de 3800 °C y se funde cuando se conecta a un ánodo con una temperatura superior a 4200 °C. Cuando se utiliza la polarización directa y el electrodo se sujeta con una punta puntiaguda, la temperatura del electrodo no supera los 3600 °C, lo que da lugar a una soldadura más fuerte.

d) Velocidad de soldeo

Este parámetro afecta a la geometría de la soldadura, concretamente a su profundidad y longitud. Cuando se suelda a una velocidad rápida y con una corriente baja, la región afectada por el calor y la zona de fusión son mínimas, lo que evita el sobrecalentamiento del metal base. Sin embargo, a altas velocidades de soldadura, pueden aparecer arañazos en los bordes de la soldadura como resultado de la energía del arco, un fenómeno que depende de la corriente de soldadura.

- **Tipos de gas o mezcla de gases**

Para el soldeo TIG se utilizan los siguientes gases:

- Argón
- Helio
- Argón + Helio
- Argón + Hidrógeno

➤ Argón + Hidrógeno + Helio

a) Argón

Las propiedades de este gas son:

- Está inactivo. No hay reacción durante la soldadura.
- No tiene olor, ni color, ni sabor y no es tóxico.
- **Protección eficaz gracias a su alta densidad:** El argón es 1,4 veces más pesado que el aire, lo que le ayuda a proteger la zona de soldadura al eliminar el aire.
- El helio, en cambio, es mucho más ligero que el aire y, por tanto, necesita un mayor caudal para obtener el mismo nivel de protección que el argón.
- **Fácil encendido y buena estabilidad del arco:** Debido a la baja energía de ionización del argón, es muy adecuado para la ignición constante y la ignición por arco.
- **Económico:** Se prepara por destilación del aire a una concentración de aproximadamente el 1%. El argón es mucho más barato que el helio y, gracias a estas y otras ventajas, se emplea mucho en la soldadura TIG.
- **Ideal para un pequeño espesor.** La presencia de baja eclipse, soldadura con baja tensión y entrega térmica, lo que lleva a piezas de soldadura con un grosor pequeño.
- **Forma de cables y penetración.** El argón tiene una conductividad más baja del calor de helio, por lo que el calor se concentra en la zona central para un patrón distintivo.

b) Helio

Las características de helio más importantes son:

- Alta energía (24.5 eV)
- Alta conductividad para grandes columnas de plasma.

- Muy baja intensidad

Por lo tanto, las propiedades más importantes del helio son:

- Contribución de calor muy alta

Se obtienen cables de penetración inalámbricos y grandes.

- Puede hacer soldadura a velocidades más altas

Debido a estas características, las principales aplicaciones de helio son:

- Soldadura de grosor grande
- Soldadura automática donde se puede usar alta velocidad

- Material de conducción grande, por ejemplo, reducir la necesidad de ajustes preestablecidos, aunque Argon es más gas de usuario, el helio se puede usar en soldadura automática con CCPD. El helio produce mayores tasas de penetración y soldadura, pero para lograr esto

Antes de que necesite limpiar la superficie de óxido.

Sin embargo, el helio tiene las siguientes desventajas:

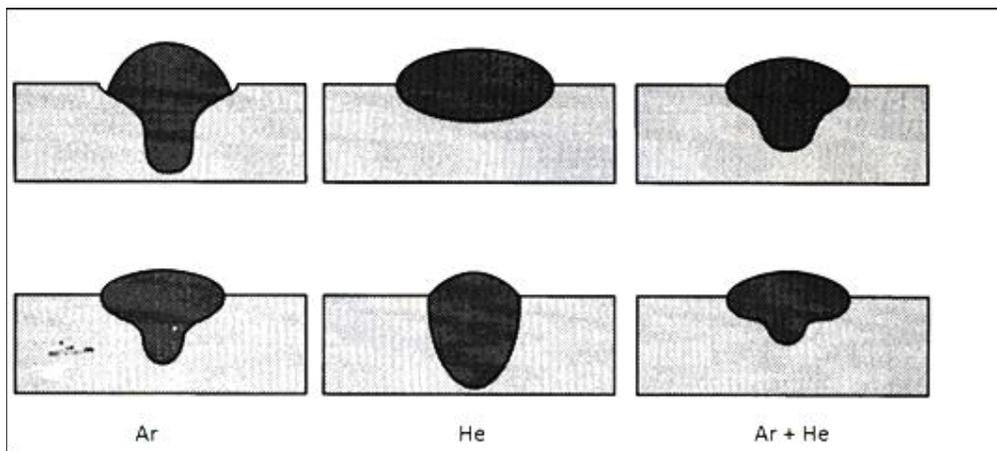
- Mala estabilidad del arco en comparación con el argón debido al alto potencial de descarga del arco.
- Ionización.
- Debido a la baja densidad, el caudal requerido es aproximadamente de 2 a 2,5 veces mayor que el requerido con argón. Esto lo hace en principio menos rentable desde el punto de vista económico, pero antes de negarse a utilizarlo hay que hacer algunos cálculos económicos. El helio se agrega muchas veces al argón para aumentar el aporte de calor y la penetración.

c) Mezclas He/Ar

La mezcla de estos dos gases inertes proporciona ventajas complementarias entre sí debido a la relación entre ellos que se solapa entre sí. La penetración es un intermedio entre los típicos de cada gas puro, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Forma del cordón en función del gas de protección



Nota: Manual de Soldadura SOLDEXA

d) Adiciones de hidrógeno

Se utiliza como aditivo de argón para soldadura TIG, lo que presenta las siguientes ventajas:

- Aumento de la temperatura interior
- Permite aumentar la velocidad de soldadura.
- Mayor ancho y penetración del cordón de soldadura

No se recomienda para soldar aceros al carbono, aceros de baja aleación o aceros inoxidables de ferrita debido a la posibilidad de que el hidrógeno cause fracturas en estos materiales.

e) Adiciones de nitrógeno

Es posible utilizarlo en combinación con el argón en la soldadura TIG, pero no es una adición común y actualmente sólo se emplea en un número restringido de aplicaciones para soldar cobre y sus aleaciones. Se utiliza con mayor frecuencia para estabilizar los aceros inoxidables austeníticos y ferríticos en una mezcla de 1 a 3% de argón y helio. Los resultados son los siguientes:

- A bajo costo. o Mayor penetración y ancho de grano.
- Aumento de la temperatura de entrada.
- Estabilidad austenítica en aceros austenítico-ferríticos.

Clasificación de los gases de protección utilizados en soldadura TIG de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 14175

En la tabla 5, se indican los gases utilizados para la soldadura de diferentes metales.

Tabla 5*Selección de gases*

METAL A SOLDAR	GAS	RESULTADOS
Aluminio	Argón (99,998%)	Mejora el cebado de arco, la limpieza del baño y la calidad de la soldadura. Menor consumo de gas.
	Argón-Helio	Por su contenido de helio en la mezcla proporciona, una velocidad de soldadura y penetración más elevada y disminuyen o eliminan el precalentamiento y la porosidad.
	Helio	Permite grandes velocidades de soldeo.
Magnesio	Argón	Excelente limpieza; fácil manipulación del baño; menor consumo de gas. Mayor penetración.
	Helio	
Aceros al carbono	Argón	Proporciona facilidad para inicio del arco y buen control del baño. Alarga la vida del electrodo. Soldadura limpia y de buen aspecto. Menor consumo de gas.
	Argón-Helio	Por su contenido de helio, proporciona una velocidad de soldadura más elevada, que tiene especial aplicación en automatismos y en espesores gruesos.
Aceros inoxidables	Argón (99,996%)	Proporciona facilidad para inicio del arco y buen control del baño de fusión y de la penetración en espesores delgados.
	Argón-Helio	Por su contenido de helio, proporciona una velocidad de soldadura más elevada, que tiene especial aplicación en automatismos y en espesores gruesos.
	Argón-Helio-Hidrógeno ($\approx <5\%$)	Se emplea con velocidades elevadas en la fabricación de tanques y tubos de acero inoxidable austenítico.
	Argón-Hidrógeno ($<2\%$)	Se emplea para soldadura manual de acero inoxidable austenítico para dejar un cordón con buen aspecto. Disminuye el riesgo de mordeduras.
	Argón-Hidrógeno ($<10\%$)	En soldadura automática de acero inoxidable austenítico, para incrementar la velocidad de soldadura. Se emplea en la fabricación de tanques y tubos.
	Argón-Nitrógeno	Se utiliza en la unión de aceros inoxidables austeno-ferríticos. El contenido de nitrógeno estabiliza la austenita.
Cobre, Níquel y aleaciones	Argón	Buen control del baño y de la penetración. Cordones de buen aspecto en espesores delgados.
	Argón-Helio	Mayor aportación de calor, para compensar las pérdidas por conductividad en espesores gruesos. Baño de fusión más fluido, una velocidad de soldadura y penetración más elevada y disminuye o elimina el precalentamiento y la porosidad. En la soldadura con robot y automatismos, permiten incrementar la velocidad de soldadura.
	Helio	Mayor aportación de calor. Adecuado para aumentar la velocidad en espesores gruesos.
Titanio	Argón (99,9990%)	Como es necesario mantener muy bajo el nivel de impurezas, debe emplearse argón con la pureza adecuada y mantenerla a través del circuito de gas.
	Argón-Helio	Mejor penetración en la soldadura de espesores gruesos.

Nota: Manual de Soldadura SOLDEXA

Aunque también se utiliza la especificación americana SFA 5.32, la Tabla 6 clasifica los gases utilizados en la soldadura TIG según la UNE-EN ISO 14175.

Tabla 6

Clasificación de los gases de protección para soldeo de acuerdo con UNE – EN ISO 14175

Designación		COMPONENTES, % Volumen					
Grupo	Sub-grupo	Oxidante		Inerte		Reductor	Baja reactividad
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂
I	1			100			
	2				100		
	3			Resto	0,5 ≤ He ≤ 95		
R	1			Resto ^a		0,5 ≤ H ₂ ≤ 15	
N	2			Resto ^a			0,5 ≤ N ₂ ≤ 5

Nota A: Para el fin de esta clasificación, el argón puede sustituirse parcial o completamente por helio.

Nota: Manual de Soldadura SOLDEXA

Gases de protección de la raíz (gas de respaldo)

En determinados casos es necesario utilizar gases de protección no fluidos.

Por ejemplo, soldamos tubos de acero inoxidable en los que pueden surgir defectos debido a la falta de protección adecuada en la ruta de la raíz (gas de protección) y soldamos tanques de acero inoxidable donde esto será necesario para proteger la soldadura posterior en las juntas longitudinales y lineales.

En aplicaciones críticas, según el metal y la aplicación, es necesario determinar y verificar el nivel máximo de oxígeno permitido antes de comenzar a soldar.

Analizador portátil. En aplicaciones menos riesgosas, solo tenga en cuenta el color y dale forma al cable para ver si la protección es adecuada. En la Tabla 7 se muestran los gases de reserva.

Tabla 7*Gases de apoyo utilizados*

Gas de Respaldo	Metal
Argón, con la pureza adecuada para la aplicación.	Todos los metales
Mezclas de argón-hidrógeno: (Ar+ 5 a 10 H ₂)	Aceros inoxidable austeníticos y metales de base níquel
Mezclas de N ₂ -H ₂ : (N ₂ + 5 a 10 H ₂)	Aceros inoxidable austeníticos con excepción de los estabilizados con titanio
Mezclas de argón-nitrógeno	Aceros dúplex

Nota: Manual de Soldadura SOLDEXA

2.5. Electrodo de Tungsteno

Los electrodos de soldadura por arco térmico son inútiles por definición.

“Por lo tanto, se requiere un metal con un punto de fusión muy alto, así como la capacidad de sobrevivir a las temperaturas del arco de alrededor de 4000 ° C. Por otra parte, la composición, el diámetro y la limpieza del electrodo, así como el tipo de corriente utilizada, tienen un efecto significativo en la calidad del trabajo y la estabilidad del arco” (SUNARC, 2013). El tungsteno cumple el criterio de resistencia a las altas temperaturas y, al mismo tiempo, emite mucho calor.

En consecuencia, el tungsteno se utiliza en la construcción de todos los electrodos. La emisión de electrones del electrodo puede mejorarse incorporando óxidos de torio, circonio, lantano o cerio al tungsteno en niveles que van desde el 0,15 por ciento hasta el 4,2 por ciento, dependiendo del electrodo y del elemento utilizado.

Estos potenciadores de la emisión facilitan el curvado, aumentan la estabilidad del electrodo, alargan su vida útil y reducen la posibilidad de que las impurezas del tungsteno

contaminen las soldaduras. Por otro lado, con diámetros iguales, los electrodos que contienen óxido pueden producir una corriente más alta que los de tungsteno puro.

Las adiciones de óxido suelen estar bien diseminadas en la matriz de tungsteno.

Asimismo, existen electrodos de tungsteno resistentes al calor, conocidos como electrodos "híbridos". Estos electrodos están formados por un núcleo de tungsteno puro y una capa exterior de óxido. Estos electrodos combinan las ventajas del tungsteno puro y del tungsteno con óxidos, pero no pueden afilarse en el lugar.

Las varillas de tungsteno fabricadas íntegramente con tungsteno puro se funden a 3400°C, y el extremo del electrodo debe ser redondeado.

Se utiliza sobre todo en la soldadura de CA para unir aluminio y aleaciones dado que el tungsteno aleado con torio se funde a unos 4000°C, la punta de la varilla debe ser muy afilada. Se utiliza para la soldadura en corriente continua de materiales como el carbono, la baja aleación, el acero inoxidable, y el cobre y el titanio, es un 15% más caro que el tungsteno puro.

Las aleaciones de tungsteno de circonio se funden a unos 3800°C y son adecuadas para la soldadura en corriente continua y en corriente alterna. Se utiliza para soldar metales ligeros como el aluminio y el magnesio cuando la contaminación del metal de aportación no es una opción.

