



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS POR METRO LINEAL DE SOLDADURA POR EL
MÉTODO SMAW (SOLDADURA CON ELECTRODO RECUBIERTO) Y MIG O GMAW
(SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE)**

Luis Eliezar Abaj Chopén

Asesorado por el Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS POR METRO LINEAL DE SOLDADURA POR EL
MÉTODO SMAW (SOLDADURA CON ELECTRODO RECUBIERTO) Y MIG O GMAW
(SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ELIEZAR ABAJ CHOPÉN

ASESORADO POR EL ING. CIVIL GUILLERMO FRANCISCO MELINI
SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS POR METRO LINEAL DE SOLDADURA POR EL
MÉTODO SMAW (SOLDADURA CON ELECTRODO RECUBIERTO) Y MIG O GMAW
(SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 04 de marzo de 2016.



Luis Eliezar Abaj Chopén



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
20 de mayo de 2019

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS POR METRO LINEAL DE SOLDADURA POR EL METODO SMAW (SOLDADURA CON ELECTRODO RECUBIERTO) Y MIG O GMAW (SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE)** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Eliezar Abaj Chopén, quien contó con la asesoría del Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS

Ing. civil, Guillermo Francisco Melini Salguero
Asesor y Jefe Del Departamento de Planeamiento

/mrrm.



Or.
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
U S A C



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



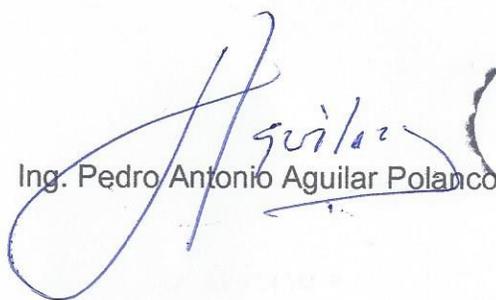
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero y Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Luis Eliezar Abaj Chopén **ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS POR METRO LINEAL DE SOLDADURA POR EL METODO SMAW (SOLDADURA CON ELECTRODO RECUBIERTO) Y MIG O GMAW (SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE)** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, septiembre 2019

/mrm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 338.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS POR METRO LINEAL DE SOLDADURA POR EL MÉTODO SMAW (SOLDADURA CON ELECTRODO RECUBIERTO) Y MIG O GMAW (SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE)**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Eliezar Abaj Chopén**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, septiembre de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme dado su misericordia, vida, salud y la sabiduría necesaria para haber alcanzado esta meta.
Mis padres	José Luis Abaj y Ana Chopén de Abaj. Por darme su apoyo y comprensión incondicional a lo largo de estos años.
Mis hermanas	Lesbia, Rosy, Heidi y Nancy Abaj Chopén. Por su apoyo y cariño incondicional.
Mis abuelos	Que en paz descansen.
Tíos	Por su aprecio.
Amigos	Por su apoyo en el transcurso de la carrera.
Catedráticos	Por sus enseñanzas y consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por estar siempre a mi lado en los momentos buenos y malos.
Facultad de Ingeniería	Por formar parte de esta gran facultad.
Mi familia	Por su confianza y cariño.
Mi asesor	Ingeniero Guillermo Melini, por su apoyo en mi formación académica y profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	1
1.1. Desarrollo histórico de la soldadura.	1
1.2. Naturaleza de la soldadura.....	3
1.3. Soldadura por arco eléctrico.....	3
1.3.1. Métodos de soldadura por arco eléctrico.....	4
1.3.1.1. Soldadura con hidrógeno atómico (AHW).....	7
1.3.1.2. Soldadura de arco con electrodo de carbón (CAW).....	9
1.3.1.3. Soldadura por electrogas (EGW).....	10
1.3.1.4. Soldadura por arco con electrodo tubular (FCAW).....	11
1.3.1.5. Soldadura por arco metálico protegido con gas (GMAW)	13
1.3.1.6. Soldadura por arco de tungsteno protegido (GTAW).....	15
1.3.1.7. Soldadura por arco de plasma (PAW).....	17

1.3.1.8.	Soldadura por arco metálico protegido (SMAW).....	19
1.3.1.9.	Soldadura por arco sumergido (SAW).....	21
2.	SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO RECUBIERTO (SMAW)	23
2.1.	Metales soldables con el proceso.	24
2.2.	Posición de soldadura.	26
2.3.	Circuito eléctrico de la soldadura.	28
2.4.	Longitud de arco.	30
2.5.	Ventajas y desventajas del proceso.	31
2.5.1.	Ventajas.	31
2.5.2.	Desventajas.....	31
2.6.	Material de aporte.	32
2.6.1.	Clasificación de los electrodos.	34
2.6.1.1.	Según norma.....	34
2.6.1.2.	Según el revestimiento.....	36
2.6.1.2.1.	Celulósicos.....	36
2.6.1.2.2.	Rutílicos	36
2.6.1.2.3.	Minerales.....	36
2.6.1.2.4.	Básicos.....	36
2.6.1.2.5.	Hierro en polvo.....	37
2.6.2.	Tipos de materiales de aporte.	37
2.6.2.1.	Celulosa/sodio (E-XX10)	37
2.6.2.2.	Celulosa/potasio (E-XX11)	38
2.6.2.3.	Rutilo/potasio (E-XX13).....	38
2.6.2.4.	Bajo hidrógeno/polvo de hierro (E-XXX8).....	38

2.7.	Ensayo de costos de un metro lineal de soldadura.	39
2.7.1.	Descripción del ensayo.....	39
2.7.2.	Muestra del ensayo	39
2.7.3.	Procedimiento del ensayo.	40
2.7.4.	Equipo a utilizar.	44
2.7.5.	Mano de obra.....	45
2.7.6.	Consumo eléctrico para un metro lineal de soldadura.....	47
2.7.7.	Costo del material de aporte depositado.	48
2.7.8.	Costo del material de aporte (pérdidas).....	49
3.	SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE (GMAW)	51
3.1.	Metales soldables con el proceso.....	52
3.2.	Posición de soldadura.	54
3.3.	Circuito eléctrico de la soldadura.....	56
3.4.	Ventajas y desventajas del proceso.	57
3.4.1.	Ventajas.....	57
3.4.2.	Desventajas.....	58
3.5.	Consumibles del proceso.	58
3.5.1.	Electrodo (alambre continuo).....	59
3.5.2.	Gas de protección.....	61
3.5.3.	Boquillas y protección contra salpicaduras.....	62
3.6.	Ensayo de costos de un metro lineal de soldadura.	64
3.6.1.	Descripción del ensayo.....	64
3.6.2.	Muestra del ensayo.	64
3.6.3.	Procedimiento del ensayo.	65
3.6.4.	Equipo a utilizar.	68
3.6.5.	Mano de obra.....	70
3.6.6.	Consumo eléctrico por metro lineal de soldadura... ..	72

3.6.7.	Costo material de aporte.	73
3.6.8.	Costo del material de aporte (pérdidas)	74
3.6.9.	Costo de gas de protección.....	74
4.	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	77
4.1.	Aspectos técnicos.	77
4.2.	Comparación de costos directos.	78
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Soldadura antigua.....	1
2.	Pilar de hierro.....	2
3.	Carta maestra de los procesos de soldadura.....	6
4.	Diagrama del proceso AHW.....	8
5.	Diagrama del proceso CAW.....	9
6.	Diagrama del proceso EGW.....	11
7.	Diagrama del proceso FCAW.....	12
8.	Diagrama del proceso GMAW.....	14
9.	Diagrama del proceso GTAW.....	16
10.	Diferencia del proceso PAW y TIG.....	18
11.	Modos de operación.....	19
12.	Diagrama del proceso SMAW.....	20
13.	Diagrama del proceso SAW.....	21
14.	Elementos básicos de la soldadura SMAW.....	24
15.	Posiciones soldables con SMAW.....	27
16.	Circuito eléctrico del proceso.....	29
17.	Electrodos.....	33
18.	Nomenclatura de electrodos utilizados.....	35
19.	Probeta para el ensayo.....	40
20.	Ensayo del proceso de soldadura con electrodo revestido.....	41
21.	Peso de probetas y material de aporte.....	42
22.	Equipo para el proceso.....	44
23.	Elementos básicos del proceso.....	52

24.	Metales soldables.	53
25.	Posiciones soldables con GMAW.	55
26.	Circuito eléctrico de soldadura GMAW.	56
27.	Tipos de los electrodos utilizados en GMAW.	60
28.	Nomenclatura de los electrodos utilizados en GMAW.	61
29.	Gas de protección CO2.	62
30.	Boquillas para pistola.	63
31.	Líquido antisalpicaduras.	63
32.	Probeta para el ensayo.	65
33.	Ensayo del proceso GMAW.	66
34.	Peso de probeta y material de aporte.	67
35.	Equipo utilizado.	69
36.	Flujómetro de gas de protección.	75
37.	Longitud vs. Costo de los métodos.	80

TABLAS

I.	Procesos de soldadura por arco eléctrico.	7
II.	Metales soldables con el proceso.	25
III.	Datos obtenidos en los ensayos.	43
IV.	Material y tiempos netos.	43
V.	Cálculo del factor de prestaciones.	45
VI.	Salario por metro lineal.	47
VII.	Consumo eléctrico.	48
VIII.	Costo del material depositado.	49
IX.	Pérdidas del material.	49
X.	Costo de las pérdidas del material de aporte.	49
XI.	Datos obtenidos en los ensayos.	67
XII.	Material y tiempos netos.	68

XIII.	Cálculo del factor de prestaciones.	70
XIV.	Salario por metro lineal.	72
XV.	Consumo eléctrico.....	73
XVI.	Costo de material de aporte.....	73
XVII.	Pérdida del material.	74
XVIII.	Costo de pérdida de material de aporte.	74
XIX.	Costo de gas de protección.....	75
XX.	Comparación de datos técnicos.	77
XXI.	Comparación de costos directos.	79
XXII.	Costo final de cada método.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
E-XXYY	Clasificación de electrodo.
AC	Corriente continua.
DC	Corriente directa.
CO2	Dióxido de carbono.
ANSI	Metro.
AWS	Milímetro.
BMAW	Nanómetro.
CFH	Pie cúbico por minuto.
AHW	Soldadura con hidrógeno atómico.
CAW	Soldadura de arco con electrodo de carbón.
CAW-S	Soldadura de arco con electrodo de carbón protegido.
CAW-G	Soldadura de arco con electrodo de carbón y gas.
CAW-T	Soldadura de arco con electrodos gemelos de carbón.
FCAW	Soldadura por arco con electrodo tubular.
PAW	Soldadura por arco de plasma.
GTAW	Soldadura por arco de tungsteno protegido con gas.
GMAW-S	Soldadura por arco metálico con corto circuito protegido con gas.
GMAW	Soldadura por arco metálico protegido con gas.
GMAW-P	Soldadura por arco metálico pulsado protegido con gas.

GTAW-P	Soldadura por arco pulsado protegido con gas.
SAW	Soldadura por arco sumergido.
EGW	Soldadura por electrodo-gas.

GLOSARIO

Arco eléctrico	Es el proceso de fundir el material de aporte a una diferencia de potencial en el electrodo.
Material fundido	Material depositado en estado líquido.
Colilla	Es la porción del electrodo que se utiliza para sujetarla al portaelectrodo.
Cordón	Es el material depositado en estado sólido, de una longitud específica.
Electrodo	Es el material de aporte del proceso, ya sea varilla o alambre.
Escoria	Es una protección del material fundido hasta que tome su estado sólido.
Filete	Es una posición de soldadura en la cual los elementos se colocan de forma perpendicular (T).
Fuente de energía	Equipo que proporciona la energía necesaria para fundir el material de aporte.
Fundente	Mezcla química que ayuda a fundir el material de aporte con el material base.

Gas inerte	Es un gas que no cambia bajo determinadas condiciones, se encuentran en gran cantidad en el aire.
Longitud de arco	Distancia de la punta del electrodo hasta el material base.
Material de aporte	Es todo aquel material que se utiliza para realizar un cordón de soldadura.
Pinza	Pinza de tierra, es el polo negativo del circuito o de la fuente de energía.
Pistola	Es el dispositivo que utiliza el proceso semiautomático para alimentarlo de alambre.
Portaelectrodo	Es el elemento que sujeta el electrodo.
Posición	Orientación de la soldadura: vertical ascendente, vertical descendente, sobre cabeza u horizontal.
Revestimiento	Composición química que controla que el arco eléctrico sea estable.
Soldadura	Proceso para unir dos o más piezas de acero.