2.5.1. Codificación de los Electrodo

La norma internacional ISO 6848 recomienda la codificación alfanumérica, donde:

- La primera letra representa el elemento principal.
- La segunda letra representa la reacción de adición de óxido:

* P —> Tungsteno puro

- * T → Torio
- * Z → Circonio
- * L → Lantano
- * C → Cerio

El siguiente es el resultado de multiplicar el porcentaje por 10, así, WP es particular de los electrodos de tungsteno puro, mientras que WT 20 es específico de los electrodos de tungsteno al 2% de torio.

Cada tipo de electrodo estándar se indica con un anillo de color, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Colores de anillo

CODIGO	COLOR
WP	VERDE
WT4	AZUL
WT10	AMARILLO
WT20	ROJO
WT30	VIOLETA
WT40	NARANJA
WZ3	MARRON
WZ8	BLANCO
WL10	NEGRO
WC20	GRIS

Nota: Manual de Soldadura OERLIKON

2.5.2. Condiciones de Utilización

Cuando la corriente es demasiado baja, el arco se vuelve inestable, lo que aumenta la posibilidad de separación del tungsteno. Una densidad mayor permite crear un arco perfectamente estable y una mayor concentración térmica, aunque este valor es limitado.

En efecto, si la densidad es demasiado alta, la punta del electrodo se sobrecalienta y se funde, provocando la caída de escamas de tungsteno en el baño de soldadura y haciendo que el arco sea irregular e inestable. El valor de la corriente de soldadura está limitado por las condiciones de funcionamiento y el ángulo de afilado del electrodo debido a la influencia de la corriente específica. Se requiere un ángulo de afilado más obtuso para corrientes mayores con un diámetro determinado.

El tungsteno es un metal costoso, y el desgaste prematuro del electrodo no sólo cuesta dinero, sino que también afecta a la calidad del grano. Aunque parece que no hay contacto electroquímico entre el electrodo y el baño, las impurezas del tungsteno pueden acumularse en el baño, causando multitud de problemas. El electrodo nunca debe estar en contacto con el baño, especialmente si entra en contacto con componentes que reaccionan rápidamente con el tungsteno, como todos los metales ligeros. En este sentido, el cobre y el acero son menos sensibles, y puede iniciarse un arco con sólo hacer contacto con el electrodo.

También hay que tener en cuenta que en este lugar, el poste no puede entrar en contacto con las palomas.

2.5.3. Forma de los Electroodos.

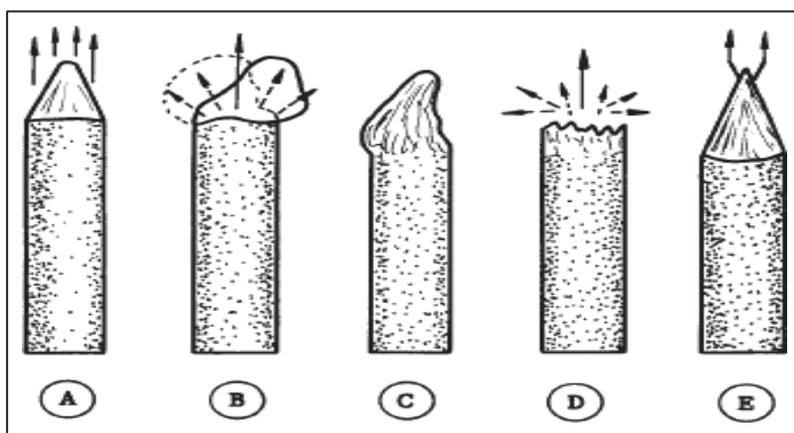
La punta del electrodo es fundamental para mantener el arco y penetrar en la soldadura. Cuando se trata de corriente alterna, la punta del electrodo debe ser semiesférica; la creación de

una gota señala que se ha superado el límite de densidad de corriente. Una forma semiesférica es poco común cuando se utiliza tungsteno de torio, y si la densidad de corriente es demasiado alta, la punta se vuelve irregular. Cuando la densidad de corriente es baja, los electrodos de corriente continua deben estar dirigidos; cuanto mayor sea el ángulo, mayor será la penetración.

En general, la altura de la punta debe ser 1,5 veces el diámetro del electrodo. La forma cónica se consigue mediante el esmerilado, pero la forma de la punta queda libre por la acción de un arco circular. La superficie cónica del electrodo de torio puede ser de tungsteno pulido insuficiente, provocando inestabilidad del arco; En este caso, solo es necesario aumentar la corriente durante un tiempo breve para obtener una superficie perfectamente lisa. En la figura 14, se muestran a continuación los distintos estados de funcionamiento. Las flechas sólidas indican la dirección general de la corriente y las flechas punteadas indican la dirección de los arcos parásitos:

Figura 14

Casos de funcionamiento de los electrodos



Nota: Fondo social Europeo Proceso de Soldadura TIG. (2019)

2.6. Método Operatorio de la Soldadura TIG.

La figura A muestra un electrodo muy afilado y potente que se emplea en corriente continua con los ajustes típicos de corriente. El afilado cónico ineficaz da lugar a un arco constante y bien centrado.

La punta del electrodo se funde en la figura B debido a la aplicación de una fuerza elevada. Debido al rodamiento de la bola de metal durante la soldadura, la punta se deforma y el arco se pierde y se desvía, dificultando o imposibilitando la soldadura. En la figura C, el electrodo no está protegido por gas, lo que puede ser resultado de un corte de corriente prematuro. Si un electrodo se contamina, debe limpiarse o sustituirse.

En la Figura D, se sueldan aleaciones ligeras al electrodo revolucionario y la resistencia es tan baja que no se forma bola al final del electrodo. La intensidad debe aumentarse, de lo contrario el arco será desigual. En la figura (e), el electrodo está muy conectado a tierra; Se producirá una rápida corrosión, porque la punta tendrá que soportar mucha corriente eléctrica, que se derretirá y habrá impurezas de tungsteno en la soldadura.

2.6.1. Preparación de Bordes.

Para obtener una soldadura TIG homogénea y compacta, los bordes deben prepararse meticulosamente. Por ejemplo, si el problema es el óxido, es importante eliminarlo mecánicamente. Los componentes deben ser totalmente desengrasados y luego desengrasados mecánicamente. En este caso, las bridas se colocan en el lugar previsto durante la soldadura y se fijan mediante puentes u otras formas. “El puenteado se realiza bajo argón a baja intensidad,

cuidando constantemente de enfriar el lugar de la soldadura con un chorro de gas de protección después de extinguir el arco y de invertir el blindaje si es necesario” (Gomez, 2016).

La distancia entre los componentes debe ser muy regular; esto se consigue mediante dispositivos de posicionamiento. La forma de los bordes y la distancia entre los componentes varían en función del tipo y el grosor del metal que se va a unir, cabe señalar que la soldadura TIG suele limitarse a un espesor máximo de 6 mm en dos o tres pasadas. Por lo general, si el grosor supera los 4 mm, se realiza un procedimiento TIG de primera pasada, seguido de un proceso MIG o de superposición de electrodos.

2.6.2. Protección al Revés

La superficie superior del depósito de metal fundido está protegida por el flujo de gas inerte del soplete, mientras que la parte inferior del metal colocado en la junta está expuesta al aire y corre el riesgo de oxidarse durante el funcionamiento. Refrigerador de cámara. Las consecuencias son insignificantes si el grosor es importante y no se desea la mejor calidad de soldadura; Por el contrario, los metales delgados, especialmente si son aceros aleados o metales muy oxidantes, también deben protegerse por el reverso y el reverso. La protección consiste en colocar un manguito debajo de la junta, o una junta, en su caso, por la que se deje circular el gas de protección, que puede parecerse a un soplete o una mezcla de nitrógeno e hidrógeno. La protección contra el gas se mejora significativamente en ciertas versiones de soldadura TIG mediante el empleo de un elemento móvil que se une a la antorcha y envía una corriente de gas adicional al cordón enfriado.

2.6.3. Disipación Térmica

Dado que el soplete distribuye el calor de manera uniforme sobre la junta, también debe disiparse de manera uniforme; es crucial prestar atención a cómo se produce esto antes de empezar a soldar. En general, el calor debe dirigirse en una dirección perpendicular a la soldadura. Para lograr esta disipación de calor realista, los soportes invertidos deben estar hechos de un material resistente al calor, y los accesorios superiores invertidos deben ser fuertes conductores. Estas precauciones son especialmente críticas para las capas finas..

2.7. Método de Soldadura

La soldadura debe realizarse en sentido contrario a la dirección del viento. Debe ser una tarea sencilla con una longitud de arco predefinida. Si el extremo de la varilla de relleno se retira del escudo del flujo de gas, puede corroerse, dando lugar a inclusiones de óxido en el baño.

“Después de la ejecución de la soldadura, la junta debe limpiarse. Un martilleo en caliente es susceptible de mejorar ligeramente la resistencia mecánica de la junta” (Rojas, 2015).

2.7.1. Puenteo

El puenteado de la junta sólo es necesario cuando los bordes de la soldadura no están inmovilizados por un dispositivo de posicionamiento. La utilización del proceso TIG es fundamental.

Las puntas deben ser lo suficientemente largas para soportar las tensiones creadas por la deformación de las piezas. Dependiendo del espesor, se emplean longitudes de entre 20 y 80 mm. Su volumen debe ser suficiente pero no excesivo para evitar la fusión durante la primera pasada de soldadura. Por ello, lo ideal es que sean largos y tengan una baja penetración; si el retorno de la corriente se realiza a través de la mesa de soldadura, se deseará un contacto íntimo, pero se prefiere que sea en relación con la pieza.

2.7.2. *Sostenimiento de la Antorcha*

Para trabajar con la mayor precisión, el soldador debe estar cómodamente colocado.

El soplete debe ser minúsculo y sujetarse como un lápiz entre los dedos pulgar, índice y corazón, lo que permite accionar el gatillo con una ligera presión de los dedos. La antorcha debe sostenerse con una pequeña inclinación (de 10 a 20 grados) respecto a la vertical frente al baño de fusión. Son posibles varias inclinaciones cuando se utiliza la soldadura de posición o la soldadura magnética de CC.

2.7.3. *Caudal de Gas*

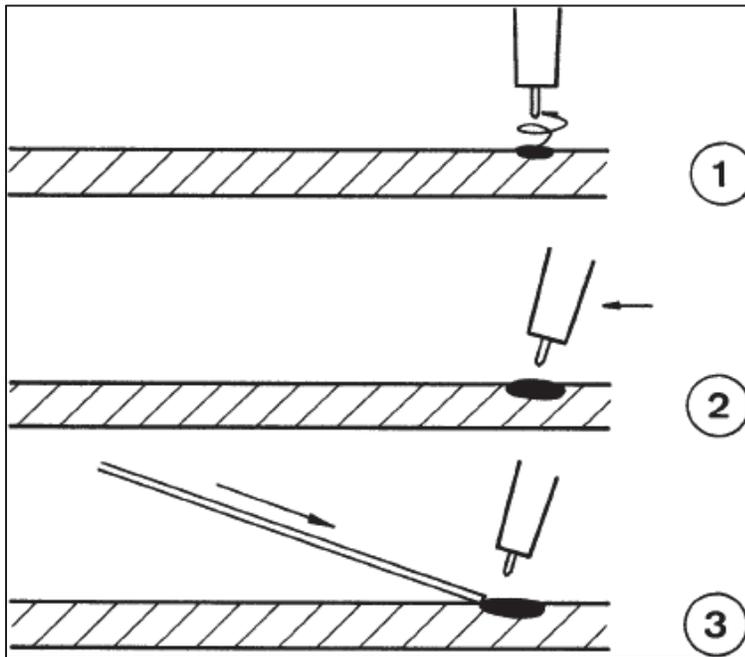
Ajustar el flujo de gas hasta que la superficie del baño de soldadura sea completamente brillante y el cordón de soldadura no tenga depósitos de óxido. Si el electrodo aparece opaco o gris, el flujo de gas es inadecuado.

El flujo de gas debe comenzar antes de la iniciación del arco y continuar hasta que éste se extinga para preservar el baño de soldadura durante el enfriamiento y la solidificación.

Los períodos de pregás oscilan entre tres y cuatro segundos, mientras que los tiempos de postgás oscilan entre cinco y treinta segundos, dependiendo del diámetro del electrodo y de la intensidad de la soldadura.

2.7.4. *Modo Operatorio*

Una vez encendido el arco, se mantiene sobre la unión hasta que aparece un punto brillante, que indica que el metal de la pieza se ha fundido. Formando pequeños círculos con la llama, el soldador amplía la zona brillante. A continuación, con la velocidad de avance adecuada, comienza a moverse de derecha a izquierda de la forma indicada en la figura 15.

Figura 15*Cebado de arco*

Nota: Gomez.N.(2016)

Cuando el oxígeno del aire entra en contacto con el electrodo debido a una longitud de arco o una corriente excesivamente largas, se forma una capa de óxido de tungsteno blanco. En este caso hay que interrumpir la actividad de soldadura (por el tiempo) y cambiar el electrodo.

Algunos de los conceptos básicos de la soldadura TIG se basan en la regla de soldadura:

1) Ajuste de la Fuerza de Soldadura:

Esta característica está muy correlacionada con la velocidad de avance para un grosor y un diámetro de electrodo determinados. El equilibrio entre ambos factores depende de la habilidad..

No hay problema con un charco de soldadura relativamente grande durante la soldadura en canal; por el contrario, en ciertos casos, es mejor evitar un volumen elevado de líquido que sea difícil de regular, asimismo, la disminución de la resistencia debida a la ubicación de la soldadura es proporcional al grosor de la pieza: en el caso de las chapas de 3-4 mm de grosor, es del 5-10% en el caso de las soldaduras remachadas, pero del 20% en el caso de las soldaduras remachadas. Piezas de hasta 8 mm de diámetro, sin embargo, la corriente de soldadura debe superar el valor máximo admisible del electrodo, que varía en función de su diámetro y diseño.

2) La longitud del Arco:

Debe ser compacto y resistente, este es uno de los aspectos más difíciles del procedimiento, y que sin duda exige una amplia formación.

3) Avance:

Hay que seleccionar el máximo, que genera un grano no motorizado, y el mínimo, que produce un grano grande y una cantidad importante de calor para el componente al soldar a mano (mayor deformación).

4) Masa de metal de aporte por unidad de longitud de Soldadura:

Al soldar a la izquierda, el soldador mantiene una visión clara de la cubeta, lo que le permite modificar el tamaño del baño según sea necesario, ya sea ajustando el movimiento de la varilla o trabajando al ritmo predeterminado de la antorcha. El objetivo es mantener la soldadura brillante y uniforme, sin signos visibles de grosor excesivo.

El soldador estima la cantidad de metal de aportación basándose en el aspecto del cordón, que debe tener suficiente masa y una superficie homogénea, sin vetas pero no demasiado gruesa.

Cuando se suelda en interiores en posición de costilla, la llama se inclina algo más hacia la parte superior de la costilla que hacia la parte inferior para ayudar a gestionar el baño de soldadura.

Las soldaduras en los puentes de metal frío rara vez son impecables y necesitan una sustitución completa. En este caso, el soldador reducirá la velocidad de transición para garantizar la correcta separación de las cargas metálicas.

2.7.5. Extinción del Arco

Generalmente, el arco se extingue interrumpiendo la corriente de soldadura, pero la protección del gas no cesa hasta transcurrido un tiempo determinado.

Hay que tomar ciertas precauciones para evitar la creación de un cráter, que acabará provocando una fractura, subir y bajar el arco a 2 ó 3 cm de la punta de la soldadura para ampliar el espesor hasta el final de la brida es una de esas precauciones. Otra forma es alargar esta parte con el talón del pie ya que el arco sale y se empuja inmediatamente hacia un lado. La amortiguación del arco también se puede realizar mediante métodos electrónicos (rampa).

2.8. Acero ASTM A36

El acero ASTM A36 es un material que ha sido el más utilizado en la industria ecuatoriana debido a sus cualidades y propiedades. Esta sustancia está compuesta por componentes químicos, de los cuales el más abundante es el hierro y el menos abundante es el carbono. Actualmente, no supera el 1,2 por ciento en peso de la composición y suele oscilar entre el 0,2 y el 0,3 por ciento, lo que simplifica la fundición de esta variedad de acero. (Telenchana, 2013).

Las propiedades de composición se utilizan para clasificar los materiales en función de sus cualidades numéricas dominantes, la facilidad con la que se pueden realizar tratamientos térmicos específicos y su aplicación prevista. El acero se utiliza con frecuencia en la producción de equipos y herramientas, así como en estructuras y obras públicas, debido a la diversidad que ofrece y, sobre todo, a su disponibilidad en el mercado. Las cualidades de fluencia lineal y elástica del material lo hacen predecible en las construcciones, por lo que es el más utilizado en la industria.

Dado que existen muchos tipos de aceros por su composición y propiedades de aleación, se han adoptado ciertas normas para su control, las cuales son impuestas por cada país, cada producto siderúrgico y cada uno de los consumidores de estos materiales.

Las normas de acero más conocidas en el mundo son las clasificaciones AISI, ASTM, DIN o ISO; estas normas establecen las cantidades mínimas y máximas de cada componente, así como las características mecánicas del acero formado. Los dos primeros números de la clasificación del acero de baja aleación AISI, AISI XXXX, indican el porcentaje de aleación, mientras que los dos últimos dígitos indican el contenido nominal de carbono en fracciones de 0,01%. El acero también se clasifica por el procedimiento de tratamiento térmico, que consiste en calentar y enfriar un metal a determinadas temperaturas y condiciones para aumentar sus cualidades mecánicas y su rigidez. Esta técnica no altera el contenido químico de la sustancia, sino los componentes estructurales.

Los métodos básicos de tratamiento térmico son: recocido (aumento de la dureza y resistencia del acero), templado (preservación de la dureza y aumento de la dureza), recocido (aumento de la elasticidad y disminución de la dureza) y tratamiento térmico ordinario. (para que el material no tenga tensiones internas y tenga una distribución de carbono uniforme).

Entre las características más importantes que distinguen al acero se encuentran las siguientes:

- **Flexibilidad**

Cuando se elimina una fuerza de deformación de un elemento, éste vuelve a su forma original. Se denominan totalmente robustos si su límite elástico no supera el propio.

- **Maleabilidad**

Una propiedad que el material debe soportar deformaciones significativas sin romperse cuando se somete a esfuerzos de tracción elevados. Es probable que los materiales que carecen de esta propiedad sean duros y quebradizos y se agrieten con un impacto repentino. Las altas concentraciones de tensión surgen en varios sitios en los órganos cargados regularmente.

Debido a que los aceros estructurales estándar son dúctiles, permiten la fundición local en estos lugares, evitando el colapso prematuro. Cuando se sobrecarga en una estructura dúctil, su gran deflexión proporciona una clara evidencia de falla inminente.

- **Durabilidad.**

El acero estructural es tan fuerte como dúctil, la perseverancia es el total de estas actividades. Las estructuras de acero sometidas a grandes deformaciones son siempre capaces de soportar enormes fuerzas. La durabilidad también se reconoce como la capacidad de un material para absorber enormes cantidades de energía.

- **Alta resistencia**

La alta resistencia del acero por unidad de peso sugiere que el peso de la estructura será relativamente bajo, lo que supone una ventaja importante en la construcción de grandes superficies, como puentes o estructuras elevadas.

- **Tenacidad**

Las características del acero no se degradan drásticamente con el paso del tiempo, como ocurre con las construcciones de hormigón armado.

Según la ASTM (American Society for Testing and Materials), “los aceros estructurales modernos se clasifican de la siguiente manera: acero de uso general (A36), acero estructural al carbono (A529), acero de baja aleación con alta resistencia a la tracción (A529), aceros estructurales de baja aleación, de baja aleación y resistentes a la corrosión atmosférica (A242 y A588), y aceros templados y revenidos (A514 y A852)”.

La Tabla 9 muestra una comparación de las propiedades de estos aceros estructurales.

Tabla 9

Propiedades de los aceros estructurales.

Designación de la ASTM	Tipo de Acero	Formas	Usos Recomendados	Esfuerzo mínimo de fluencia Fy, en ksi	Resistencia mínima especificada a la tensión Fu, en ksi
A36	Al carbono	Perfiles, barras y placas	Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas o soldadas	36, pero 32 si su espesor es mayor de 8 pulg	58 - 80
A529	Al carbono	Perfiles y placas hasta de 1/2 pulg	Similar al A36	42 - 50	60 - 100
A572	Columbio-vanadio de alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta de 6 pulg.	Construcción soldada o atornillada. No para puentes soldados con Fy grado 55 o mayor	42 - 65	60 - 80
A242	De alta resistencia baja aleación y resistente a la corrosión	Perfiles, placas y barras hasta de 5 pulg.	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas; técnica de soldado muy importante	42 - 50	63 - 70
A588	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Placas y barras hasta de 4 pulg.	Construcción atornillada	42 - 50	63 - 70
A852	Aleación templada y revenida	Placas y barras hasta de 4 pulg.	Construcción soldada o atornillada, principalmente para puentes y edificios soldados. Proceso de soldadura de importancia fundamental	70	90 - 110
A514	Baja aleación templada y revenida	Placas solo de 2.5 a 6 pulg.	Estructura soldada con gran atención a la técnica; no se recomienda si la ductilidad es importante	90 - 100	100 - 130

Nota: Catálogo ACEROS AREQUIPA PERU -S.A.C

2.8.1. Aplicaciones del Acero ASTM A36

Los aceros ASTM A36 tienen una variedad de aplicaciones en diversas industrias.

Algunas de las aplicaciones son:

Estructuras de edificios.

- Estructuras de edificios industriales y deportivos.
- Cables para puentes (suspensión, tornillo, marquesina, soldadura).
- Estructura de una plataforma petrolera.

- Estructura del tanque, coraza, molde, matriz de estampación.
- Paneles plegables para el techo.
- Malla electrosoldada de alambre.
- Etc..

2.8.2. Presentación de los Aceros ASTM A36

El acero ASTM A36 está disponible en un número de configuraciones, incluyendo.

- Planchas
- Barras
- Láminas
- Perfiles estructurales
- Tubos

Las estructuras de acero, los puentes, los postes de electricidad, las torres de comunicación, los edificios en voladizo, con montantes o soldados, así como los equipos eléctricos y de señalización, están hechos de acero estructural al carbono. Las principales formas de producción de este acero son:

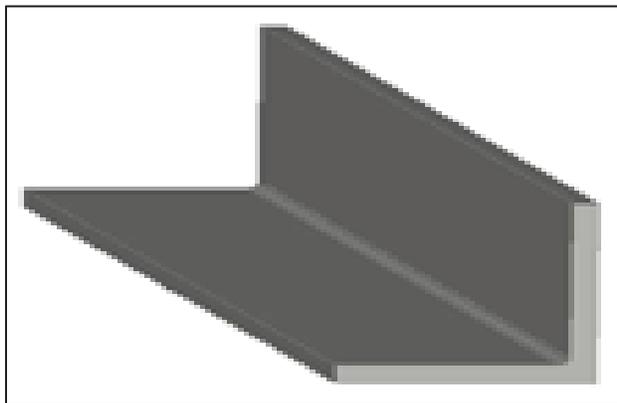
a) Ángulos estructurales L

Este es un producto de perfil hecho de partes iguales, espaciadas uniformemente en la sección transversal para mantener una simetría uniforme, en ángulos rectos. La construcción de estructuras masivas de techos extendidos, la construcción naval, los edificios industriales, los almacenes, las torres de transmisión, la carrocería de automóviles y la fabricación de puertas y otros accesorios para viviendas son sólo algunos de sus usos.

Este producto se muestra en la figura N° 16

Figura 16

Perfil en L



Nota: Catalogo ACEROS AREQUIPA

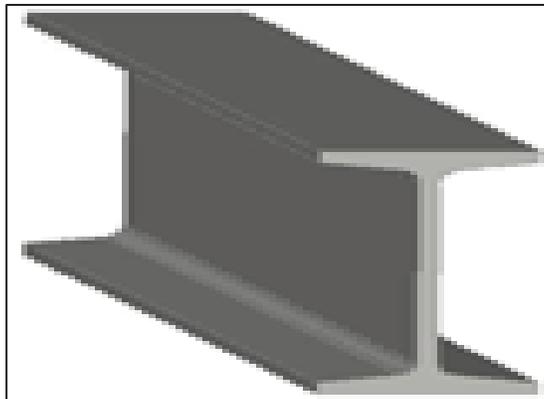
b) Vigas H

Producto de acero laminado en caliente de sección transversal en forma de H. Se utiliza para fabricar piezas estructurales que se doblan o comprimen en gran medida con poca torsión, como vigas, columnas y moldes metálicos. Las grandes estructuras y los sistemas estructurales a gran escala, así como las construcciones de acero para puentes, almacenes, edificios y barcos, suelen construirse con él.

Este producto se muestra en la figura N° 17

Figura 17

Vigas H



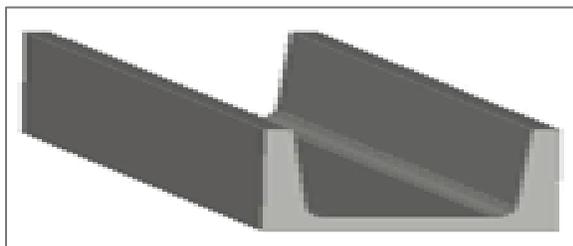
Fuente: Aceros Arequipa

c) Canales U

Placas de acero con una porción en forma de U que han sido laminadas en caliente. Con ellas se realizan construcciones metálicas como vigas, viguetas, cuerpos, soportes y canales. etc..

Figura 18

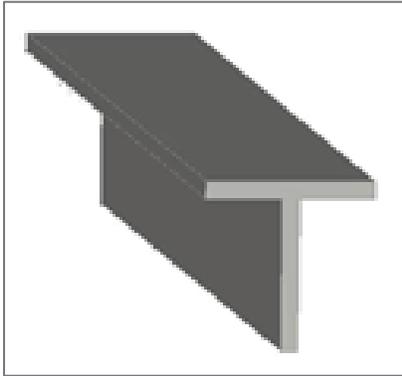
Canal en U



Nota: Catalogo ACEROS AREQUIPA

d) Perfiles T

Su estructura, al igual que la de la parte anterior, es cálida debido a la mezcla de paneles. Las estructuras metálicas para la construcción civil, los soportes de transmisión y la carpintería metálica son todos ejemplos de carpintería metálica. La figura 19 representa este producto.

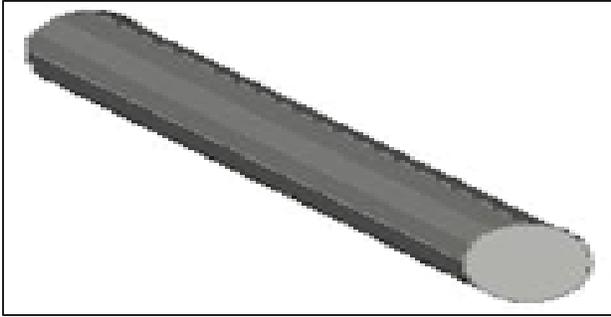
Figura 19*Perfiles T*

Nota: Catalogo ACEROS AREQUIPA

e) Barras redondas lisas y Pulidas

Los artículos laminados en caliente con sección circular y superficie lisa son muy populares en el negocio de la venta de soportes. Puertas, ventanas, rejas, vallas, componentes de maquinaria, ejes, pernos y tuercas, así como postes, pasadores y cerraduras, son ejemplos de uso. La figura 20 muestra este producto.