RESUMEN

En el siguiente trabajo de graduación se hace un análisis y comparación de costos involucrados para producir un metro lineal de soldadura, utilizando dos métodos de soldadura bastante comunes en el área de estructuras de acero: soldadura con electrodo recubierto (SMAW), también conocida como soldadura manual, y soldadura de arco metálico con gas inerte (GMAW), también conocida como soldadura semiautomática. Ambos métodos se analizan en una posición plana llamada filete.

Para que se tenga una mejor comprensión sobre la unión de dos o más piezas de acero se hace un breve resumen de cómo la soldadura ha ido evolucionando, también se habla de las posiciones, material de aporte, equipo utilizado, entre otros temas para la producción de la soldadura. Esto se realiza con el fin de introducir al lector en el área de la soldadura y hacer más fácil la comprensión del presente trabajo.

En este trabajo se realiza el análisis de cada factor involucrado en la producción de un metro lineal de soldadura, estos factores son: fuente de poder, material de aporte, energía eléctrica y mano de obra calificada.

Luego se realiza la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos, esto con el fin de determinar qué método es el más efectivo en la industria de las estructuras metálicas, en función de calidad y costo.

OBJETIVOS

General

Analizar el costo final por unidad de longitud de los métodos de soldadura GMAW y SMAW, que son los más utilizados en esta rama.

Específicos

1. Decidir cuál método usar sin ningún inconveniente, entre estos dos métodos de aplicación de soldadura, según la demanda de producción de la empresa.
2. Conociendo el método más eficiente según la necesidad requerida, se podrá detallar con más precisión el presupuesto y el tiempo de entrega del proyecto.
3. Llevar un control de los insumos que utiliza cada método, para que no halla desvíos de los mismos.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras metálicas son ampliamente utilizadas como otro método de construcción estructural en Guatemala, para la ejecución de obras civiles, con criterios de investigaciones nacionales e internacionales. Este método de construcción se ha vuelto muy utilizado en el país por su rapidez en la ejecución.

En la soldadura en la rama del acero estructural para edificaciones es muy importante la calidad del proceso en cuanto a la mano de obra, ya que de esto depende que la estructura no colapse en un evento. Por tal motivo el análisis de costos es muy importante, dado que ambos métodos son muy utilizados por su calidad.

El cálculo de los insumos para unir dos o más piezas de metal puede ser una tarea muy compleja, por el hecho de que intervienen muchas variables, como la mano de obra, equipo, material de aporte, energía eléctrica y equipo de protección. Como ambos métodos tienen una aceptación muy alta en la industria del acero, se necesita comprender muy bien el costo que genera la producción del proceso de ambos métodos.

1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

1.1. Desarrollo histórico de la soldadura

La soldadura es una de las industrias más antiguas para la unión de piezas de acero, puede remontarse hasta tiempos muy lejanos. El ejemplo más antiguo proviene de la Edad de Bronce, en la cual se hicieron con oro pequeñas cajas redondas aparentemente uniéndolas a presión sus lados; se estima que estas cajas fueron hechas hace más de 2 000 años, actualmente se exhiben en el museo nacional en Dublín, Irlanda.

Figura 1. Soldadura antigua



Fuente: HORWITZ, Henry. *Soldadura: aplicaciones y práctica*. Consulta: 2 019.

Durante la Edad de Hierro los egipcios y otros pueblos del Mediterráneo Oriental aprendieron a soldar y a unir piezas de hierro. Se han encontrado muchas herramientas y armas hechas aproximadamente 1 000 años antes de Cristo. Otros ejemplos acerca del arte de la soldadura antigua se muestran en los museos de Filadelfia y Toronto. Así mismo, artículos de hierro y de bronce que muestran operaciones de forjado o de soldadura que han sido encontrados en las pirámides de Egipto.

Durante la Edad Media el arte de la herrería se desarrolló en un alto grado y se produjeron muchos artículos de hierro, los cuales se soldaron golpeándolos con martillo. Uno de los trabajos de soldadura más importantes de ese período fue el Pilar de Hierro de Delhi en la India, el cual fue construido aproximadamente en el año 310 a. C., fabricado de lingotes de hierro unidos con soldadura, con una altura aproximada de 7,60 metros y un diámetro de 0,30 metros en la parte superior, y 0,40 metros en la parte inferior. Su peso total es de 5,40 toneladas métricas.

Figura 2. Pilar de hierro



Fuente: *Pilar de hierro*. https://es.wikipedia.org/wiki/Pilar_de_hierro_de_Delhi. Consulta: 2 019.

La soldadura moderna de los metales, al igual que la soldadura antigua por forjado, logra la unión de los metales por fusión. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología de la soldadura y el mejoramiento de los métodos de prueba, se observó que podía lograrse una fusión completa y permanente entre dos o más metales, y que el área soldada tenía mayor resistencia que el material base, utilizando las técnicas y los materiales correctos.

Todos los metales son soldables siempre que se apliquen los procedimientos y técnicas adecuados. En ocasiones no se logra el objetivo, porque se ha pasado por alto uno de los dos factores más importantes, ya sea el procedimiento correcto o la técnica adecuada.

1.2. Naturaleza de la soldadura

En general, el trabajo del soldador, o bien el operario, de una máquina de soldar es el unir, soldar dos piezas de metal aplicando calor intenso, presión, o ambas cosas, para poder llegar a fundir los bordes del metal en forma tal que se unan por fusión de forma permanente. Durante el proceso el operario puede llegar a utilizar el equipo necesario para producir el calor, con o sin ayuda de presión.

1.3. Soldadura por arco eléctrico

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más alta aceptación, el más natural y el más práctico para unir piezas de metal en la industria. En el proceso de soldadura manual por arco que es de uso más común, el soldador obtiene un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo y ajusta la corriente eléctrica para “hacer saltar el arco”, es decir para crear una corriente intensa que salte entre el electrodo y el metal. A

continuación, se mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que ha de soldar, dando suficiente tiempo para que el calor del arco funda el metal.

El metal fundido procedente del electrodo, o metal de aporte, se deposita en la junta, y, junto con el metal fundido de los bordes, se solidifica para formar una junta sólida, el soldador selecciona el electrodo (metal de aporte) que ha de usar para producir el arco de acuerdo con las especificaciones del trabajo.

1.3.1. Métodos de soldadura por arco eléctrico

La soldadura se puede llevar a cabo a través de diferentes métodos, que dependerán del tipo de material que se utilice, la fuerza que se desee obtener entre las uniones, entre otros. Puede ser con y sin material de aporte a las piezas de la unidad, donde el material de aporte es de igual o diferente tipo a las partes a unir.

Es importante considerar que la soldadura cambia la estructura física de los materiales, debido a que cambia algunas de las propiedades físico-mecánicas de los materiales que se están uniendo, debido a la temperatura expuesta.

Sin importar el método con el que se trabaje, siempre se debe contar con equipo de protección personal, trabajar en un lugar seguro y contar con medidas de precaución, tanto para salvaguardar la vida de técnico, como para garantizar la protección de los equipos.

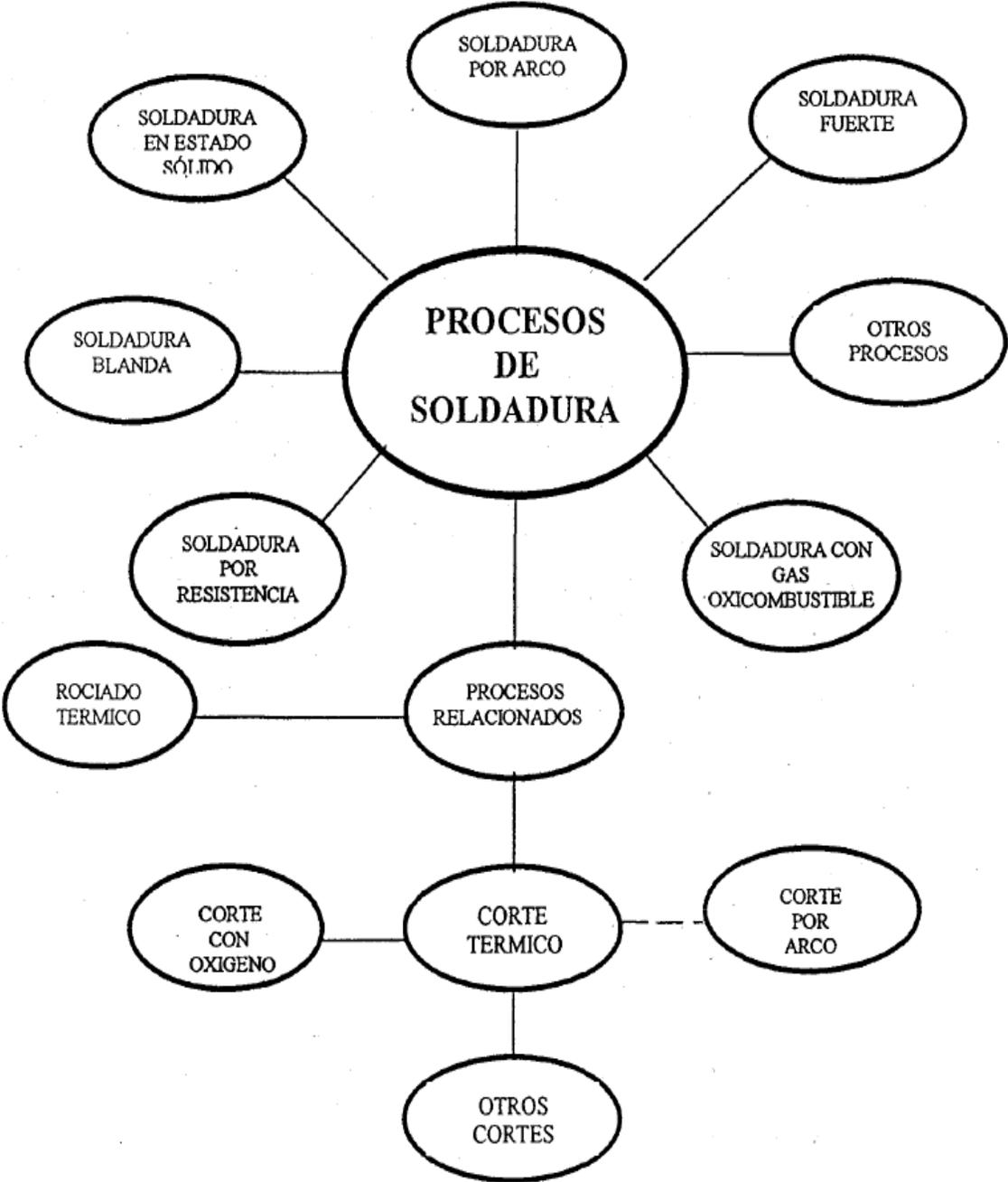
Cuando se lleva a cabo un proceso de soldadura, el técnico tiene la responsabilidad de entregar un trabajo limpio y de calidad para evitar efectos no

deseados, el ingeniero a cargo debe elegir el método adecuado de soldadura que mejor se adapte al tipo de trabajo a realizar, además de elegir los elementos necesarios y correctos para realizar el proceso de soldadura. Los principales problemas que deben evitarse son las porosidades y grietas, así como que las piezas queden quebradizas, pues esto debilitará las uniones.

La tecnología y la ciencia de la soldadura han avanzado con mucha rapidez en los últimos años, que sería casi imposible enumerar todos los métodos de soldadura que existen.

En la siguiente página se muestra la carta maestra de los métodos de soldadura según la norma ANSI/AWS. En esta investigación se muestra únicamente una breve investigación de los métodos de soldadura por arco eléctrico.

Figura 3. Carta maestra de los procesos de soldadura



Fuente: Norma ANSI/AWS.

Algunos de los procesos de soldadura por arco eléctrico se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla I. **Procesos de soldadura por arco eléctrico**

PROCESO	SIGLAS
Soldadura con hidrógeno atómico	AHW
Soldadura de arco con electrodo desnudo	BMAW
Soldadura de arco con electrodo de carbón	CAW
Soldadura de arco con electrodo de carbón y gas	CAW-G
Soldadura por arco con electrodo de carbón protegido	CAW-S
Soldadura por arco con electrodos gemelos de carbón	CAW-T
Soldadura por electro-gas	EGW
Soldadura por arco con electrodo tubular	FCAW
Soldadura por arco metálico protegido con gas	GMAW
Soldadura por arco metálico pulsado protegido con gas	GMAW-P
Soldadura de arco metálico en corto circuito protegido con gas	GMAW-S
Soldadura por arco de tungsteno protegido con gas	GTAW
Soldadura por arco pulsado de tungsteno protegido con gas	GTAW-P
Soldadura por arco de plasma	PAW
Soldadura por arco metálico protegido con electrodo recubierto	SMAW
Soldadura de pernos por arco eléctrico	SW
Soldadura por arco sumergido	SAW
Soldadura por arco sumergido en serie	SAW-S

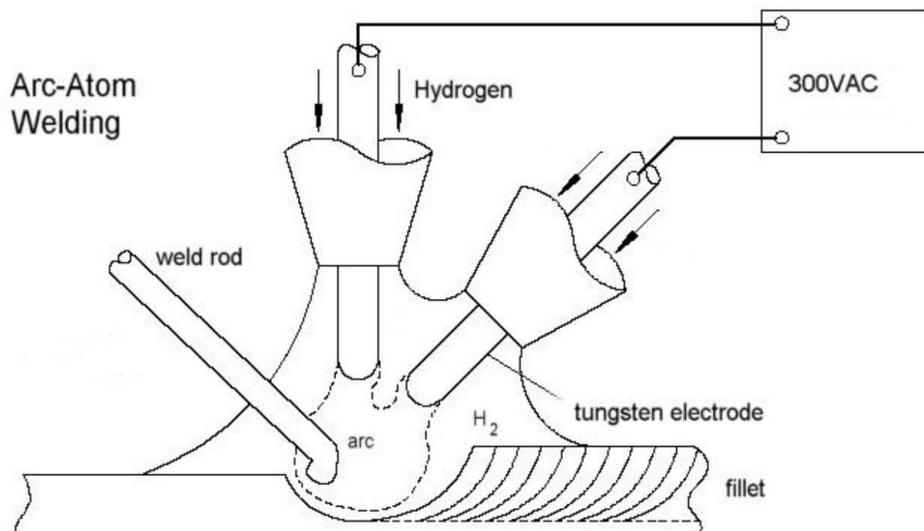
Fuente: Norma ANSI/AWS.

1.3.1.1. Soldadura con hidrógeno atómico (AHW)

La soldadura de hidrogeno atómico es un proceso de soldadura por arco eléctrico que usa dos electrodos de tungsteno metálico en una atmósfera protectora de hidrógeno.

Este proceso fue inventado por Irving Langmuir durante sus estudios sobre hidrógeno atómico en el año de 1930.

Figura 4. Diagrama del proceso AHW



Fuente: *Manual de soldadura AWS*. Consulta: 2 019.

La soldadura de hidrógeno atómico se utiliza en aquellas aplicaciones donde es necesaria la soldadura rápida, como para aceros inoxidable y otras aplicaciones especiales.

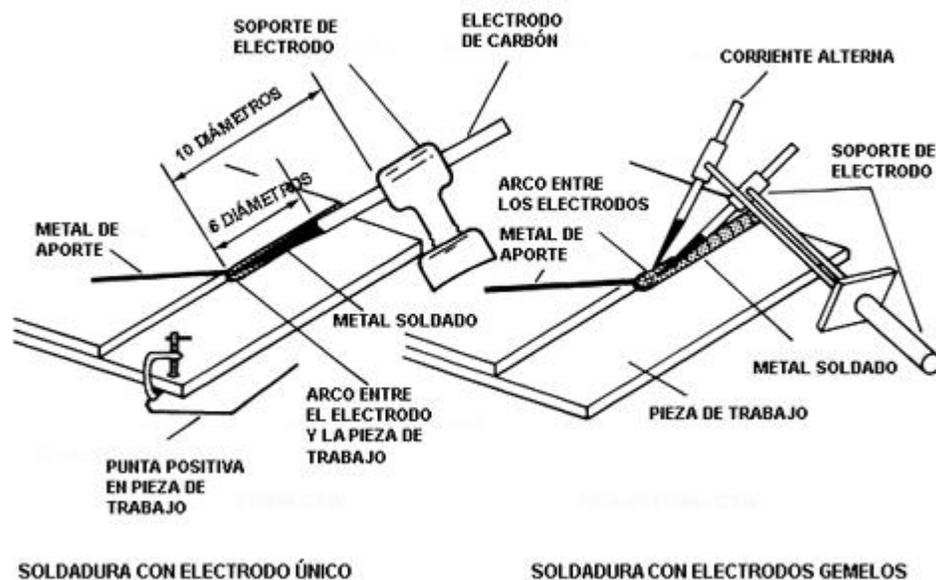
No obstante, el proceso AHW ha sido sustituido por procesos modernos como TIG y MIG, aunque no tiene las temperaturas extremas y las cualidades de construcción del arco de hidrógeno atómico.

1.3.1.2. Soldadura de arco con electrodo de carbón (CAW)

En este proceso de soldadura se usa un arco entre el electrodo de carbono y el material fundido de la soldadura. Este procedimiento se aplica con o sin protección y sin la aplicación de protección, puede usarse material de aporte o no.

La soldadura por arco de carbono usa un solo electrodo entre su arco y el metal base, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5. Diagrama del proceso CAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

Es el proceso más antiguo de la soldadura por arco, por lo cual hoy en día ya no se usa, y este proceso se menciona en esta sección para conocer los procesos más antiguos.

Para este proceso existen tres tipos de variaciones, que básicamente consisten en el tipo de protección de arco eléctrico.

- Soldadura de arco con electrodo de carbono y gas (CAW-G)
- Soldadura de arco con electrodo de carbón protegido (CAW-S)
- Soldadura de arco con electrodos gemelos (ACW-T)

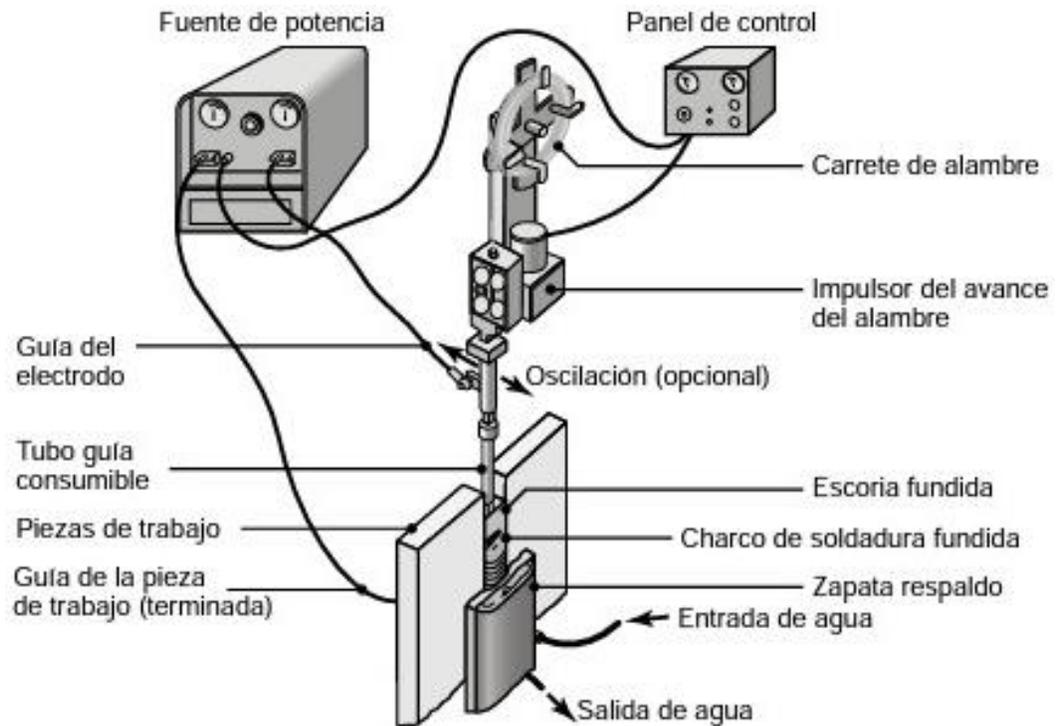
1.3.1.3. Soldadura por electrogas (EGW)

El principio de este proceso es el mismo que el MIG, que es un proceso semiautomático que básicamente se trata de un arco protegido con gas.

Es un proceso que usa un arco entre un electrodo de metal continuo y el material fundido, empleando una soldadura de posición vertical con un respaldo para confinar el metal fundido. Este proceso se usa con o sin gas de protección externamente suministrado y sin la aplicación de presión. Los electrodos pueden estar fusionados por el núcleo o ser sólidos.

Hay dos variaciones básicas en este proceso, una emplea el alambre para electrodo consumible sólido y un gas de protección externamente suministrado, por lo general dióxido de carbono (CO₂). La segunda emplea alambre de electrodo con núcleo fundente y normalmente no se usa un gas de protección externa.

Figura 6. Diagrama del proceso EGW

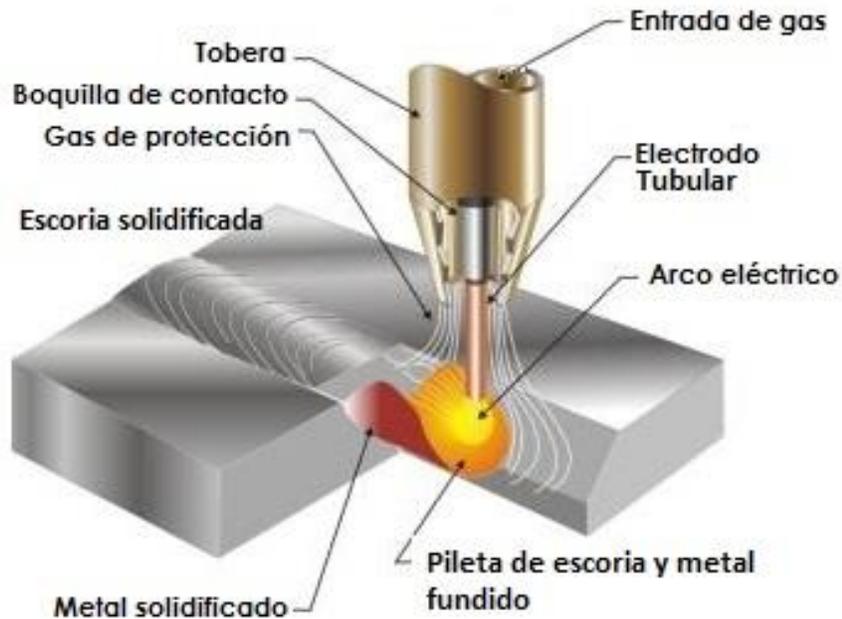


Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

1.3.1.4. Soldadura por arco con electrodo tubular (FCAW)

Es un proceso en el que se usa un arco eléctrico entre el electrodo continuo y el material base. Este proceso utiliza un gas de protección proveniente de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, puede ser con protección adicional o bien sin protección adicional de un gas externo que puede ser argón o dióxido de carbono, o también una mezcla entre estos y sin la aplicación de presión. El proceso se ilustra en la siguiente figura:

Figura 7. Diagrama del proceso FCAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

Hay un proceso que se deriva de este, en el cual se emplea un gas de protección, dióxido de carbono, argón, o bien una mezcla entre estos dos gases, que es suministrada externamente y es básicamente protegida por el gas que genera la desintegración del fundente dentro del electrodo continuo.

La soldadura por arco con núcleo fundente es una derivada de la soldadura por arco eléctrico con gas excepto por el electrodo. El fundente, ya sea con protección o sin protección de gas, genera una escoria que también protege el material fundido de la atmósfera hasta que se solidifique el cordón. Esta es una variante del proceso GMAW.

Es uno de los métodos más populares en la industria del acero, la aplicación de la soldadura por arco eléctrico con núcleo fundente se considera semiautomática cuando hay un operario que controla la pistola, mientras que también se puede considerar automática cuando se le incorpora un carro para la automatización del proceso. Con el proceso de soldadura FCAW se pueden utilizar todas las posiciones, dependiendo del tamaño del diámetro del electrodo.

En Guatemala se utilizan todos los procesos de derivados de MIG o GMAW, y dependiendo del tipo de material base a unir se puede seleccionar el mejor proceso.