Figura 20*Barra redonda lisa y pulida*



Fuente: Aceros Arequipa

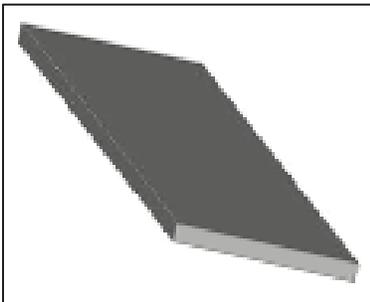
f) Pletinas

Producto rectangular de acero laminado en caliente.

Entre sus aplicaciones está la fabricación de edificios metálicos, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc. La figura N° 21 muestra este producto.

Figura 21

Pletina



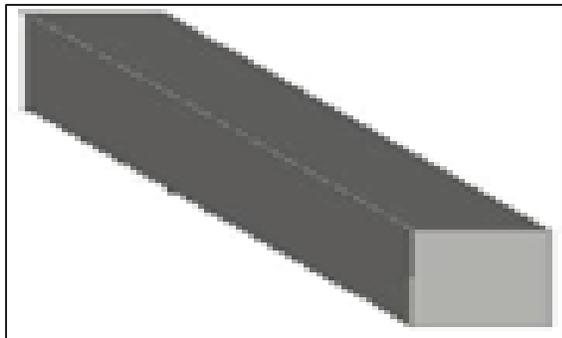
Nota: Catalogo ACEROS AREQUIPA

g) Barras cuadradas

Las chapas laminadas en caliente son un producto muy conocido y utilizado. Con ellas se fabrican estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas y piezas de forja, entre otras cosas. Este producto se ve en la Figura N° 22.

Figura 22

Barra cuadrada



Nota: Catalogo CACEROS AREQUIPA

h) Barras hexagonales

Al igual que los anteriores, se compone de chapas laminadas en caliente con sección transversal hexagonal y superficie lisa. Se utiliza a menudo para crear componentes de ensamblaje como pernos, tuercas, ejes, pasadores y chavetas, así como herramientas manuales como barras, cinceles y brocas que pueden ser templadas y revenidas según sea necesario. Este producto se muestra en la Figura N° 23.

Figura 23

Barras hexagonales



Nota: Catalogo ACEROS AREQUIPA

i) Perfiles generadas por soldadura o unión de sus elementos

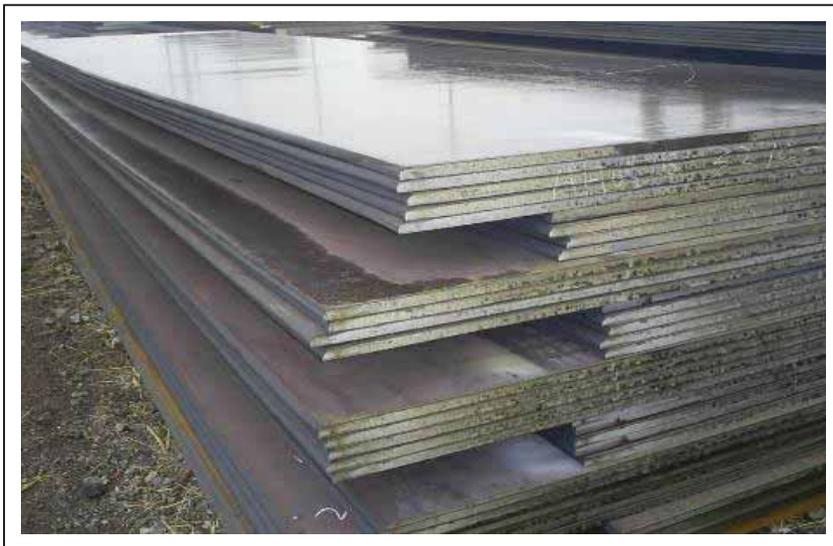
Se trata de conjuntos estructurales que suelen tener forma rectangular, con miembros y otras características generadas por soldadura. La ventaja de este tipo de conjuntos es que se ajustan bien a los requisitos de diseño basados en un mejor análisis estructural. Relación dimensional en perfiles estándar H, I.

j) Chapa

El acero se enrolla en bobinas de diferentes espesores. Este papel se utiliza en el proceso de ebullición y en la fabricación de carrocerías de automóviles. Este producto se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Chapas de acero



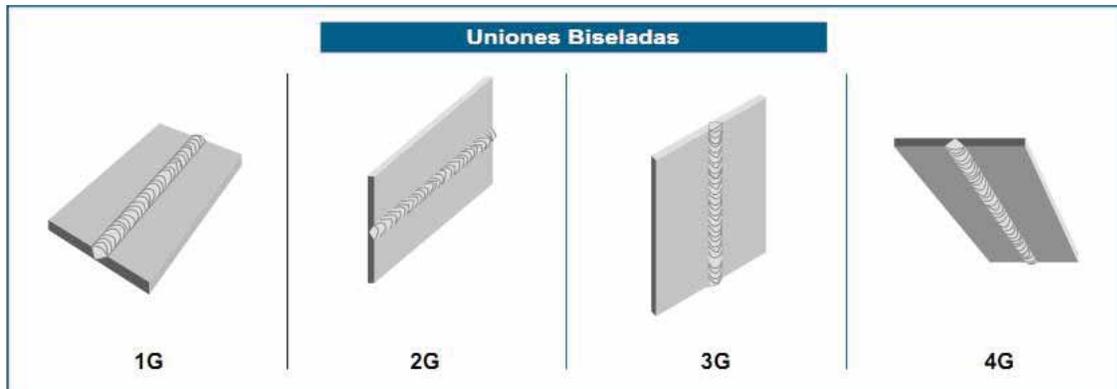
Nota: Catalogo ACEROS AREQUIPA

2.9. Posiciones de Soldadura.

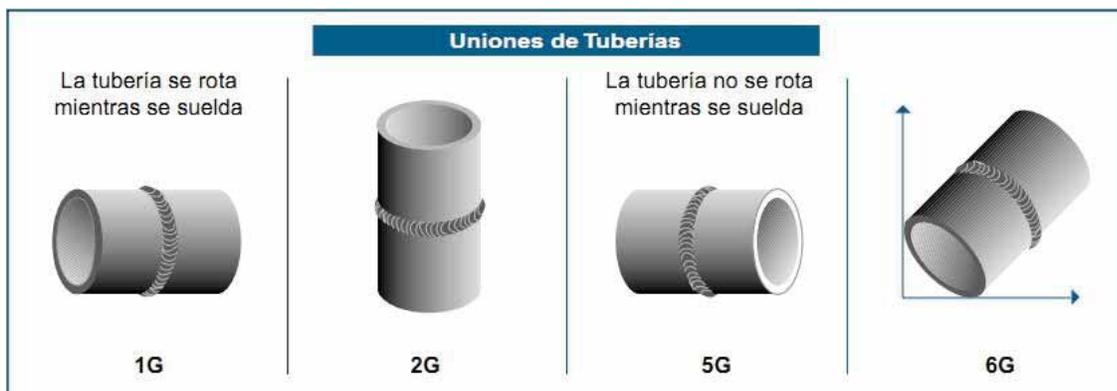
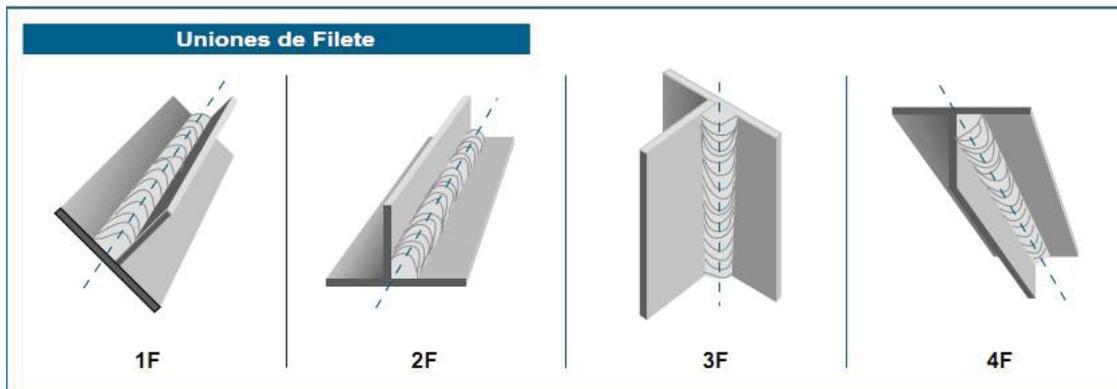
La figura 25 muestra las posiciones de soldadura definidas por ANSI/AWSA 3.0-8.

Figura 25

Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWSA 3.0-8



Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
-------	------------	----------	-------------



Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

2.10. Flujo de Calor en Soldadura por Fusión

El calor se utiliza para unir los dos componentes en la técnica de soldadura. La aportación térmica es importante no sólo porque permite la unión, sino también porque influye en la microestructura y, en consecuencia, en las características mecánicas del material. También puede dar lugar a irregularidades dimensionales y tensiones residuales, poniendo en peligro la integridad de los componentes soldados.

2.10.1. Factores que Influyen en los Cambios de Temperatura Durante la Soldadura por Arco

Según la investigación, las siguientes variables influyen en la distribución de la temperatura en la soldadura manual con electrodo (SMAW).

a) Aporte de calor (Heat input).

La energía creada durante la soldadura se denomina aporte de calor. Es posible que la causa sea un problema químico, eléctrico o mecánico. En este artículo se tratan los fundamentos de la soldadura por arco. La entrada térmica generalmente se expresa en julios por milímetro de soldadura y se define como:

Sin embargo, de toda la energía generada durante la soldadura, solo una parte se utiliza para fundir las piezas soldadas.

$$h_{net} = \frac{v \times I}{v} f \quad \text{ec (2.1)}$$

- H_{net}: Calor neto suministrado (j/mm)
- I: Amperaje (amp)
- E: Voltios (volt)
- S: Velocidad de soldeo (mm/seg)
- F: eficiencia térmica

Sin embargo, de toda la energía generada durante la soldadura, solo una parte se utiliza para fundir las piezas soldadas. La Tabla 10 muestra la eficiencia térmica de diferentes procesos de soldadura.

Fuente: Fosca, C. (2002). soldadura de metales Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Tabla 10

Eficiencias térmicas de diferentes procesos de soldadura

Proceso	Eficiencia
Oxiacetilénico	35%
GTAW	20-50%
GMAW	70-85%
SMAW	70-80%
FCAW	65-85%
SAW	90-99%

b) Temperatura inicial de la chapa (o temperatura de precalentamiento).

La temperatura a la que debe precalentarse el metal antes de soldar. La temperatura a la que debe calentarse el metal antes de soldar.

c) Ingeniería de soldadura.

La ingeniería de soldadura se ocupa del espesor de la pieza.

d) Propiedades térmicas del material.

Específicamente relacionado con la conductividad térmica del material.

- Cuanto menor sea el coeficiente de conductividad térmica, más pronunciada será la distribución de la temperatura máxima. En otras palabras, el área afectada por el calor será más pequeña.

- A mayor conductividad térmica del metal, más rápido se enfría el metal después de la soldadura.
- A mayor conductividad térmica, menor tiempo de exposición a altas temperaturas.

e) El diámetro del electrodo.

Se necesitarán mayores aportes de calor para fundir electrodos de mayor diámetro. Esta es una consideración menor, pero tiene un impacto en la magnitud de la fuente de calor.

Por último, cabe señalar que los diferentes rangos de temperatura crean pequeños cambios estructurales en el metal, que alteran las cualidades mecánicas de la soldadura. En general, cuando el acero se expone a temperaturas comprendidas entre la temperatura crítica más baja (723 °C) y el punto de fusión (1480 °C), se producen cambios metálicos. Las zonas del componente que alcanzan valores dentro de las limitaciones mencionadas sufrirán alteraciones considerables durante la fabricación de la soldadura.

2.10.2. Ecuación del Máximo de Temperatura

Entender cómo se obtiene el valor máximo de temperatura en una zona determinada es crucial para prever o interpretar los cambios metalúrgicos que se producen en un lugar del metal sólido próximo a una soldadura. La ecuación representa la distribución de las temperaturas máximas en el metal base cerca de la soldadura en la soldadura a tope de una sola pasada de chapa metálica, por ejemplo:

$$\frac{1}{t_p - t_o} = \frac{4,13.c.t.Y}{H_{net}} + \frac{1}{t_m - t_o} \quad \text{Ecu.2.2}$$

Donde:

T_p = Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) a una distancia Y (mm) del extremo o contorno del metal fundido.

T_o = Temperatura inicial de la chapa.

T_m = Temperatura de fusión

C = (Temperatura de líquidos del metal a soldar)

H_{net} = energía aportada neta (J/mm)

La ecuación de la temperatura máxima puede utilizarse en diferentes situaciones, como por ejemplo }:

- Determinación de la temperatura máxima en puntos determinados de la ZAC.
- Estimación del ancho de la ZAC
- Demostrar el efecto causado por el precalentamiento sobre el ancho de la ZAC

2.10.3. Cálculo del Ancho de la ZAT

Uno de los usos más interesantes de la ecuación que estima la mayor temperatura en un lugar es el cálculo de la anchura de la ZAC de una soldadura. Para calcular correctamente la anchura, el extremo de la ZAC más alejado de la soldadura debe ser reconocido por un valor de temperatura máxima en ese extremo, que debe responder a cambios en la estructura o propiedades del material soldadura. Tras el esmerilado y el taladrado de la sección transversal de la soldadura, la mayoría de los aceros al carbono o de baja aleación, por ejemplo, presentan una circunferencia definida en los puntos en los que alcanzan una temperatura máxima de 730°C .

Si suponemos que el contorno así producido se establece como la envolvente más lejana de ZAC, podemos calcular la anchura. Aunque la ecuación de la temperatura máxima es útil, es

importante comprender sus limitaciones. El mayor defecto de la ecuación es que sólo funciona para placas delgadas con conductividad térmica en direcciones paralelas al plano de la placa.