1.3.1.5. Soldadura por arco metálico protegido con gas (GMAW)

La soldadura por arco eléctrico con gas es un proceso que genera un arco eléctrico entre el electrodo continuo y el material base, el material fundido es protegido de la atmósfera por medio de un gas externo, dióxido de carbono, argón o una mezcla de estos, hasta que se solidifique el cordón.

Hay algunas variantes del proceso de soldadura por arco metálico con gas y a dicho proceso se le ha dado distintos nombres comerciales. Por ejemplo, las variantes se denominan como a continuación se muestra:

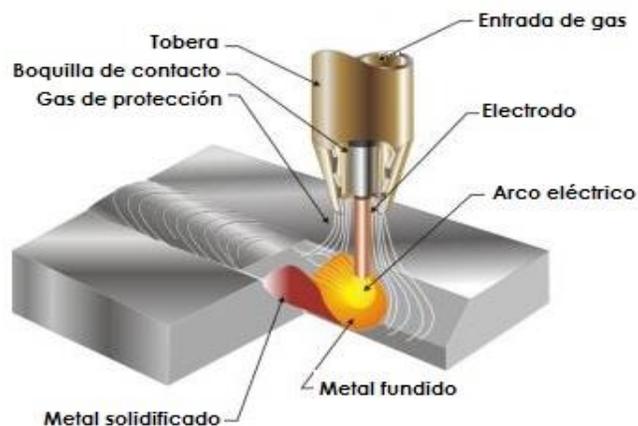
- Soldadura MIG
- Soldadura con gas CO₂
- Soldadura con alambre delgado

- Soldadura por arco pulsada
- Soldadura con electrodo tubular
- Soldadura por arco de corto circuito
- Soldadura de microalambre
- Soldadura GMAW

En Guatemala los nombres más comunes que se le dan a este proceso son soldadura de microalambre, soldadura MIG y soldadura con gas CO₂.

Las variantes que se le dan a este proceso básicamente se resumen en que es semiautomático o automático con electrodo continuo.

Figura 8. Diagrama del proceso GMAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

De este proceso habrá un capítulo específicamente, en donde se conocerá más de este tema.

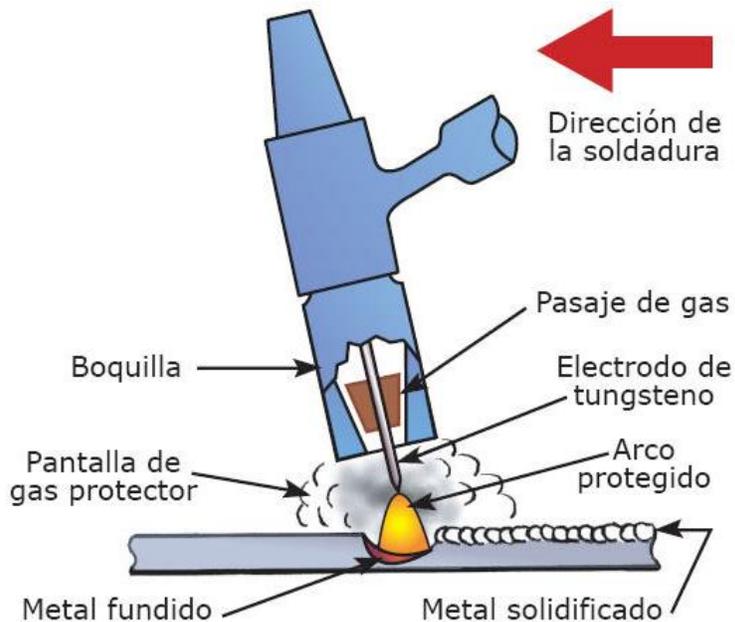
1.3.1.6. Soldadura por arco de tungsteno protegido (GTAW)

Es un proceso de soldadura por arco eléctrico, que produce una fusión de aceros con un arco entre un electrodo de tungsteno, no consumible, y el material base a unir. La protección se obtiene a partir de un gas inerte: argón. Puede usarse tanto una presión adicional como también un material de aporte.

El material de aporte es necesario cuando entre las piezas a unir existe una separación mayor a 2 mm, mientras que no es necesario el material de aporte cuando las piezas a unir tienen una separación menor o igual a 2 mm.

A este proceso, en Guatemala, también se le conoce como soldadura TIG, soldadura de tungsteno con gas inerte, que principalmente se utiliza en aceros inoxidable. El diagrama del proceso se muestra en la siguiente figura:

Figura 9. Diagrama del proceso GTAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2019.

La soldadura de arco de tungsteno con gas se usa como una fuente de calor para fundir suficientemente el metal base y el metal de aporte y obtener el material fundido de soldadura. Es similar a la soldadura de oxiacetilénica y a la soldadura por arco de carbono. Este no es un proceso de soldadura con alta tasa de producción o de acumulación.

Como en todo proceso de soldadura existen variantes, a continuación, se mencionarán las de este proceso.

- GTAW con corriente pulsante
- GTAW manual programada

- GTAW con alambre caliente (automática)

Básicamente estas variantes describen el tipo de proceso, si son automáticas o manuales, si utilizan material de aporte o no.

1.3.1.7. Soldadura por arco de plasma (PAW)

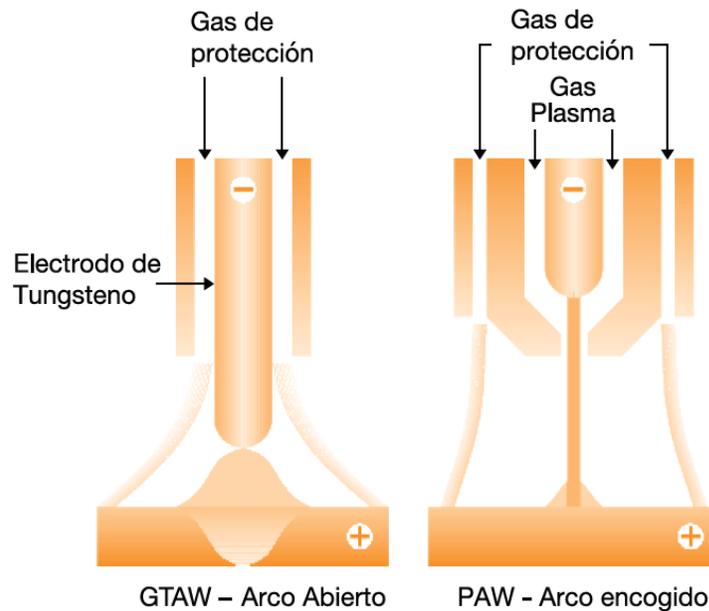
Es un proceso de soldadura que usa un arco eléctrico entre un electrodo no consumible y el material fundido de soldadura. La protección se obtiene a partir del gas ionizado que sale de la pistola, el cual puede complementarse por una fuente auxiliar de gas de protección. Este proceso es el más adecuado para unir piezas de calibres muy pequeños.

El proceso de soldadura por arco de plasma se considera una evolución del proceso TIG, ya que en el proceso PAW el arco eléctrico se forma dentro de la boquilla produciendo el plasma, haciendo este proceso muy estable y mejor opción para unir aceros de todos los calibres, mientras que en el otro proceso el arco se forma entre el electrodo y el material a unir.

La protección de este proceso es por medio de gas externo, y es principalmente el argón, aunque también se puede utilizar una mezcla entre argón y helio, para reducir costos.

En Guatemala este proceso no es muy común y se utiliza básicamente para soldar aceros inoxidable de altos o bajos calibres en el proceso TIG.

Figura 10. Diferencia del proceso PAW y TIG

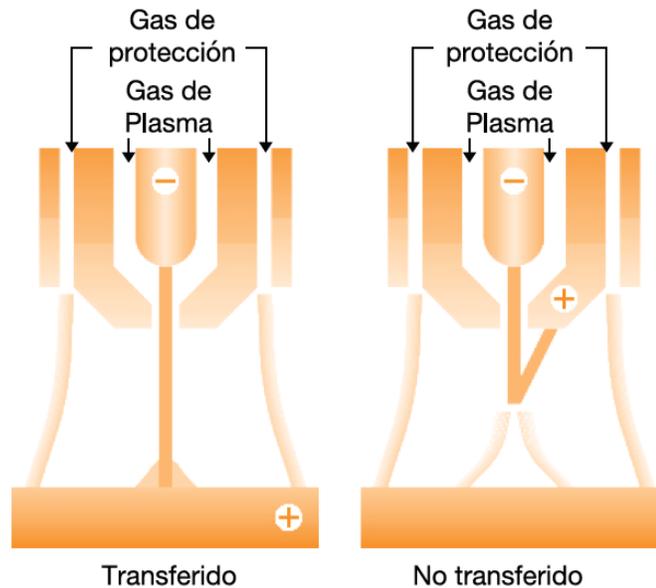


Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

Hay dos variantes de operación con este proceso: el arco transferido y el arco no transferido. El arco no transferido significa que el flujo de corriente va desde el electrodo hasta la boquilla que contiene el orificio y regresa al suministro de potencia.

El arco transferido significa que la corriente se transfiere desde el electrodo de tungsteno, pasa a través del orificio y llega hasta la pieza de trabajo y regresa de nuevo al suministro de potencia.

Figura 11. Modos de operación



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

Este proceso es uno de los más modernos de la soldadura por arco eléctrico.

1.3.1.8. Soldadura por arco de metálico protegido (SMAW)

Es un proceso de soldadura por arco eléctrico con material de aporte, entre el electrodo consumible y el material base, el proceso se obtiene por medio de un corto circuito que se mantiene entre la punta del electrodo cubierto y la superficie del metal base, en la unión que se está soldando.

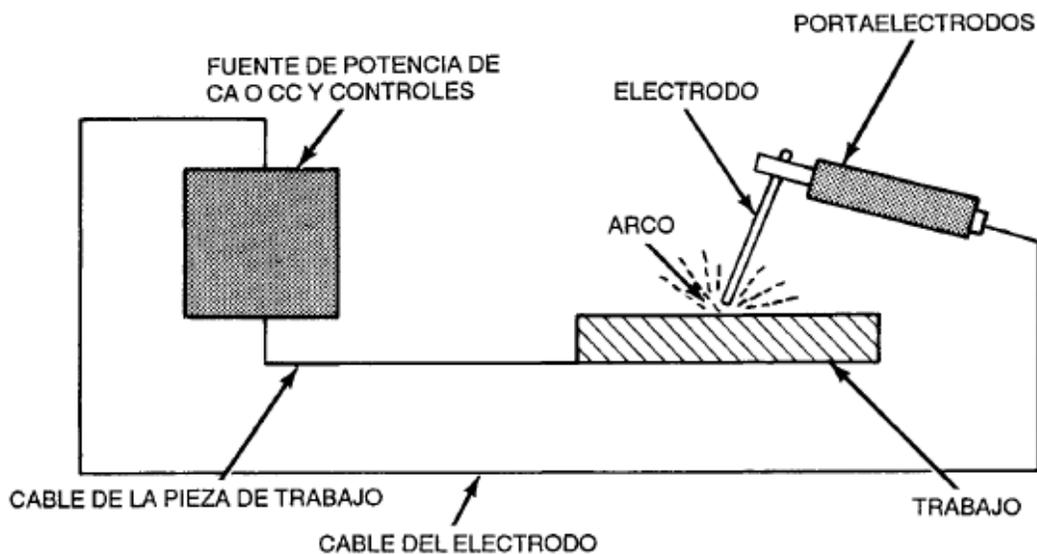
El material de aporte de este proceso consta de una varilla de acero cubierta de químicos que aportan factores primordiales al proceso, los más

principales son la protección al material fundido y un arco estable. Básicamente el electrodo proporciona todo lo necesario para la aplicación del proceso, ya que este no utiliza gas externo.

Este proceso es completamente manual, no hay modo de convertirlo en automático o semiautomático. Es uno de los procesos más antiguos en Guatemala, pero con alta demanda en la industria de las estructuras de acero.