La ecuación es válida para todas las operaciones de penetración simple, soldadura y cizallamiento térmico, independientemente del espesor de la placa. En realidad, cualquier soldadura por arco que requiera menos de cuatro pasadas es válida. La ecuación 3.1 puede utilizarse por pasada, sin embargo, T_0 en el múltiplo de la ecuación de la temperatura máxima puede ser la temperatura interfacial, que es la temperatura a la que se enfría la zona de soldadura entre las fusiones.

2.10.4. Velocidad de Enfriamiento

Cuando se trata de flujos térmicos, la velocidad de enfriamiento de la soldadura es una cuestión fundamental que hay que tener en cuenta. Después de que un punto de fusión de metales, o cerca de él, haya alcanzado las temperaturas máximas, la velocidad de enfriamiento puede tener un impacto significativo en la estructura o las características del metal, o incluso en la pureza del metal básico.

2.10.5. Ecuación de la Velocidad de Enfriamiento para Chapas Gruesas y Delgadas

Requiere cuentas y comparar la especificación de velocidad de enfriamiento precisa para las condiciones que se producen. Solo referirse a la velocidad de enfriamiento coreana debido a diferentes velocidades de enfriamiento, como la pendiente térmica, con la posición y el tiempo. Se determina el método más útil.

La velocidad de enfriamiento de la varilla de soldadura en metal a una determinada temperatura, T_C . Cuando la temperatura cae por debajo del nivel, la velocidad de enfriamiento en soldadura y en calor es independiente de la otra. Hay una temperatura de interés en los aceros

al carbono y de baja aleación que se sitúa en torno a la temperatura de "nariz" en el plan de temperatura temporal (diagrama TTT).

Aunque la temperatura precisa es irrelevante, debe ser coherente para todos los cálculos y comparaciones. $T_c = 550 \text{ °C}$ es adecuada para la mayoría de los grados de acero.

La principal utilidad práctica de la ecuación de la velocidad de enfriamiento es el cálculo de las necesidades de precalentamiento. Por ejemplo, cuando las chapas son bastante gruesas y necesitan muchas pasadas, más de seis chapas para terminar la unión, la velocidad de enfriamiento R viene dada por:

$$E = \frac{2\pi K(T_c - T_o)^2}{H_{net}} \quad \text{Ecu. 2.3}$$

Dónde:

R = Velocidad de enfriamiento en un punto sobre el eje central de la soldadura (C/seg) en el momento justo en que el punto se está enfriando a la temperatura de interés T_c .

k = Conductividad térmica del metal (J/mm, x seg, x °C)

Si las chapas son relativamente delgadas, requiriendo menos de cuatro pasadas, la fórmula es:

$$R = 2\pi\rho C \left[\frac{t}{H_{net}} \right]^2 (t_c - t_o)^3 \quad \text{Ec.2.4}$$

Si las láminas son relativamente delgadas, lo que requiere cuatro veces menos, entonces la fórmula es:

Sin embargo, la tasa de enfriamiento cerca de la zona de fusión es solo un poco más baja que la del eje central de la soldadura.

En consecuencia, la ecuación de la velocidad de enfriamiento es válida tanto para la totalidad de la soldadura como para la ZAT inmediata. El contraste entre placas gruesas y finas requiere una aclaración. Cuando el flujo de calor es tridimensional, tanto por debajo como alrededor de la soldadura, se emplea la igualación de placas gruesas.

Por ejemplo, una bolita colocada en una placa gruesa puede someterse a una ecuación de placa gruesa. La ecuación de placa delgada es aplicable a todas las soldaduras, ya sean de penetración simple, de penetración completa o de fallo térmico. A menudo, determinar el espesor o la delgadez de una placa es difícil debido a que estas frases no tienen una definición absoluta.

Por ello, resulta ventajoso definir una cantidad adimensional denominada espesor relativo de la placa.:

$$r = t \sqrt{\frac{\rho c (t_c - t_o)}{H_{net}}} \quad \text{Ec.2.5}$$

Cuando r es superior a 0,9, se aplica la ecuación de las placas gruesas; cuando r es inferior a 0,6, se aplica la ecuación de las placas finas.

Cuando r está entre 0,6 y 0,9, la ecuación de las placas gruesas produce una velocidad de enfriamiento excesivamente alta, mientras que la ecuación de las placas finas produce una velocidad de enfriamiento excesivamente baja.

Sin embargo, si se realiza una división arbitraria en $r = 0,75$ y los valores más altos se consideran placas gruesas y los valores más bajos se consideran placas finas, el error máximo en

los cálculos de la tasa de enfriamiento suele ser inferior al 15%, y el error es incluso menor cuando se utilizan las ecuaciones para calcular los requisitos de precalentamiento.

2.11. Defectos Típicos en las Soldaduras

Durante el proceso TIG, pueden aparecer una variedad de defectos típicos y causar fallas en las piezas. La Tabla 11 detalla las discontinuidades que se presentan en las piezas soldadas mediante el proceso TIG.

Tabla 11

Discontinuidades producidas en el proceso TIG.

Falta de Fusión en los Bordes

Aspecto: Normalmente no visible, detectable por END o doblado lateral.



Causa	Remedio
<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de corriente demasiado bajo. - Velocidad de soldeo demasiado alta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementar la intensidad. - Disminuir la velocidad de soldeo. - Incrementar el ángulo de chaflán, reducir el talón de la raíz o aumentar la separación en la raíz. - Reducir la longitud del arco.
<ul style="list-style-type: none"> - Ángulo del portaelectrodo incorrecto. - Posición no centrada respecto a los bordes.  <ul style="list-style-type: none"> - Incorrecta preparación de la unión. - Diámetro de varilla excesivo para el espesor de chapa a soldar. - Limpieza insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inclinarse el portaelectrodo hacia atrás y mantener el arco sobre el borde delantero de la gota de metal fundido. - Situar el portaelectrodo centrado respecto a los bordes de la unión. <ul style="list-style-type: none"> - Incrementar el ángulo de la unión. - Reducir el diámetro de la varilla. - Limpiar la superficie de las chapas.

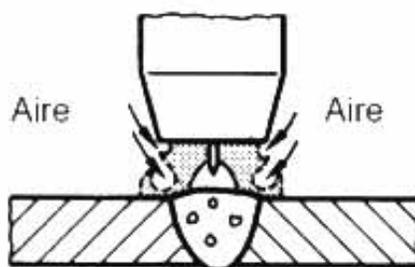
Porosidad

Aspecto: Poros superficiales y más normalmente subsuperficiales detectables por radiografiado.

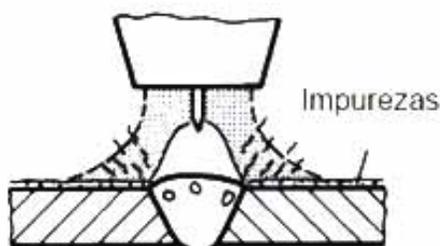


Causa

- Protección insuficiente.
- Turbulencias en el gas de protección.



- Defectuosa distribución de la protección de la unión.
- Suciedad en la chapa, aceite, grasa, pintura, etc.



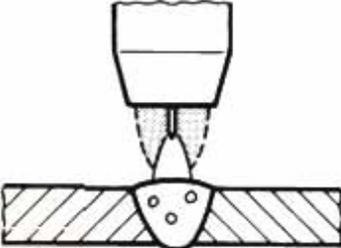
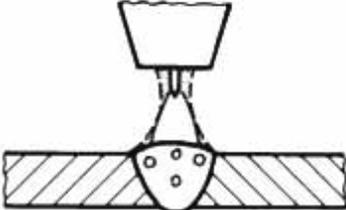
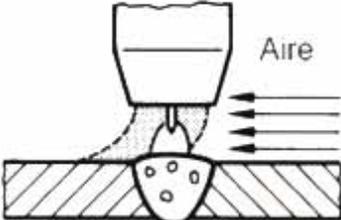
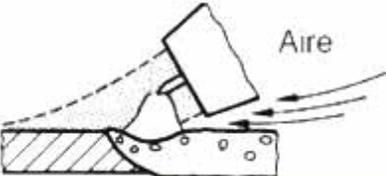
- Suciedad en la varilla de aporte.
- Gas contaminado.

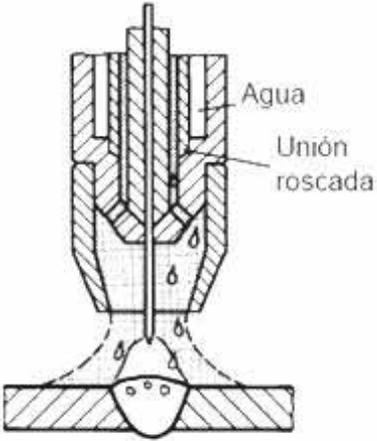
Remedio

- Incrementar el caudal del gas de protección.
- Disminuir el caudal del gas. Utilizar un laminador de flujo o cambiar la boquilla si presenta algún.

- Proteger toda el área de la unión.
- Limpiar las superficies y desengrasarlas.

- Limpiar y desengrasar la varilla.
- Cambiar las botellas de gas.
- Purgar las líneas del gas antes de soldar.
- Comprobar las conexiones.
- Emplear tubos de cobre o neopreno.

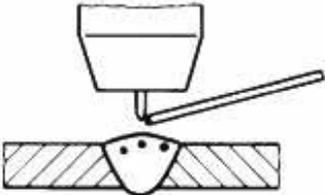
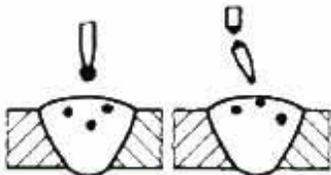
Porosidad	
Causa	Remedio
<ul style="list-style-type: none"> - Pistola separada de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Acercar la pistola a la pieza.
<ul style="list-style-type: none"> - Tobera demasiado estrecha. 	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar la tobera adecuada.
<ul style="list-style-type: none"> - Soldeo en campo. Velocidad del viento elevada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger la zona de soldeo del viento.
<ul style="list-style-type: none"> - Ángulo de inclinación de la pistola demasiado pequeño. (Ángulo de desplazamiento muy grande). 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la inclinación respecto al material base.

Porosidad	
Causa	Remedio
<ul style="list-style-type: none"> - Entrada del agua de refrigeración en el gas de protección por existir una fuga. <div style="text-align: center;">  </div>	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeccionar periódicamente el equipo de soldeo.
Grietas en el Metal de Soldadura	
Aspecto: Grieta a lo largo del centro de la soldadura.	
Causa	Remedio
<ul style="list-style-type: none"> - Excesiva tensión transversal en soldaduras embridadas. - Relación profundidad/ancho demasiado baja. - Contaminación de las superficies. - Mal ajuste entre las piezas en las soldaduras en ángulo de forma que quedan aberturas largas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Modificar el proceso de soldeo para reducir las tensiones debidas al efecto térmico. - Ajustar los parámetros para trabajar con una relación profundidad/ancho 1:1. - Limpiar las superficies, eliminando muy especialmente los lubricantes de corte. - Mejorar el ajuste de las chapas en la unión.

Inclusiones de Volframio

Aspecto: Visible en radiografías. Las inclusiones de volframio tienen el mismo efecto que las entallas y son zonas de posible corrosión rápida.



Causa	Remedio
<ul style="list-style-type: none"> - Contacto entre pieza y electrodo de volframio. - Contacto entre varilla de aporte y electrodo de volframio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Separar el portaelectrodos de la pieza. Disminuir la longitud libre del electrodo de volframio. - Introducir la varilla en el baño de fusión sin tocar al electrodo.
<ul style="list-style-type: none"> - Intensidad excesiva tanto en el soldeo c.a. como en c.c. - Ejemplo: caso del soldeo en corriente continua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar la intensidad adecuada.

Inclusiones de Óxidos

Aspecto: Inclusiones de forma irregular. Visibles mediante radiografía.



Causa	Remedio
<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente limpieza de las superficies del metal base y de la varilla, especialmente en materiales con óxidos refractarios: aluminio y magnesio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar una limpieza mecánica y/o química adecuada. También se deberá cepillar entre pasadas.