A continuación de muestra el diagrama del proceso:

Figura 12. Diagrama del proceso SMAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

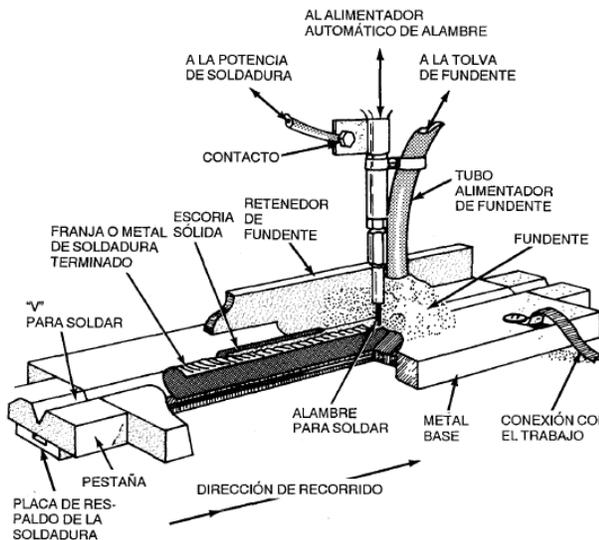
Este proceso es uno de los más usados en cualquier campo de las soldaduras, ya que existe una gran cantidad de electrodos para soldar cualquier tipo de materiales, aceros inoxidables, aceros al carbón y aceros colados.

1.3.1.9. Soldadura por arco sumergido (SAW)

La soldadura por arco eléctrico sumergido es un proceso puramente automático, en el cual el material de aporte es un alambre desnudo que forma un arco con el metal base. Para la protección de material fundido utiliza un fundente que puede reutilizarse.

A este proceso se le conoce como arco sumergido porque el arco que genera no es posible visualizarlo, ya que el fundente lo sumerge. El proceso se caracteriza por una alta tasa de deposición de material de aporte, además es ideal para realizar cordones corridos desde 0,10 m hasta 10,00 m, sin tener empalmes y tiene excelentes propiedades mecánicas y visuales. En Guatemala lo utilizan varias industrias del acero, porque tienen una gran demanda en la construcción de acero, ya que el costo del equipo es sumamente costoso.

Figura 13. Diagrama del proceso SAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

En la soldadura por arco sumergido el extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se desea soldar. Este proceso de soldadura es como los demás que necesitan un operario, en este caso es únicamente para visualizar que todo el proceso se lleve adecuadamente, el supervisor no necesariamente debe saber soldar, únicamente tener los conocimientos claros del proceso.

2. SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO RECUBIERTO (SMAW)

Es el proceso de soldadura más usado en Guatemala y en todo el mundo, a pesar de que ya existen nuevos métodos automatizados, el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo recubierto sigue siendo la soldadura líder en la industria del acero, porque este proceso se puede usar en cualquier lugar, en cualquier ambiente, en cualquier posición, en todo tipo de material y principalmente en la herrería, mientras que todos los demás procesos tienen sus limitaciones.

La soldadura por arco eléctrico con electrodo recubierto es el más antiguo y versátil entre todos los diferentes procesos de soldadura por arco. En este proceso el arco eléctrico lleva pequeñas gotas de metal fundido, procedentes de la punta del electrodo, hacia la zona fundida que se forma sobre la superficie de la pieza de trabajo. El principio clave de este proceso es la protección, la cual se obtiene por la descomposición del recubrimiento del electrodo en el arco eléctrico, el recubrimiento básicamente desempeña tres funciones principales que son:

- La creación de una atmósfera inerte que protege al metal fundido del contacto con el oxígeno y el nitrógeno, y otros contaminantes del ambiente.
- La adición de desoxidantes o limpiadores del material base con el fin de refinar la estructura granular del cordón.

- La formación de una película de escoria, de endurecimiento rápido, que protege la zona fundida de soldadura.

En la siguiente figura se muestran los componentes básicos para realizar el proceso de soldadura de arco metálico con electrodo recubierto:

Figura 14. Elementos básicos de la soldadura SMAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

Básicamente este proceso consiste en utilizar un electrodo o varilla con dicho recubrimiento, esto ocurre cuando se acerca el electrodo, con polo positivo, con el metal base, con polo negativo, y se enciende el arco eléctrico fundiendo el electrodo, dejando el material fundido de soldadura listo para solidificarse, formando el cordón.

2.1. Metales soldables con el proceso

Este proceso puede usarse para soldar la mayoría de los aceros y alguno de los metales no ferrosos. Su principal objetivo es el de unir aceros incluyendo

aceros suaves o de bajo carbono, aceros de baja aleación, aceros de alta resistencia, aceros templados o reforzados, aceros inoxidable, aceros resistentes a la corrosión y para soldar hierro fundido y hierros maleables. Se usa para soldar níquel y sus aleaciones, y en menor grado cobre y algunas aleaciones de cobre, también se utiliza para soldar aluminio, aunque en pocas ocasiones. No es utilizable para soldar magnesio o metales preciosos. En la siguiente tabla se muestran los metales soldables con este proceso:

Tabla II. **Metales soldables con el proceso**

Metal Base	Soldabilidad
Aluminio	Posible pero no popular
Bronce	Soldable
Cobre	Posible pero no popular
Cuproníquel	Aceptable
Hierro fundido y maleable	Soldable
Hierro forjado	Soldable
Inconel	Soldable
Níquel	Soldable
Monel	Soldable
Acero de bajo carbono	Soldable
acero de baja aleación	Soldable
Alto y mediano carbono	Soldable
acero de aleaciones	Soldable
Acero inoxidable	Soldable

Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

Básicamente con este proceso es posible unir un 95 % de los metales, en algunos casos con algunas dificultades, pero es posible alcanzar una buena unión con el equipo de soldadura adecuada bien graduada y una mano de obra calificada.

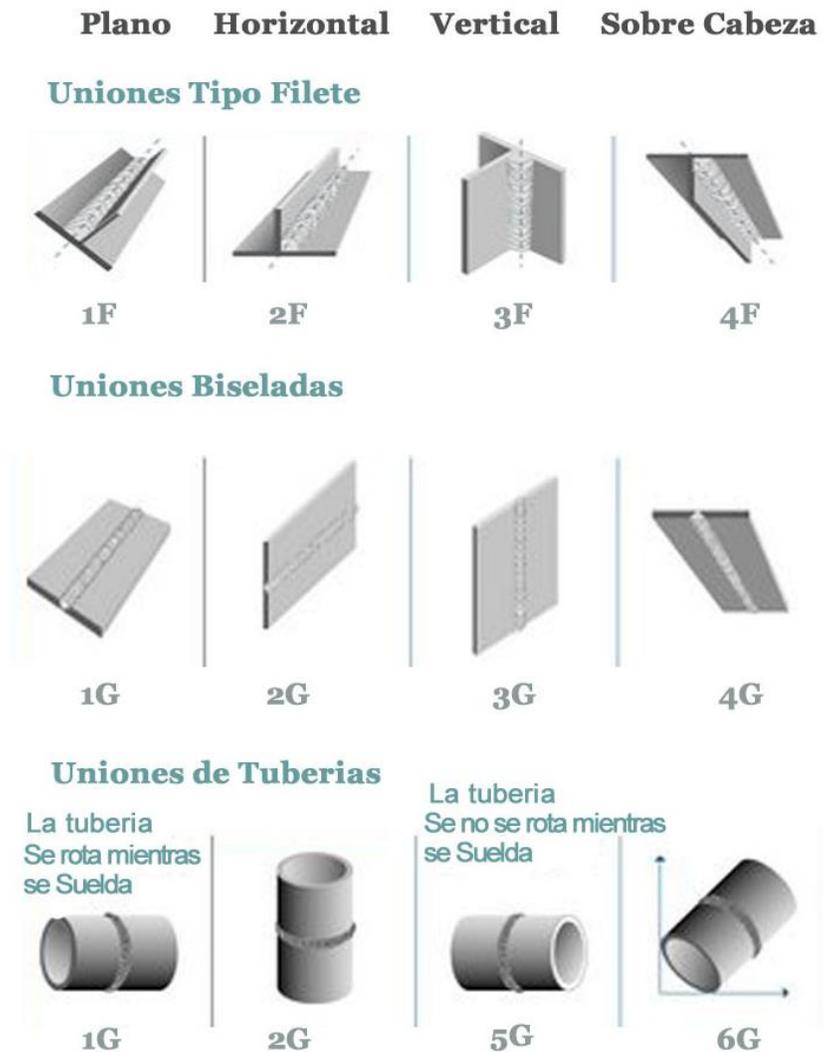
Para alcanzar un buen cordón de soldadura, tanto visual como mecánicamente, es necesario contar con mano de obra certificada, ya que es uno de los procesos que requiere de mucha práctica y experiencia para lograr el objetivo deseado.

2.2. Posición de soldadura

Una de las ventajas más importantes del proceso es que se puede soldar en cualquier posición con la mayoría de los aceros, para los que el proceso es apropiado. Esto hace que el proceso sea de utilidad para soldar uniones que no se pueden colocar en la posición plana. A pesar de esta ventaja siempre es recomendable soldar en la posición plana o ascendente siempre que sea posible, ya que es posible utilizar electrodos de mayor diámetro y así obtener mayores tasas de deposición.

Las soldaduras de posición vertical ascendente, descendente o sobre cabeza, requieren de una mayor habilidad por parte del soldador y se realizan con electrodos de menor diámetro. Los diseños de las uniones para soldadura vertical y sobre cabeza pueden ser diferentes de los apropiados para soldar en la posición plana. En la siguiente figura se muestran las posiciones más usadas en el proceso:

Figura 15. Posiciones soldables con SMAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

Cuando se habla de soldadura la norma AWS indica los rangos que el soldador debe certificar para avalar su especialización, según la posición en la que se aplica el proceso.

Existen 2 rangos designados por letras que indican la posición entre los dos aceros a unir. Se enlistan a continuación:

- F para uniones de filete o perpendiculares y de tuberías
- G para uniones a tope biseladas

Y la letra está acompañada por un número que proporciona la información sobre la posición de la pieza en general, como se muestra en la figura 15, siendo la posición 6G la que más experiencia necesita para aplicarse y la posición 1F y 1G las que no requieren de mucha experiencia.

- 1 posición en plana
- 2 posición horizontal
- 3 posición vertical
- 4 sobre cabeza
- 5 tubería sin rotación
- 6 tubería inclinada sin rotación

2.3. Circuito eléctrico de la soldadura

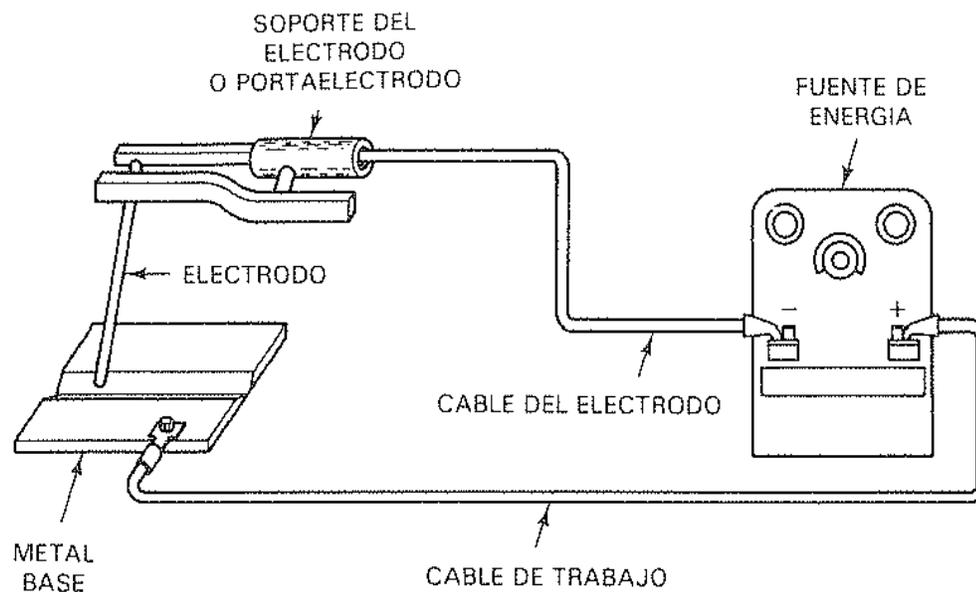
Lo forman los cables de soldadura que se utilizan para conducir la corriente del proceso desde la fuente de poder hasta el arco. El cable del

electrodo forma un lado del circuito y el cable de trabajo, tierra, el otro lado del mismo, están conectados a las terminales de la máquina de soldar.

La soldadura puede realizarse con corriente alterna, AC, o con electrodo negativo de corriente directa, DC, con una polaridad directa o con una polaridad inversa de electrodo positivo.

Se invierte la polaridad de la máquina únicamente cuando el electrodo es negativo, de lo contrario se utiliza de forma normal.

Figura 16. Circuito eléctrico del proceso



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. Consulta: 2 019.