Falta de Penetración en la Raíz	
<p>Aspecto: Entalla o rendija en raíz.</p> 	
Causa	Remedio
<p>Nivel de corriente demasiado bajo.</p> <p>Velocidad de soldeo demasiado alta.</p> <p>Incorrecta preparación de unión.</p> <p>Arco demasiado largo.</p> <p>Aspecto: Raíz cóncava</p> <p>Puntos de soldadura sin fundir totalmente durante el soldeo.</p> <p>En posición plana, caudal de gas de respaldo demasiado alto.</p> <p>Inaceptable preparación de la unión.</p>	<p>Incrementar la intensidad.</p> <p>Disminuir la velocidad de soldeo.</p> <p>Incrementar el ángulo de chaflán, reducir el talón de la raíz o aumentar la separación en la raíz.</p> <p>Reducir la longitud del arco.</p> <p>Reducir el tamaño de los puntos.</p> <p>Reducir la velocidad del caudal del gas de respaldo.</p> <p>Emplear preparaciones en U y asegurarse que la gota de metal fundido no forma puente entre las paredes de los bordes de la unión.</p>
Mordedura	
<p>Aspecto: Canal a lo largo del borde de la soldadura.</p> 	
Causa	Remedio
<ul style="list-style-type: none"> - Corriente de soldeo demasiado alto. - Velocidad de soldeo demasiado alta. - Pistola inclinada lateralmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducir la intensidad. - Reducir la velocidad de soldeo. <p>Situar la pistola en un plano perpendicular a la chapa.</p>

Nota: Catalogo de Soldadura SOLDEXA

2.12. Ensayos no Destructivos y Destructivos

2.12.1. Ensayo no Destructivo

“Se denomina ensayo no destructivo (END), también llamado en inglés non destructive testing (NDT), a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere sus propiedades físicas, mecánicas, químicas o dimensionales” (McKinsey, 2016). Los ensayos no destructivos se clasifican en:

- Inspección visual (VT)
- Líquidos Penetrantes (PT)
- Partículas Magnéticas (MT)
- Radiografía (RT)
- Ultrasonido (UT)
- Inspección visual (VT)

Para el presente trabajo solo se tomará en cuenta los ensayos siguientes: Inspección visual y líquidos penetrantes.

a) Inspección Visual

La inspección visual ANSI/AWS (2000) “es un método no destructivo de control de procesos valioso en el que se puede evaluar una soldadura de acuerdo con los requisitos aplicables desde la fase de preparación hasta la puesta en marcha para garantizar la calidad de la soldadura. Esta evaluación puede ser llevada a cabo por: soldadores, supervisores de soldadura, inspectores de soldadura en nombre de los contratistas, inspectores de soldadura en nombre de los propietarios o inspectores reglamentarios en primera instancia. Antes, durante y después de la soldadura, se lleva a cabo un examen visual, teniendo en cuenta factores como”:

- i. La técnica de soldadura de la junta soldada debe seguirse con exactitud.
- ii. Control de la preparación de la junta soldable,
- iii. La comprobación de que los equipos de soldadura (calibrados y en buen estado de funcionamiento), los materiales de aportación y los consumibles, los gases y los materiales base están en excelente estado de funcionamiento.
- iv. La calidad del cordón de soldadura de raíz,
- v. Antes de soldar en el lado opuesto, se debe preparar la raíz de la unión.
- vi. Precalentamiento de la temperatura y entre pasadas
- vii. La soldadura pasa en orden,
- viii. El aspecto de la soldadura y la calidad de los cordones de relleno
- ix. Entre pasadas, hay un alto nivel de limpieza.
- x. El tamaño final de la soldadura, y la apariencia
- xi. En la soldadura se producen distorsiones y deformaciones.
- xii. Después de la soldadura, hay un tratamiento post-soldadura.
- xiii. Otras informaciones.

b) Líquidos Penetrantes

Este ensayo se utiliza para descubrir discontinuidades en la superficie de los materiales investigados. Es uno de los métodos de ensayos no destructivos (END) más utilizados para detectar discontinuidades superficiales en materiales sólidos no porosos. Dado que puede utilizarse en cualquier material magnético o no magnético, es probablemente la tecnología de END más utilizada en la actualidad. Los líquidos penetrantes ofrecen una amplia gama de sensibilidades y procedimientos a la industria, lo que le permite adaptarse a una gran variedad de tamaños y formas.

Debido a su adaptabilidad, es especialmente beneficioso para las pruebas realizadas en zonas distantes. También puede utilizarse en circunstancias en las que se producen componentes diminutos en poco tiempo.. (Asociación Española de ensayos no destructivos, 2009.” Ensayos No Destructivos, Líquidos Penetrantes Nivel II”, Editorial Fundación Confederal. Madrid. España).

La característica distintiva principal entre los dos tipos es:

1. Un colorante en las soluciones penetrantes fluorescentes se hace fluido cuando se expone a la luz negra o ultravioleta.

2. Un colorante de alto contraste es fluorescente bajo luz blanca en los penetrantes no fluorescentes.

Ambos líquidos tienen las mismas fases y se aplican de la misma manera:

- Limpieza del componente por primera vez.
- Se aplica el líquido penetrante.
- Se mide el tiempo de penetración.
- Se escurre el exceso de líquido.
- Se aplica el líquido revelador.
- Se examina la porción.
- Se limpia el componente hasta su estado final.
- Limpieza del componente por primera vez
- Se utilizan diferentes detergentes, disolventes, decapantes y otros agentes de limpieza para limpiar los componentes que se van a inspeccionar de contaminantes extraños como grasa,

óxidos, aceites, escoria, pintura, etc. El componente a inspeccionar debe estar totalmente seco una vez finalizada la operación de limpieza.

- Aplicación del líquido penetrante
- El penetrante líquido se administra de tres maneras: inmersión en un baño, rociando el líquido sobre la pieza (spray) y extendiéndolo sobre la pieza con un pincel, normalmente utilizando un color rojo. Un penetrante ideal para la inspección debe tener las siguientes propiedades:

- Resistencia a la evaporación.
- La aplicación en superficie es sencilla.
- La capacidad de pasar por agujeros y aberturas muy pequeños y estrechos.
- La capacidad de permanecer en grandes aberturas.
- La capacidad de mantener un color o una fluorescencia durante un largo periodo de tiempo.
- Una vez dentro de la discontinuidad, es difícil salir.
- Capacidad de propagación en capas extremadamente finas.
- La discontinuidad se absorbe fácilmente.
- Tóxico, incoloro, no corrosivo, no inflamable, estable en el almacenamiento y rentable.

- Medida del tiempo de penetración

Es esencial proporcionar el tiempo suficiente para que el líquido penetrante penetre en los defectos del artículo que se va a estudiar, por lo que es fundamental seguir el tiempo indicado en las botellas del producto.

- Eliminación del líquido sobrante

La limpieza de la pieza para eliminar el líquido sobrante puede realizarse mediante diversos métodos, como la inmersión, la pulverización o el rociado de la pieza en un baño de líquido limpiador.

- Aplicación del líquido revelador

El líquido revelador, que suele ser blanco, se aplica con sumo cuidado por inmersión, pulverización o rociado, ya que es un líquido muy volátil. Una vez aplicado, las regiones de la pieza que conserven restos de líquido revelador serán fácilmente visibles a simple vista.

- Examen de la pieza

Los líquidos fluorescentes deben observarse bajo lámparas de mercurio o tubos de luz violeta, mientras que los líquidos convencionales deben verse bajo luz natural, con puntos rojos en los lugares con defectos.

- Limpieza final de la pieza

La limpieza con disolventes y detergentes es necesaria para eliminar todas las formas de residuos líquidos, ya sean penetrantes o en desarrollo, etc.

2.12.2. Ensayos Destructivos

Se describen como experimentos realizados sobre un material utilizando instrumentos o equipos que modifican permanentemente su composición química o mecánica o su geometría dimensional.

Para el presente trabajo de investigación solo se tomará en cuenta el ensayo de dureza.

a) Dureza.

Vesselina Radeva (2014), define la dureza como “la resistencia que opone un material a ser penetrado por un cuerpo más duro, y esta micro penetración se realiza mediante una punta”.

Los ensayos de dureza más utilizados son:

- Ensayo Martens.
- Ensayo Rockwell.
- Ensayo Brinell.
- Ensayo Shore.
- Ensayo Mohs.
- Ensayo Vickers.
- Ensayo Poli.
- Ensayo Knoop. (Vesselina Radeva - 2014).
- Para el presente trabajo solo se tomara en cuenta el ensayo Rockwell C.

b) Dureza Rockwell

Según la norma ASTM E18-03, la dureza Rockwell se define como un método de ensayo de indentación en el que se utiliza un indentador de diamante cónico esferoidal (indentador de diamante) o una bola de acero endurecido (acero o carburo de tungsteno) en condiciones especificadas contra la superficie del material a ensayar en dos operaciones, y se mide la profundidad permanente de la impresión.

La norma ASTM E18-03 define el valor Rockwell como el incremento neto de la profundidad del indentador causado por el aumento de la fuerza aplicada al indentador desde un

valor inferior (preliminar) a un valor superior (específico), y luego volviendo al valor inferior.

Las escalas de durabilidad Rockwell se muestran en la tabla N° 12.

Tabla 12

Escalas de dureza Rockwell

Escala	Indentador	Carga Total	Color de escala	Aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina (<0,4 mm)
D	Cono diamante	100	Negro	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de ϕ 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0,6 mm)
B	Bola de ϕ 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de ϕ 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de ϕ 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de ϕ 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción o sintéticos
K	Bola de ϕ 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja, Ebonita (ASTM D530-59T), Madera laminada (ASTM D 805-52), Materiales sintéticos (ASTM D-785-60T), Otros materiales muy blandos o muy finos.
L	Bola de ϕ 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de ϕ 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de ϕ 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de ϕ 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de ϕ 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de ϕ 1/2"	150	Rojo	

Nota: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E18 -03.htm>

c) Ensayo de doblez

El ensayo de doblez en juntas soldadas se lleva a cabo de dos maneras, estas dos maneras son:

- Ensayo de doblado de cara

Las probetas para este ensayo de flexión frontal deben colocarse con la cara de la soldadura hacia la garganta de la matriz.

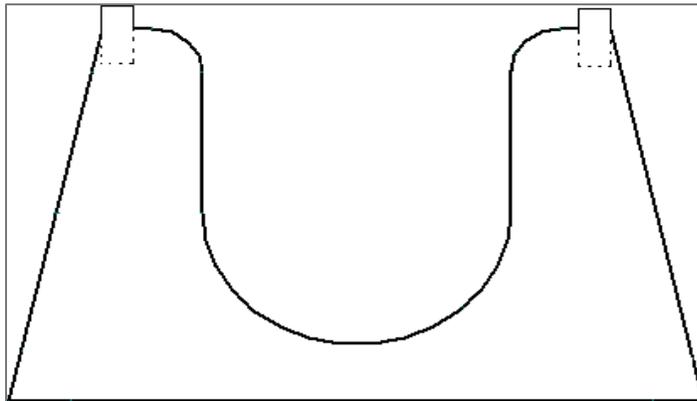
- Ensayo de doblado de raíz

Las probetas para este ensayo de flexión de la raíz deben colocarse con la raíz de la soldadura hacia la garganta de la matriz.

La probeta se doblará en un aparato de flexión guiada, como se muestra en la figura 26, teniendo cuidado de no sobrepasar el radio mínimo de flexión. Se puede emplear cualquier método que sea adecuado para desplazar el núcleo en referencia a la matriz estática.

Figura 26

Dispositivo (matriz) para doblado de probetas



Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se muestra los ensayos experimentales de las probetas de acero ASTM A36.

3.1. Maquinaria y Equipos Utilizados en la Investigación

3.1.1. *Máquina de Soldar*

Para la soldabilidad de las probetas, se hizo uso de la fuente de poder que se muestra en la figura N° 26, cuyas características son las siguientes:

- Máquina de 1 sola tarjeta
- Monofásico 220V.
- Ciclo de trabajo 240amp al 50%, a temperatura ambiente, 150 amp al 100%.
- Proceso: SMAW / TIG LIFT.
- Voltaje de Vacío 80V.
- Peso Neto 7.5 Kg.

En la figura 27, se observa la fuente de poder utilizada en la investigación.

Figura 27

Fuente de poder



Nota: Elaboración propia

3.1.2. Durometro

Se utilizó el durómetro que se observa en la figura 28. La escala usada es la Rockwell.

Sus características principales son:

- Carga mínima : 10 kg.
- Carga máxima : 60/100/150 kg.
- Aplicación de carga : Pesos seleccionados.
- Panel : Reloj analógico.
- Profundidad de la garganta : 168 mm.
- Altura máxima de la pieza : 170 mm.

Figura 28

Durómetro



Nota: Elaboración propia

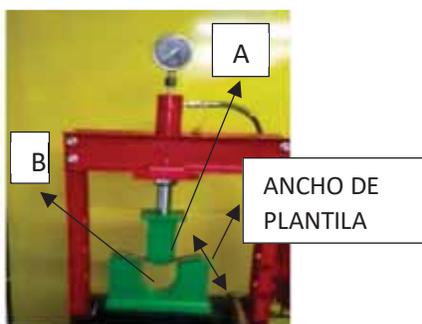
3.1.3. Equipo de Ensayo de Doblado

En la figura 29 se puede observar el equipo de ensayo de doblado. Sus características son:

- Radio del embolo o punzón A : 44.45 mm
- Radio de plantilla B : 56.74 mm
- Ancho de la plantilla : 50.8 mm

Figura 29

Equipo de ensayo de doblado marca kamasa



Nota: Elaboración propia

3.2. Materiales para la Investigación

3.2.1. *Material Base*

Para la presente investigación se usó el acero ASTM A36. La temperatura de fusión de dicho acero es de 1538 °C.

La composición química del acero se muestra en la Tabla 13.

Tabla 5

Composición química del acero A36

Carbono (C)	0,25% max
Manganeso (Mn)	0.8-1.2
Fósforo (P)	0,04% max
Azufre (S)	0,05% max
* Cobre (Cu)	0,20%
Hierro (Fe)	99.0 %

Nota: Catálogo de productos Aceros Arequipa (2019).

Las propiedades mecánicas del acero A36, se muestra en la tabla 14.

Tabla 6

Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Densidad (gr/cm ³)	7.85
Resistencia a la tracción (MPa).	400-552
Límite de fluencia (MPa)	250
Elongación (%)	18
Dureza Rockwell B	67 - 83
Dureza Brinell	119 - 159

Nota: Catálogo de productos Aceros Arequipa (2019).

3.2.2. *Material de Aporte*

Para la investigación se escogió el electrodo ER70S-6 (TIGFIL St6). Es una varilla solida de diámetro 3/32” (2.50 mm), cuya composición química y propiedades mecánicas se muestran en las tablas 15 y 16.

Tabla 7

Composición química de ER70S-6 (TIGFIL St6).

C	Mn	Si	P
0.06 – 0.12	1.40 – 1.60	0.8 – 1.15	Max 0.025

Fuente: Manual de bolsillo. (2019). “Oerlikon”. Exsa.

Tabla 8

Propiedades mecánicas de ER70S-6 (TIGFIL St6).

Tratamiento térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2” (%)
Sin tratamiento	72,000	65	>31

Fuente: Manual de bolsillo. (2019). “Oerlikon”. Exsa.

3.3. Probetas de Ensayo

Para la presente investigación se usaron 10 placas de acero A36 con las siguientes dimensiones:

- Largo: 200 mm.
- Ancho: 63.5 mm.
- Espesor: 4.75 mm (3/16”).