2.4. Longitud de arco

La longitud de arco es la distancia entre la punta derretida del núcleo del electrodo y la superficie del material fundido de soldadura. Es importante usar un arco con la distancia apropiada para obtener una soldadura buena y de calidad.

La transferencia de metal desde la punta del arco hasta el material fundido de soldadura no es una acción suave y uniforme. El voltaje instantáneo del arco varía al transferirse gotas de metal fundido a través del arco, incluso cuando la longitud del arco se mantiene constante.

La longitud de arco correcta varía con la clasificación del electrodo, su diámetro y la composición de su revestimiento, así mismo varía con el amperaje y la posición de soldadura. La longitud de arco aumenta con incrementar el diámetro del electrodo.

Si el arco es demasiado corto, puede ser irregular y entra en cortocircuito durante la transferencia de metal. Por otro lado, si el arco es demasiado largo, carece de dirección e intensidad y tenderá a dispensar el metal fundido que viaja desde el electrodo hasta la soldadura. Las salpicaduras pueden ser considerables y la eficiencia de la deposición se reduciría.

El control de la longitud del arco es en gran medida cuestión de habilidades del soldador, e implica conocimientos, experiencias, percepción visual y destreza manual. Aquí es donde se puede mencionar el rango de certificación que posee el soldador, ya que no es la misma longitud de arco en todas las posiciones y el soldador debe saber controlar esa longitud.

2.5. Ventajas y desventajas del proceso

A continuación, se mencionan algunas ventajas y desventajas del proceso, ya que este tiene muy buena aceptación, pero también tiene varias limitaciones.

2.5.1. Ventajas

El proceso de soldadura por arco metálico protegido es el más popular entre este tipo de procesos. Tiene una flexibilidad máxima y puede soldar muchos metales en todas las posiciones, desde un espesor muy pequeño de 1 mm, hasta espesores muy grandes de hasta 25 mm, siguiendo los respectivos pasos que indica la norma AWS.

La inversión en un equipo de este proceso es relativamente pequeña y la mayoría de los soldadores tienen la habilidad para emplear este tipo de soldaduras, en cuanto a la herrería. Se utiliza en las operaciones de manufactura y se usa ampliamente en el trabajo de campo para la construcción de estructuras de acero y el mantenimiento de maquinarias.

Existe una gran gama de electrodos para soldar diferentes tipos de materiales, electrodos de diferentes polaridades, de diferentes protecciones químicas, las longitudes de los electrodos son variables según el lugar en donde serán utilizados.

2.5.2. Desventajas

Una de las limitaciones de este proceso es la pérdida de material de aporte y de cordones discontinuos. Siempre que un electrodo se consume quedan dos pulgadas aproximadamente de su longitud original y el soldador

debe detenerse. La soldadura no puede continuar puesto que no debe usarse la porción desnuda del electrodo y colocar un nuevo electrodo en el soporte. El soldador debe romper la escoria, quitar la colilla del electrodo y colocar un nuevo electrodo, esto ocurre muchas veces durante el día de trabajo y depende del tamaño y longitud del electrodo. Todos estos factores impiden que el soldador logre un factor operativo o un ciclo de trabajo mucho mayor al 25 %.

Otra limitación es la utilización del metal de aporte, las pérdidas de la colilla del electrodo y del revestimiento permiten una utilización total del electrodo recubierto de aproximadamente 65 %, ya que la colilla no es posible utilizarla. A continuación, se mencionan algunas otras desventajas:

- La velocidad de avance durante la soldadura es muy baja en comparación a otros métodos.
- Produce grandes cantidades de escoria que al final deben de removerse.
- Los electrodos deben mantenerse en lugares secos y a una temperatura de 17-27 °C.
- Pérdida de material de aporte debido a las colillas.
- Baja tasa de deposición en comparación a otros procesos.

2.6. Material de aporte

El electrodo recubierto es el único elemento que se requiere para este proceso. La selección de un electrodo recubierto para un trabajo específico se basa en el uso que se le vaya a dar al electrodo y en la composición y

propiedades del metal depositado. Para seleccionar de modo adecuado un electrodo es bueno entender la función del revestimiento, la base de la especificación, los factores de uso y las propiedades del metal depositado.

Figura 17. Electrodo



Fuente: *Manual de soldadura Esab*. Consulta: 2 019.

En Guatemala los electrodos más usados son el de penetración de raíz E-6010, E-6011 y para relleno o remate E-6013, E-7018, E-7024, dependiendo de la posición de la pieza.

El revestimiento del electrodo proporciona varios factores importantes que definen si son de penetración o básicos, a continuación, se mencionan algunos otros factores que proporciona el revestimiento:

- Protección por medio de un gas proveniente de la descomposición de ciertos componentes químicos del revestimiento para proteger el arco de la atmósfera.

- Desoxidantes para depurar y purificar el metal base, antes de que llegue el material fundido.
- Formadores de escoria para proteger el metal fundido antes de solidificarse, contra contaminantes que posee la atmósfera.
- Elementos de ionización para hacer el arco más estable y operar con corriente alterna.
- Elementos de aleación que proporcionan características especiales al metal depositado.
- Polvo de hierro para mejorar la productividad del electrodo

2.6.1. Clasificación de los electrodos

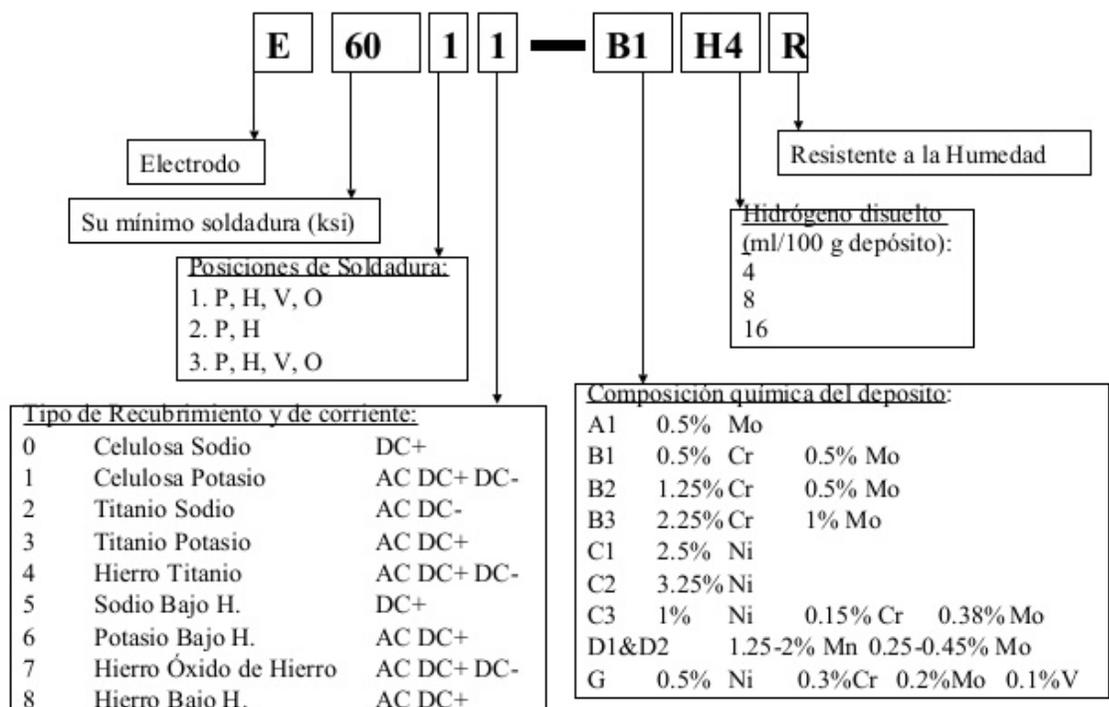
Existe una gran cantidad de tipos de electrodos, y hay dos criterios de que los clasifican, que son, según la norma y según su revestimiento.

2.6.1.1. Según norma

La AWS, Sociedad Americana de Soldadura, ha establecido un sistema para identificar y especificar los diferentes tipos de electrodos y de metales de aporte. En Guatemala se opta por esta norma, ya que en el país no hay una norma específicamente para soldaduras, existen otras normas que también especifican los procesos de soldadura, la norma API, Instituto Americano del Petróleo, o la norma ASME, que significa Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, estas normas en soldaduras se rigen en su especialidad, mientras que la AWS se rige en la construcción en acero y sus métodos.

Los electrodos de acero suave y los electrodos cubiertos con acero de baja aleación están prefijados por la letra E, seguida de un número de cuatro o cinco dígitos. El prefijo E significa “electrodo”. Los dos primeros dígitos indican la fuerza de tensión en miles de libras por pulgada cuadrada del metal de soldadura depositado. El tercer dígito indica la posición a soldar para la cual se ha designado el electrodo. El número 1 significa “todas las posiciones”: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza, el número 2 significa solamente la posición horizontal de filete y la posición plana. El número 4 significa vertical con progresión descendente. El cuarto o quinto dígito es una escala de usabilidad que indica el tipo de revestimiento, lo cual a la vez indica el tipo de corriente de soldadura que se habrá de usar. En la siguiente figura se muestra el significado de la nomenclatura:

Figura 18. Nomenclatura de electrodos utilizados



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Tomo II. Consulta: 2019.

2.6.1.2. Según el revestimiento

Los electrodos también se pueden clasificar según su revestimiento, esto es necesario para clasificarlos para el trabajo específico que fueron diseñados. A continuación, se mencionan los tipos de revestimientos.

2.6.1.2.1. Celulósicos

Se les llama así por el gran porcentaje de celulósica que llevan en su revestimiento, sus principales características son: alto nivel de penetración, solidificación rápida, buenas propiedades mecánicas, presentación media.

2.6.1.2.2. Rutílicos

Estos tienen una gran cantidad de rutilio y óxido de titanio en su revestimiento, y sus principales características son: media penetración, arco suave, presentación muy buena y buenas propiedades mecánicas.

2.6.1.2.3. Minerales

En este tipo de revestimiento sus principales componentes son el óxido de hierro y manganeso, sus principales características son: penetración, apariencia, propiedades mecánicas, alta tasa y velocidad de deposición.

2.6.1.2.4. Básicos

Se les llama así por su total ausencia de humedad en su revestimiento, sus principales características son: alta ductilidad, buenas propiedades mecánicas, calidad radiográfica, penetración aceptable.

2.6.1.2.5. Hierro en polvo

A estos electrodos se les reconoce por una cantidad balanceada de hierro en polvo en su revestimiento y sus principales características son: un excelente rendimiento, arco muy suave, excelente presentación y excelentes propiedades mecánicas.

2.6.2. Tipos de materiales de aporte

Existe una gran gama de materiales de aporte, para este proceso estos se clasifican por tres factores principales: uno, por la composición química del recubrimiento, dos, la capacidad de tensión máxima, y tres, el tipo de corriente que utiliza. A continuación, se mencionan los más comunes.

2.6.2.1. Celulosa/sodio (E-XX10)

El electrodo E-6010 es un electrodo revestido de alto contenido de celulosa, diseñado para proporcionar un arco uniforme y estable con suficiente fuerza para lograr una penetración profunda dentro del metal base, este tipo de electrodo muestra una gran eficiencia de deposición y poca pérdida por salpicaduras. Es ideal para utilizarse en sentido vertical, hacia arriba o hacia abajo.

Estos electrodos se utilizan comúnmente para soldaduras fuera de posición, como soldaduras en campo, en astilleros, torres para agua, recipientes a presión, tuberías a presión, piezas de acero fundido y aceros galvanizados.

2.6.2.2. Celulosa/potasio (E-XX11)

Estos tienen las mismas características del electrodo E-6010, sin embargo, estos electrodos pueden utilizarse con equipos pequeños y corriente alterna o corriente directa, están especialmente diseñados para aplicarse en donde hay poco ajuste de ranuras y aceros oxidados y aceitosos.

Se utilizan comúnmente para todo tipo de trabajos donde se necesita una calidad radiográfica, otros usos son en puentes, estructuras especiales, recipientes a presión, tuberías y tanques de almacenajes.

2.6.2.3. Rutilo/potasio (E-XX13)

Estos electrodos revestidos con alto porcentaje de titanio se utilizan para secciones que solo requieren penetración superficial y una buena humedad, este electrodo puede utilizarse en todo tipo de proyectos, por formar un arco suave y uniforme que se regenera fácilmente. Estos electrodos pueden utilizarse en cualquier posición con corriente alterna o directa. Se utilizan usualmente en la herrería donde no requieran de evaluación radiológica o donde la apariencia sea importante.