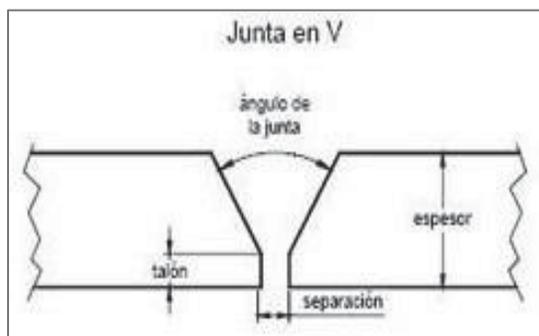
De las placas indicadas se formaron 5 probetas de estudio. Las probetas tienen las siguientes características:

- Bisel de 60° en “V”.
- Talón (a) de 2 mm.
- Separación 2.00 mm.

En la figura N° 30 se observa el esquema de las características de la junta.

Figura 30

Esquema de la junta



Nota: Elaboración propia

3.4. Soldabilidad de las Probetas

Previo a la soldadura de las probetas, se debe realizar la limpieza del material base, eliminando los óxidos, pintura, grasa que pueda existir en la superficie de las probetas.

3.4.1. Condiciones de Soldabilidad

En la tabla 17, se indican las condiciones de soldabilidad para el acero A36.

Tabla 9

Condiciones de soldabilidad

Proceso	GTAW
Espesor de material base (mm)	4.75
Posición de soldadura.	1G
Electrodo	EWTh 2, diámetro = 2.4 mm
Numero de pasadas	01
Polaridad	Corriente continua, electrodo al polo negativo.
Material de aporte	ER70S-6 P, diámetro: 2.4 mm

Velocidad de soldadura (mm/min)	80
Gas protector	100% Argón.
Flujo de gas (litros/min)	7
Tipo de junta	Simple "V", 60°

Nota: Elaboración propia.

3.4.2. Fijación de los Parámetros Para la Soldadura de las Probetas.

En la tabla 18, se dan los parámetros para la soldadura de las probetas.

Tabla 10

Variables de soldabilidad

Probeta	I (Amp)	V (Voltios)	Veloc. de soldeo (mm/seg)
1A	70	9.5	1.33
2A	90	11.0	1.33
3A	120	12.0	1.33
4A	140	13.5	1.33
5A	150	15.0	1.33

Nota: Elaboración propia.

Con las condiciones arriba mencionadas se soldaron las probetas, tal como se observa en la figura 31.

Figura 31

Soldando las probetas

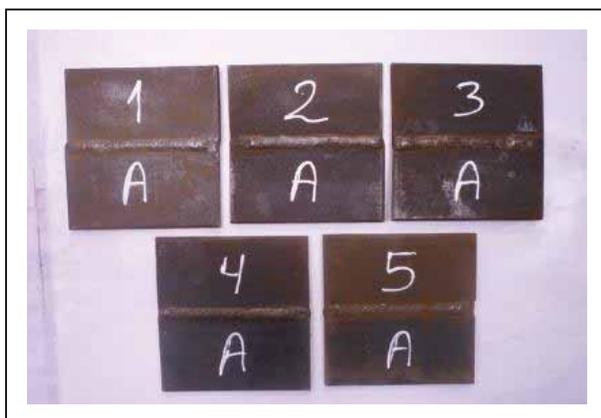


Nota: Elaboración propio

En la figura 26, se observa las probetas soldadas y codificadas para ser distinguidas.

Figura 32

Probetas soldadas



Nota: Elaboración propio

3.5. Cálculos Realizados Después de la Soldadura

3.5.1. Cálculo del Calor Neto

El cálculo de energía o aporte de calor neto se calcula por la ecuación 2.1.

Reemplazando los valores de la tabla 18 en la ecuación N° 2.1, se tiene los siguientes resultados:

Probeta N° 1A:

$$H_{neto} = \frac{70 * 9.5}{1.33} x 0.35 = 175 \text{ j/mm}$$

Probeta N° 2A:

$$H_{neto} = \frac{90 * 11}{1.33} x 0.35 = 260.5 \text{ j/mm}$$

Probeta N° 3A:

$$H_{neto} = \frac{120 * 12}{1.33} x 0.35 = 379.0 \text{ j/mm}$$

Probeta N° 4A:

$$H_{neto} = \frac{140 * 13.5}{1.33} x 0.35 = 497.40 \text{ j/mm}$$

Probeta N° 5A:

$$H_{neto} = \frac{150 * 15}{1.33} x 0.35 = 592 \text{ j/mm}$$

En la tabla 19, se resume los resultados de calor neto obtenidos.

Tabla 19

Calor neto aplicado a las diferentes probetas

Probeta	Hnet (J/mm)
1A	175.00

2A	260.50
3A	397.00
4A	497.40
5A	592.0

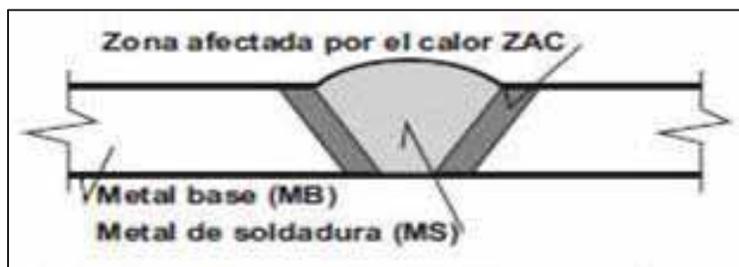
Nota: Elaboración propia.

3.5.2. Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor (ZAC)

En la figura 33, se puede observar las zonas representativas de un depósito de soldadura, donde se visualiza la zona afectada por el calor (ZAC).

Figura 33

Zonas del depósito de soldadura.



Fuente: Propia

Con los valores dados en las tablas 18 y 19 y reemplazando en la ecuación N° 2 .2, se tiene:

Probeta N° 1A

$$Y = \left[\left(\frac{1}{723 - 16} - \frac{1}{1538 - 16} \right) X \left(\frac{175.00}{4,13 \times 0.0044 \times 4.75} \right) \right] = 1.53 \text{ mm}$$

Probeta N° 2A

$$Y = \left[\left(\frac{1}{723 - 16} - \frac{1}{1538 - 16} \right) X \left(\frac{260.50}{4,13 \times 0.0044 \times 4.75} \right) \right] = 2.28 \text{ mm}$$

Probeta N° 3A

$$Y = \left[\left(\frac{1}{723 - 16} - \frac{1}{1538 - 16} \right) X \left(\frac{397.00}{4,13 \times 0.0044 \times 4.75} \right) \right] = 3.48 \text{ mm}$$

Probeta N° 4

$$Y = \left[\left(\frac{1}{723 - 16} - \frac{1}{1538 - 16} \right) X \left(\frac{497.00}{4,13 \times 0.0044 \times 4.75} \right) \right] = 4.36 \text{ mm}$$

Probeta N° 5A

$$Y = \left[\left(\frac{1}{723 - 16} - \frac{1}{1538 - 16} \right) X \left(\frac{497.00}{4,13 \times 0.0044 \times 4.75} \right) \right] = 5.19 \text{ mm}$$

Tabla 11

Ancho del ZAC

Probeta	y(mm)
1A	1.53
2A	2.28
3A	3.48
4A	4.63
5A	5.19

Nota: Elaboración propia

3.5.3. Cálculo de la Temperatura Máxima

La ecuación 2.2, nos permite analizar mejor como afectan las distintas variables sobre las diferentes características del ciclo térmico en un proceso de soldadura, de la ecuación 2.2, podemos calcular la temperatura máxima, cuya fórmula es la siguiente:

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \cdot p \cdot c \cdot t \cdot Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_{fusion} - t_o}} \div t_o \quad \text{Ec. 2.4}$$

En base a esta ecuación, se calcula la temperatura máxima de:

Probeta N° 1A

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 1,53}{175,00} \mp \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 724\text{C}^\circ$$

Probeta N° 2A

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 2,20}{260,00} \mp \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 723,0\text{C}^\circ$$

Probeta N° 3A

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 3,48}{397,00} \mp \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 723,0\text{C}^\circ$$

Probeta N° 4A

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 3,48}{497,40} \mp \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 723,0\text{C}^\circ$$

Probeta N° 5A

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 5,19}{592,00} \mp \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 723,0\text{C}^\circ$$

Los valores obtenidos se resumen en la tabla 21.

Tabla 12*Temperatura máxima de la ZAC.*

Probeta	Ancho de la ZAC (mm)	Tmax (°C)
1A	1.53 mm	723.0
2A	2.28 mm	723.0
3A	3.48 mm	723.0
4A	4.36 mm	723.0
5A	5.19 mm	723.0

Nota: Elaboración propia.

También se puede calcular las temperaturas intermedias de la ZAC, es decir tomando el 50% del ancho de la ZAC. El cálculo es el siguiente:

Probeta N° 1A

- 50% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0.0044 \times 4.75 \times 0.765}{175.00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 982.78\text{C}^{\circ}$$

Probeta N° 2A

- 25% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0.0044 \times 4.75 \times 0.3825}{175.00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 1198.46\text{C}^{\circ}$$

- 50% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0.0044 \times 4.75 \times 1.14}{260.00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 981\text{C}^{\circ}$$

- 25% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 0,57}{175,00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 1198,46\text{C}^\circ$$

Probeta N° 3A

- 50% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 1,74}{397,00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 981\text{C}^\circ$$

- 25% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 0,87}{175,00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 1198,46\text{C}^\circ$$

Probeta N° 4A

- 50% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 2,18}{497,40} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 981\text{C}^\circ$$

- 25% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 2,18}{175,00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 1198,46\text{C}^\circ$$

Probeta N° 5A

- 50% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0,0044 \times 4,75 \times 2,598}{592,00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 981\text{C}^\circ$$

- 25% del ancho de la ZAC

$$T_{max} = \frac{1}{\frac{4,13 \times 0.0044 \times 4.75 \times 1.2975}{175.00} + \frac{1}{1538 - 16}} + 16 = 1198.46^\circ\text{C}$$

En las tablas 22 y 23, se resumen los cálculos realizados.

Tabla 13

Cálculos realizados

Probeta	Ancho de la ZAC (mm)	50% del Ancho de la ZAC (mm)	Tmax (°C)
1A	1.53 mm	0.765	981
2A	2.28 mm	1.14	981
3A	3.48 mm	1.74	981
4A	4.36 mm	2.18	981
5A	5.19 mm	2.595	981

Nota: Elaboración propia.

Tabla 14

Temperatura máxima a un 25% del ancho de ZAC

Probeta	Ancho de la ZAC (mm)	25% del ancho de la ZAC	Tmax (°C)
1A	1.53 mm	0.765	1198.46
2A	2.28 mm	0.57	1198.46
3A	3.48 mm	0.87	1198.46
4A	4.36 mm	1.09	1198.46
5A	5.19 mm	1.295	1198.46

Nota: Elaboración propia.

3.5.4. Cálculo de la Velocidad de Enfriamiento

Para estimar la velocidad de enfriamiento previamente se debe estimar si la probeta corresponde a una placa fina o gruesa utilizando la ecuación 2.6.

Reemplazando valores se tiene:

$$r = 4.75 \sqrt{\frac{0.0044(550 - 16)}{592}} = 0.299$$

Como el valor calculado es menor a 0.6, entonces para calcular la velocidad de enfriamiento se aplica la ecuación N° 2.6. Los valores encontrados para el acero son:

K= Conductividad térmica del acero, 0.052j/mm-seg-c°

Tc= 550 °C.

To=Temperatura inicial= 16 °C

Cálculo de la velocidad de enfriamiento:

Probeta 1A

$$R = 2\pi(0.052)(0.0044) \left[\frac{4.75}{175.00} \right]^2 X(550 - 16)^2 = 161 \text{ c}^\circ/\text{seg}$$

Probeta 2A

$$R = 2\pi(0.052)(0.0044) \left[\frac{4.75}{260.5} \right]^2 X(550 - 16)^2 = 72.7 \text{ c}^\circ/\text{seg}$$

Probeta 3A

$$R = 2\pi(0.052)(0.0044) \left[\frac{4.75}{397.00} \right]^2 X(550 - 16)^2 = 31 \text{ c}^\circ/\text{seg}$$

Probeta 4A

$$R = 2\pi(0.052)(0.0044) \left[\frac{4.75}{497.40} \right]^2 X(550 - 16)^2 = 19.96 \text{ c}^\circ/\text{seg}$$

Probeta 5 A

$$R = 2\pi(0.052)(0.0044) \left[\frac{4.75}{592} \right]^2 \times (550 - 16)^2 = 14.0 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg}$$

En la tabla 24, se muestra el resumen del cálculo de la velocidad de enfriamiento.

Tabla 15

Resumen del cálculo de la velocidad de enfriamiento.

Probeta	Veloc. De enfriamiento ($^{\circ}\text{C}/\text{seg}$)
1A	161.0
2A	72.7
3A	31.0
4A	19.96
5A	14.0

Nota: Elaboración Propio

3.6. Control de Calidad del Depósito de Soldadura**3.6.1. Inspección Visual**

En la tabla N° 25 se detallan los resultados del examen visual.

Tabla 16

Resultados del examen visual.

Probeta	Defecto	Causa	Calificación
1 A	Falta de fusión en los bordes	Intensidad de corriente baja.	Rechazada
2 A	Falta de penetración en la raíz.	Baja intensidad de corriente	Rechazada
3 A	Porosidad	Angulo de inclinación de la pistola demasiado pequeño.	Rechazada
4 A	Ninguno	Ninguno.	Aceptada
5 A	Inclusiones de wolframio	Excesiva Intensidad de corriente	Rechazada.

Nota: Elaboración Propio

3.6.2. *Ensayo de Doble*

Las pruebas de flexión incluyen el doblado de la probeta a 180 grados en matrices estándar, se trata de una prueba cualitativa, ya que está diseñada para observar que las probetas no presentan fracturas, lo que indica que los parámetros de las variables utilizadas fueron precisos. Esta prueba determina la capacidad de la barra para doblarse hasta un radio determinado sin romperse.

Antes del ensayo de flexión, las superficies convexas de las probetas dobladas deben ser inspeccionadas visualmente para detectar discontinuidades superficiales. La aceptación está condicionada al cumplimiento de las condiciones indicadas a continuación:

- Las discontinuidades medidas en cualquier dirección en la superficie no deben tener más de 3 mm.
- La suma de todas las discontinuidades presentes de entre 1 mm y 3 mm no deben sobrepasar los 10 mm en total.

Previo a la prueba de doblez, las probetas se preparan, puliendo la zona del depósito con una amoladora, para luego colocarla en la máquina de doblez para realizar los ensayos de doblez de cara y raíz con los que se puede verificar la calidad del cordón, penetración y fusión entre el material base y el material de aporte. En las figuras N° 34 y 35 se observa el procedimiento de doblez.

Figura 34

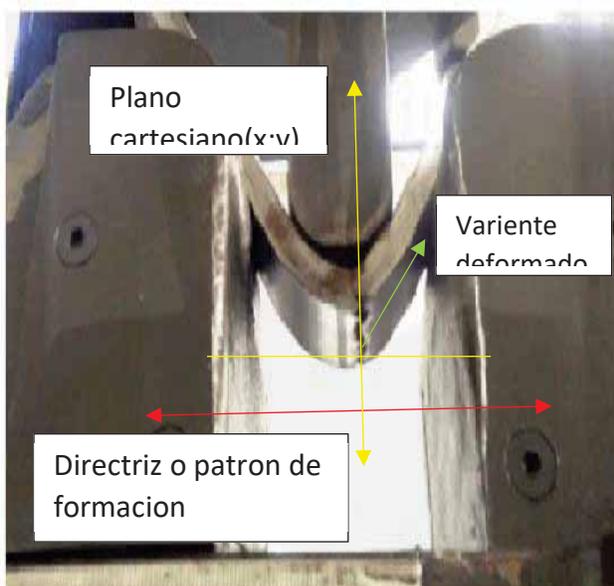
Posición de la probeta en el equipo de doblar.



Nota: Elaboración Propio

Figura 35

Deformación del espécimen, cordón de soldadura

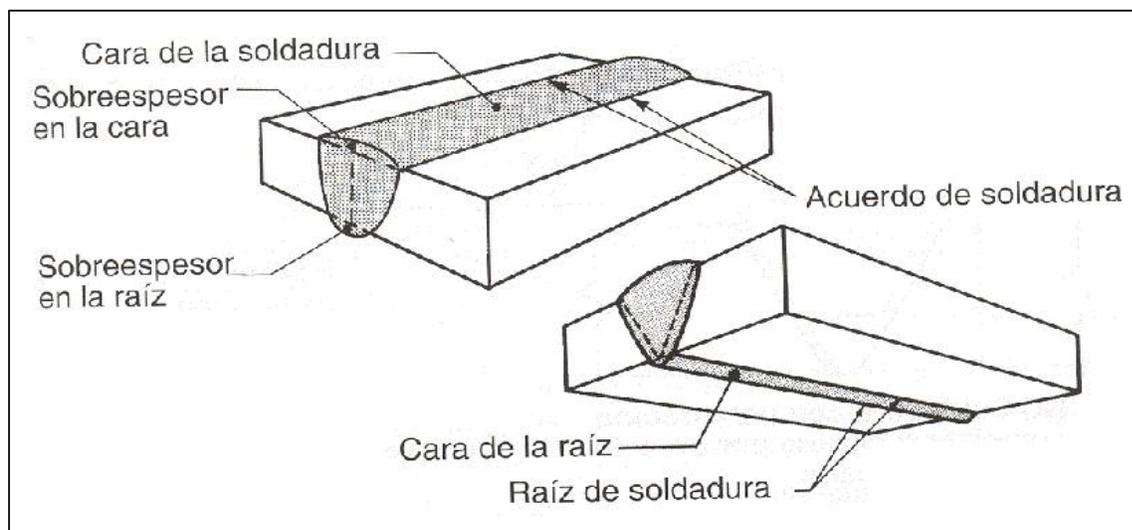


Nota: Elaboración Propio

Para un mejor entendimiento de este examen, debemos de mencionar mediante la figura 36 esquematizada la cara y raíz de una soldadura.

Figura 36

Cara y raíz de una soldadura



Nota: Elaboración Propio

En la tabla N° 26, el resultado de la prueba de doblez

Tabla 26

Resultado de la prueba de doblez.

Probeta	Doblado		Discontinuidad				Observaciones	Calificación
	Cara	Raíz	Fisuras	Otras				
1A	X		SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
1A		X	SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
2A	X		SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
2A		X	SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
3A	X			NO	SI		Existe discontinuidad	No aceptado
3A		X		NO	SI		Existe discontinuidad	No aceptado
4A	X			NO	SI		Existe discontinuidad	Aceptado
4A		X		NO	SI		Existe discontinuidad	Aceptado
5A	X			NO	SI		Existe discontinuidad	No aceptado
5A		X		NO	SI		Existe discontinuidad	No aceptado

Nota: Elaboración propia.

3.6.3. Prueba de Dureza

Esta prueba se realizó a la probeta N° 4, por ser la probeta que no tiene discontinuidades. Los cálculos de dureza se manifiestan en la escala Rockwell B. El resultado de esta prueba se muestra en la tabla N° 27

Tabla 27

Resultados de dureza (HRB) en la probeta N° 4A

MB	ZAC (mm)		DS	ZAC (mm)		MB
	2.18	1.09		1.09	2.18	
78.00	89.00	93.00	97.00	93.00	89.00	78.00

Nota: Elaboración propia.

3.7. Discusión de Resultados

3.7.1. Inspección Visual

De acuerdo a lo observado en la tabla N° 30, se asevera que la intensidad de corriente (aporte de calor), influye de manera preponderante en la calidad de soldadura.

3.7.2. Resultados del ensayo de doblado.

En la tabla 28 se muestra los resultados obtenidos del ensayo de dobléz.

Tabla 28*Resultados del ensayo de doblado.*

Probeta	Doblado		Discontinuidad				Observaciones	Calificación
	Cara	Raíz	Fisuras		Otras			
1A	X		SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
1A		X	SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
2A	X		SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
2A		X	SI	NO	SI	NO	Existe discontinuidad	No aceptado
3A	X		NO	SI			Existe discontinuidad	No aceptado
3A		X	NO	SI			Existe discontinuidad	No aceptado
4A	X		NO	SI			Existe discontinuidad	Aceptado
4A		X	NO	SI			Existe discontinuidad	Aceptado
5A	X		NO	SI			Existe discontinuidad	No aceptado
5A		X	NO	SI			Existe discontinuidad	No aceptado

Nota: Elaboración propia.

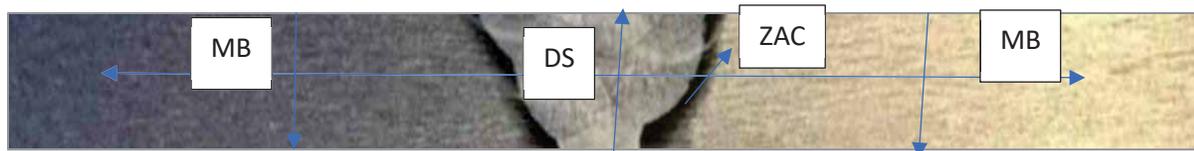
3.7.3. Resultados de Ensayo de Dureza

Se efectuó la toma de la medida desde el centro del cordón como punto de origen, tal como se muestra en la figura 37. Los cálculos de dureza (Rockwell B) encontrados para las 5 probetas se muestran en la tabla 29.

Tabla 29*Resultados de dureza (HRB) en la probeta N° 4A*

MB	ZAC (mm)		DS	ZAC (mm)		MB
	2.18	1.09		1.09	2.18	
78.00	79.00	81.00	85.00	80.6	79.00	78.00

Nota: Elaboración propia

Figura 37*Probeta puesta a prueba la dureza*

Nota: Elaboración Propio

3.7.4. *Discusión*

Analizando cada una de las probetas soldadas por el proceso TIG con las condiciones de soldabilidad indicadas anteriormente, podemos indicar que la intensidad de corriente (aporte de calor neto) influye de manera directa en la calidad del depósito de soldadura. Con intensidad de corriente bajas y demasiadas altas se producen soldaduras con discontinuidades.

Con respecto al ancho de la zona afectada por el calor, también se verifico, que a medida que aumenta el valor de intensidad de corriente también aumenta el ancho de la ZAC.

Otro ensayo realizado para ver la incidencia de la intensidad de corriente fue el ensayo de dureza, donde se aprecia que haciendo un examen de dureza longitudinal a la probeta, podemos indicar que esta llegara a disminuir respecto al metal depositado, esto sucede por el calor aportado.

CONCLUSIONES

Primero: Se ha determinado que el proceso de soldadura TIG se adecua de manera óptima para realizar la soldadura del Acero A36.

Segundo: La corriente continua con polaridad directa produce un baño de fusión estrecha y profunda, así como una penetración muy superior, la que evidencio en la probeta N° 4 A.

Tercero: El aumento de la velocidad de pasada o disminución de la intensidad de corriente se refleja como aumento de la dureza del cordón.

Cuarto: La mejor combinación de parámetros para obtener uniones soldadas de sin discontinuidades son: Intensidad de corriente 140 Amperios, densidad de corriente 13.5 voltios y velocidad de soldeo de 1.33 mm/ seg.

BIBLIOGRAFÍA

- Bazán, C. (2002). *Determinación de electrodos y cálculo de costos desoldadura al arco asistidos por computadora*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1261/IME_032.pdf?sequence=1
- Casas, J. (2020). *Proceso de Soldadura FCAW (Rev.0)*. Obtenido de <https://epage.pub/doc/proceso-de-soldadura-fcaw-rev0-3ovoov79jw>
- Chora, W. (2018). *Control De Calidad En El Proceso De Soldadura En El Proyecto Mejoramiento De Los Servicios Del Comedor*. Universidad Nacional De San Agustín. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8248/MTchjawa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Esab. (2020). *Proceso de Soldadura - GMAW*. Obtenido de https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso_soldadura_gmaw.cfm
- Fondo social Europea. (2019). *Proceso De Soldadura Tig*. Obtenido de <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/proceso-de-soldadura-tig.html>
- Gómez, N. (2016). *Estudio de soldabilidad de tubería sanitaria en acero inoxidable con soldadura tig para la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira*. Obtenido de <https://1library.co/document/y6e4pmgz-estudio-soldabilidad-sanitaria-inoxidable-soldadura-ingeniar-inoxidables-pereira.html>
- McKinsey. (2016). *El hidrógeno, básico para la descarbonización y alcanzar las cero emisiones netas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/373355-El-hidrogeno-basico-para-la-descarbonizacion>
- Metinvesti. (2016). *Productos de acero de la marca ASTM A36*. Obtenido de <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>
- Rojas, A. (2015). *Problemas Frecuentes en Soldadura GTAW - TIG*. Obtenido de <http://www.metalactual.com/>
- SUNARC. (2013). *Tecnología En Soldadura*. Obtenido de <https://xdoc.mx/documents/manual-de-soldaduratig-5de17ca0a409a>
- Telenchana, J. (2013). *Análisis De Revestimientos Duros En Uniones Soldadas De Acero Al Carbono A36 Mediante El Proceso Smaw Y Su Incidencia En Las Propiedades Mecánicas*. Universidad Técnica De Ambato, Ambato.

Westarco. (2020). *Proceso de Soldadura TIG (GTAW)*. Obtenido de <https://www.westarco.com/westarco/sp/education/blog/proceso-de-soldadura-tig.cf>

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA
" INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE EN LA SOLDABILIDAD DEL
ACERO ASTM A36"

Planteamiento del problema	objetivos	hipotesis	Metodologia	variables	unidad
<p>Es necesario la unión por soldadura de las partes, Componentes de una estructura utilizando el proceso TIG Como alternativa de unión de los aceros ASTM A36 . En la practica</p> <p>Del campo es comun encontrar defice en el cordon de soldadura , discontinuidad que ocasiona colapsamientos en las estructuras</p> <p>Ocasionando perdidas económicas es por ello</p> <p>Que la intensidad de corriente influye en dicho proceso .</p>	GENERAL	GENERAL	ANALITICA Y SINTETICA	DEPENDIENTES	
	<p>Determinar la influencia de la intensidad de corriente en la soldabilidad</p>	<p>La intensidad de corriente influye en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG</p>	<p>Permite analizar el material base y de aporte en la soldadura y las distintas variables que son neesarias estudiar para el proceso de soldadura TIG , y obtener la sintesis de la soldabilidad del acero ASTM A36</p>	<ul style="list-style-type: none"> • soldabilidad del acero AST A36 • Dureza de la union soldada 	<ul style="list-style-type: none"> • aceptada • no aceptado • HRB (rocvell)
PROBLEMA	ESPECIFICOS	ESPECIFICAS	EXPERIMENTAL	INDEPENDIENTES	
<p>¿Cómo influye la intensidad de corriente en la soldabilidad del acero ASTM A36 ?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la influencia de la intensidad de corriente en la ZAC del acero ASTM A36 • Determinar la influencia de la polaridad de corriente en la soldabilidad del acero ASTM A36 • Determinar como influye la velocidad de soldadura en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG 	<ul style="list-style-type: none"> • La intensidad de corriente influye en la ZAC en la soldabilidad del acero ASTM A36 • La polaridad influye en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG • La velocidad de soldeo influye en la soldabilidad del acero ASTM A36 por el proceso TIG . 	<p>Se obtendrán datos que deben ser sistematizados analizados ,procesados e Interpretados para lograr los objetivos y la discusión de resultados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de corriente • Velocidad de soldeo • Polaridad de corriente 	<ul style="list-style-type: none"> • A • Mm/s • directa