2.6.2.4. Bajo hidrógeno/polvo de hierro (E-XXX8)

Este tipo de electrodo es más eficiente que el de uso general que se utiliza para soldar aceros al carbón, tiene un buen índice de deposición y proporciona un arco suave y tranquilo con poca salpicadura y una penetración media. La soldadura depositada tiene un índice muy alto en calidad de rayos x, excelentes propiedades mecánicas y una apariencia muy buena, puede utilizarse con corriente directa o corriente alterna.

Este tipo de electrodo cumple con muchas especificaciones de ASTM, se utiliza especialmente en trabajos pesados, tuberías de procesos, cementeras, minerías, fabricación de maquinaria pesada, recipientes de presión, aceros estructurales, barcos.

2.7. Ensayo de costos de un metro lineal de soldadura

A continuación, se procederá a realizar los ensayos necesarios para determinar los costos de los consumibles que intervienen en el proceso.

2.7.1. Descripción del ensayo

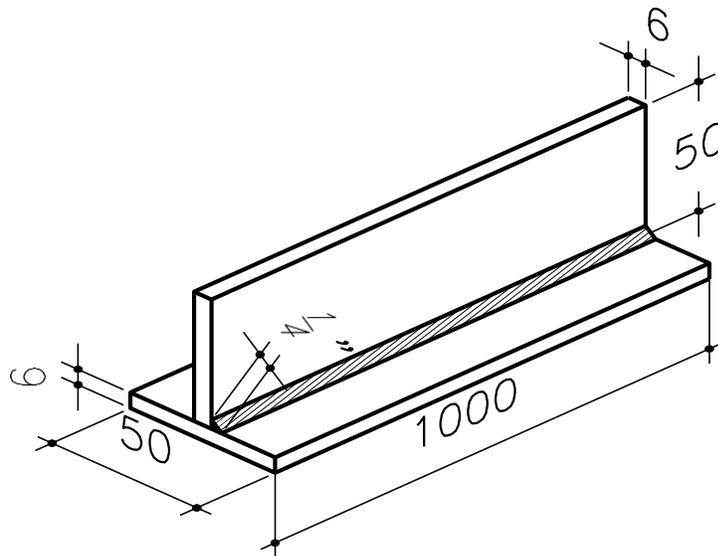
El objetivo de los ensayos a realizar es obtener el peso del material depositado en un metro lineal de soldadura, en una posición de filete con electrodo revestido E-7018 con polaridad positiva.

Se realizarán en el taller de Soluciones Estructurales un total de 4 ensayos para este proceso, con el personal y equipo adecuado para este proceso, en la posición que se muestra en la figura 19 que es de filete.

2.7.2. Muestra del ensayo

Las probetas básicamente son placas de acero al carbono, estructural A-36, en una posición de filete y una soldadura de $\frac{1}{4}$ "", se realizarán 2 probetas, obteniendo una soldadura de un metro de cada lado, para tener un total de 4 ml de soldadura de arco con electrodo. Con esto se podrá realizar un promedio tanto de peso como del tiempo en que se realiza este proceso.

Figura 19. Probeta para el ensayo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.7.3. Procedimiento del ensayo

A continuación, se describe el procedimiento a utilizar para la aplicación del proceso de soldadura, este método es empírico ya que no existe ninguna norma que lo describa.

- Se preparan las probetas de acero con medidas y juntas específicas y seguidamente se pesan las probetas, sin aplicarles el proceso de soldadura.
- Se realiza el proceso de soldadura de arco con electrodo revestido, y se mide el tiempo desde que se enciende el arco hasta terminar con la probeta, se mide con todos los distractores que intervienen, como lo son: cambio de electrodo, limpieza de escoria final, entre otros.

- Terminado el proceso se pesa nuevamente la probeta, ahora será la probeta más material de aporte depositado.
- Este proceso se hará con las 4 probetas de soldadura, para poder tener un promedio final y así realizar los cálculos necesarios para obtener el costo unitario de este proceso de soldadura.

Figura 20. Ensayo del proceso de soldadura con electrodo revestido



Fuente: elaboración propia, en: Taller de Soluciones Estructurales.

Figura 21. Peso de probetas y material de aporte



Fuente: elaboración propia, en: Taller de Soluciones Estructurales.

Para el cálculo del peso del material de aporte se pesaron 20 electrodos dando un total de 2,126 lb, como resultado da que cada electrodo pesa 0,1063 lb.

Como se observa en la figura 21, hay una variación de pesos en las probetas, esto es debido al fabricante del material, ya que siempre existen errores, ya sea humanos o bien de maquinaria, al momento de procesar el producto.

Tabla III. **Datos obtenidos en los ensayos**

Datos de los ensayos						
No	Peso electrodos utilizados (lb)	Cantidad electrodos utilizados (U)	Tiempo soldando (min)	Peso probeta sin soldadura (lb)	Peso probeta con soldadura. (lb)	Peso de pérdidas por colillas. (lb)
1	0,501	4,714	7,132	13,330	13,938	0,046
2	0,437	4,107	6,667	13,938	13,931	0,046
3	0,501	4,714	8,092	13,320	13,665	0,046
4	0,457	4,303	7,367	13,665	13,938	0,046

En todos los ensayos se utilizó un amperaje del equipo de 200 A y un voltaje de 240 v.

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Material y tiempos netos**

Promedio de material depositado y tiempo		
No.	Peso neto de material depositado (lb)	Tiempo utilizado. (h)
1	0,328	0,119
2	0,273	0,111
3	0,345	0,135
4	0,273	0,123
Promedio.	0,305	0,122

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos en los ensayos se puede determinar por promedio aritmético que el peso neto depositado es de 0,305 lb. Y el tiempo neto empleado es de 0,122 h, los tiempos obtenidos dependen estrictamente

del tamaño del cordón, ya que si el cordón es más grande el soldador tiene que llevar una velocidad menor.

2.7.4. Equipo a utilizar

La máquina de soldar o la fuente de poder es el centro del sistema de soldadura por arco metálico protegido. Su propósito fundamental consiste en proporcionar energía eléctrica con corriente adecuada o un voltaje a efecto de mantener un aro de soldadura controlable y estable.

El equipo principal a utilizar para el ensayo es una máquina Miller Dialarc 250 AC/DC, con un ciclo de trabajo del 50 %, a amperios altos, mientras que si se utilizan amperios bajos el ciclo de trabajo puede llegar a ser hasta del 100 %. En la siguiente figura se muestra el equipo utilizado para este proceso:

Figura 22. Equipo para el proceso



Fuente: elaboración propia, en: Taller de Soluciones Estructurales.

Para este tipo de trabajos se recomiendan equipos industriales no especificando una marca, pero que sean capaces de fundir el electrodo requerido.

2.7.5. Mano de obra

Este factor se considera como costo directo, por lo tanto, se asume que el soldador es contratado por día en un período de ocho horas diarias, con todas sus prestaciones. Cabe destacar que la contratación de la mano de obra es calificada. Se toma la opción que usualmente utilizan las empresas, es decir, contratar al soldador como un empleado regular con un salario fijo, mensual, quincenal o diario.

Para el análisis del costo de mano de obra de un soldador deben considerarse todas las prestaciones y asuetos que están vigentes en la ley de Guatemala, en la siguiente tabla se muestran los cálculos:

Tabla V. **Cálculo del factor de prestaciones**

Descripción	Cantidad de días	Porcentaje
Prestaciones de ley		
Bono 14	30/365	8,22 %
Aguinaldo	30/365	8,22 %
Indemnización	30/365	8,22 %
Vacaciones	15/365	4,11 %
IGSS		10,67 %
IRTRA		1,00 %
INTECAP		1,00 %

Continuación de la tabla V.

Días de asueto		
1 de enero	1/365	
Semana Mayor	2.5/365	
1 de mayo	1/365	
30 de junio	1/365	
Feriado local	1/365	
15 de septiembre	1/365	
20 de octubre	1/365	
1 de noviembre	1/365	
24 de diciembre	0,5/365	
25 de diciembre	1/365	
31 de enero	0,5/365	
Total días de asueto		3,14 %
Días no trabajados		
domingos	53/365	14,48 %
Sábados	26,5/365	7,24 %
Factor de prestaciones		66,30 %

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra el cálculo del salario diario y salario por hora de un soldador calificado. El salario diario del soldador por la habilidad que posee es de Q 175,00, esto se puede calcular con la siguiente expresión:

$$S_t = S_d F_p$$

Donde:

St= salario total diario

Sd= salario diario

Fp= factor de prestaciones

Tabla VI. **Salario por metro lineal**

Salario total. (d)	Salario total (h)	Salario por ml
Q290,89	36,36	Q4,43

Fuente: elaboración propia.

El salario de mano de obra por un metro lineal de soldadura con el proceso de arco con electrodo revestido es de Q 4,43 considerando un soldador calificado.

2.7.6. Consumo eléctrico para un metro lineal de soldadura

El costo de energía eléctrica para soldar es relativamente bajo con respecto al amperaje utilizado, se debe saber que el equipo de soldadura debe estar lo más cerca del punto de trabajo, ya que cables muy grandes provocan una caída de voltaje, y lo tendrá que recompensar la fuente, esto provocaría un mayor consumo de energía.

Para el cálculo del consumo eléctrico se tomarán los datos del equipo y los factores utilizados, con la siguiente ecuación, donde la tarifa eléctrica se asume de 1,25 Q/kwh.

$$P = \frac{V * I * T}{1\ 000} * T a$$

Donde:

P= potencia

V= voltaje utilizado

I= corriente utilizada

T= tiempo soldando

Ta = tarifa kwh.

Tabla VII. **Consumo eléctrico**

Datos del equipo utilizado			
Vol. de equipo (V)	AMP utilizado (A)	Tiempo de soldado. (H)	Consumo eléctrico (Q)
220	200	0,122	6,70

Fuente: elaboración propia.

Para realizar un metro lineal de soldadura, con el equipo que se mencionó en secciones anteriores y el tiempo que emplea, se consume Q 6,70

2.7.7. Costo del material de aporte depositado

Para determinar el costo del material de aporte, por metro lineal de soldadura, según los datos obtenidos en el ensayo, el promedio del peso del material depositado fue de 0,305 lb

El costo por libra del material de aporte E-7018 está alrededor de Q 15,00

Tabla VIII. **Costo del material depositado**

Costo (Q/ml)
4,57

Fuente: elaboración propia.

2.7.8. **Costo del material de aporte (pérdidas)**

La pérdida en este proceso es de suma importancia, ya que por las colillas que no se logran fundir y el revestimiento del material existe una pérdida muy considerable. En la siguiente tabla se muestra el peso neto consumido y el peso neto depositado:

Tabla IX. **Pérdidas del material**

Material depositado (lb)	Material utilizado (lb)	Pérdida (lb)
0,305	0,474	0,169

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Costo de las pérdidas del material de aporte**

Costo (Q)
2,54

Fuente: elaboración propia.

3. SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS INERTE (GMAW)

La soldadura por arco con gas metálico se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo consumible, ya sea sólido o tubular, que se protege mediante un gas de procedencia externa, que puede ser argón, dióxido de carbono o una mezcla entre estos.

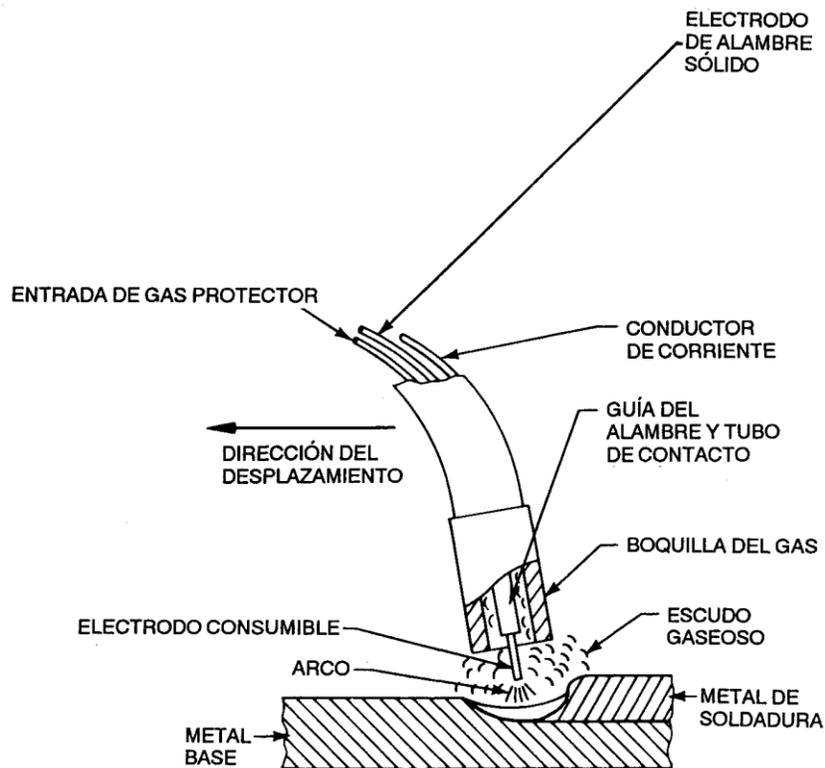
Una vez que el operador ha hecho los ajustes iniciales, el equipo puede regular automáticamente las características eléctricas del arco. Por todo esto los únicos controles manuales que el soldador requiere para la operación semiautomática son los de velocidad y dirección del desplazamiento, así como el posicionamiento de la pistola. Cuando se cuenta con equipo y ajustes apropiados, la longitud de arco y la corriente (es decir, la velocidad de alimentación del alambre) se mantienen automáticamente.

Hay algunas variantes del proceso de soldadura por arco metálico con gas y a dicho proceso se le han dado muchos y distintos nombres comerciales. Por ejemplo, las variantes se denominan soldadura MIG, soldadura CO₂, soldadura con alambre delgado, FCAW. Estas variaciones son de suma importancia, cada una de ellas aporta un factor importante que ayuda a tener un mejor resultado según donde se requiera.

Estas variantes no quieren decir que el proceso sea diferente, el equipo sigue siendo el mismo, así mismo la pistola, lo único que lo diferencia es el material de aporte, si es tubular el proceso se llama FCAW, si es sólido el

proceso se llama MIG, y por eso a este conjunto de procesos se les llama MIG o GMAW.

Figura 23. Elementos básicos del proceso



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna AWS*. Tomo I. Consulta: 2 019.

3.1. Metales soldables con el proceso

El proceso de soldadura por arco de metal con gas inerte se usa para soldar aceros de bajo a mediano contenido de carbono, aceros de alta resistencia y baja aleación, aceros templados y forjados, ciertos aceros inoxidables y hierro fundido. El proceso también se usa para recubrir y para reparar piezas de mecánica que estén gastadas.

Se pueden soldar metales con un espesor desde 0,005 pulgadas, 0,13 mm, en adelante. La variante de corto circuito y la variante de arco pulsante se usan para soldar los materiales más delgados en todas las posiciones. Espesores mayores pueden soldarse con la variante CO2 de alambre grueso. Este proceso básicamente permite soldar cualquier espesor de material y una gran cantidad de aceros, cambiando algunos factores en los consumibles, que son variantes de este mismo proceso.

Figura 24. Metales soldables

Metal base	Soldabilidad
Hierro fundido	soldable
Acero de bajo carbón	soldable
Acero de baja aleación	soldable
Acero de alto y medio carbono	soldable
Aceros de aleaciones	soldable
Aceros inoxidable	tipos limitados

Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Consulta: 2 019.

Para soldar aceros inoxidable tiene ciertas limitaciones este proceso, no es imposible la aplicación, debido a que para estos aceros hay procesos especiales para unirlos.

3.2. Posición de soldadura

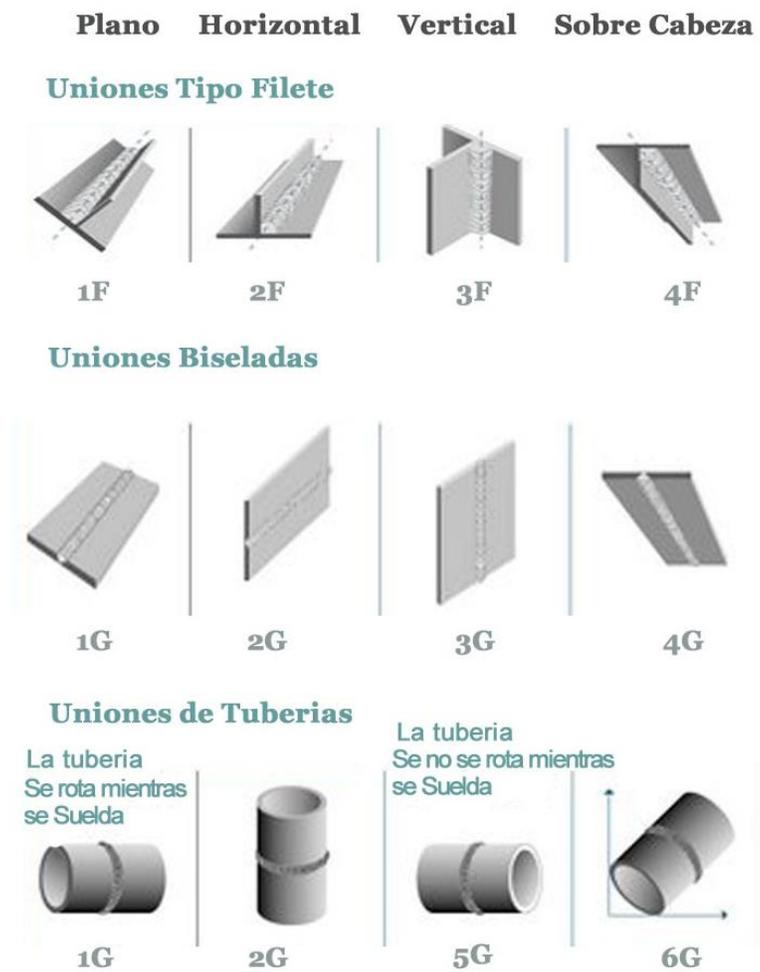
El método de aplicación más popular es el semiautomático, con el que el soldador se encarga del desplazamiento y alimentación manual de una pistola de soldar, pero el equipo es el encargado de suministrar el material de aporte y el gas de protección. El segundo es el método completamente automático en que la operación está completamente automatizada. Este proceso es considerado como soldadura de máquina, el operario únicamente observa que el equipo esté funcionando correctamente y que no le falte ninguno de sus consumibles, sin embargo, es de menor popularidad por los costos del equipo. El proceso no puede aplicarse manualmente, pero es necesario un operario con los conocimientos necesarios del proceso, aunque no sea soldador.

El proceso de soldadura por arco metálico con gas tiene aplicación en todas las posiciones. Sin embargo, cada una de las variantes tiene sus propias posibilidades en cuanto a la posición, dependiendo del tamaño del electrodo y de la transferencia del metal. La variante de la soldadura CO₂, que utiliza alambres de electrodos grandes, se aplica principalmente en las posiciones de fileta plana y horizontal. La variante por arco de rocío se usa normalmente en posición plana y horizontal. Puede usarse en posición vertical y de sobre cabeza si se emplean electrodos de tamaño más pequeño. Las variantes de corto circuito y las variantes pulsantes pueden usarse en todas las posiciones.

Básicamente este proceso se puede aplicar en todas las posiciones, las posiciones más usuales y que no necesitan de mucha experiencia son planos, filete y a tope, las otras posiciones como vertical ascendente, vertical descendente o sobre cabeza necesitan de una gran experiencia por parte del soldador, aparte de tener certificación vigente. Este proceso tiene que aplicarse

en lugares cerrados en donde el viento no sopla, debido a que el cordón podría presentar imperfecciones por falta de gas de protección.

Figura 25. Posiciones soldables con GMAW



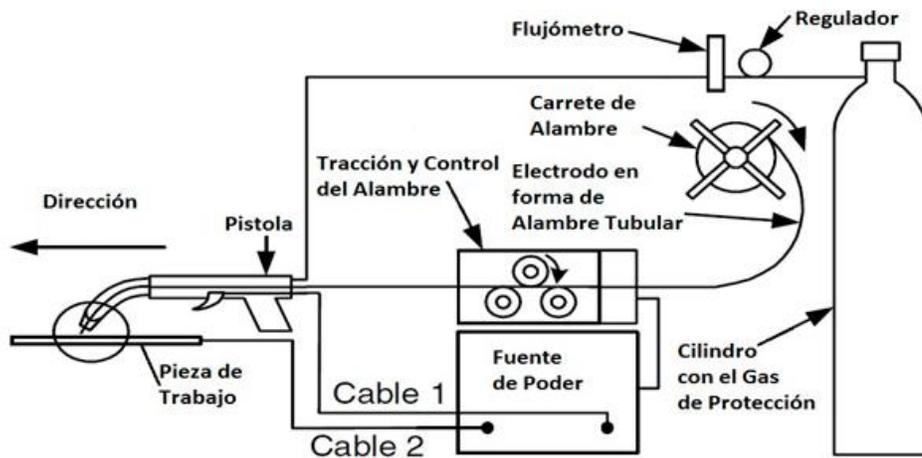
Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Consulta: 2 019.

3.3. Circuito eléctrico de la soldadura

El circuito eléctrico que se emplea para la soldadura de arco metálico con gas se sirve de un sistema alimentador que controla el suministro de alambre del electrodo y el arco de soldadura, así como el flujo del gas de protección y el agua para enfriamiento (el agua es opcional; en la mayoría de ocasiones no se utiliza).

El suministro de corriente es normalmente voltaje constante, VC. Se usa una pistola o soplete para dirigir el electrodo y el gas de protección al área del arco. En la siguiente figura se muestra el sistema de soldadura GMAW:

Figura 26. Circuito eléctrico de soldadura GMAW



Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Consulta: 2 019.

3.4. Ventajas y desventajas del proceso

Como en todo proceso, existen ventajas como desventajas ya que dependiendo de las posiciones o bien del clima a si es como serán la efectividad del proceso.

3.4.1. Ventajas

La soldadura de arco con gas tiene muchas ventajas sobre el proceso de soldadura manual por arco con electrodo recubierto. También proporciona ciertas ventajas sobre los procesos de soldadura por arco sumergido. Dicho de modo sencillo, el proceso de soldadura GMAW proporciona un metal de soldadura de alta calidad a un costo más bajo y con un menor esfuerzo de parte del operario que algunos otros procesos de soldadura. Algunas de sus ventajas son:

- Alta calidad del metal depositado
- Excelente apariencia del cordón, soldados suaves y uniformes
- Excelente contorno de los cordones de filete horizontales
- Suelda una variedad de aceros con un amplio rango de espesores
- Factor de alta operatividad, fácilmente mecanizado
- Alta tasa de deposición, densidad de alta corriente
- Utilización del metal de electrodo, relativamente alta

- Velocidades de desplazamiento relativamente altas

3.4.2. Desventajas

Como en todo proceso existen algunas limitaciones, a continuación, se mencionan algunas:

- El proceso normalmente produce una capa de escoria que debe ser eliminada.
- El alambre es más costoso que el de las otras variantes del proceso.
- El equipo es más costoso y complejo que el que se requiere para la soldadura por arco metálico protegido, sin embargo, el incremento en la productividad compensa este costo.
- El equipo de soldadura tiene que estar relativamente cerca de la pieza debido a que las mangueras y cables son cortos.
- El equipo es más complejo y necesita mayor mantenimiento.

3.5. Consumibles del proceso

Se usan varios consumibles principales para el proceso de soldadura GMAW, los cuales son: metal de aporte, gas de protección, protección contra chispas y boquillas.

3.5.1. Electrodo (alambre continuo)

Este elemento es fundamental en la soldadura, debe seleccionarse cuidadosamente tomando en consideración el metal base que se vaya a soldar y la variante del proceso que se vaya a emplear. El material de aporte o alambre de electrodo normalmente se relacionan con los requisitos de resistencia del metal de soldadura depositado, así como con la composición. Los siguientes factores rigen la selección del alambre:

- El material que se vaya a soldar, el tipo de composición y las propiedades mecánicas del material base son de importancia primordial.
- Espesor y diseño de la unión. Las secciones más gruesas del metal base y los diseños complejos de uniones generalmente requieren de metales de aporte que proporcionan alta ductilidad al metal depositado.
- Condiciones de la superficie. La superficie del metal base que se vaya a soldar, ya sea que esté escamosa, oxidada, entre otros, influye significativamente en el tipo de alambre de electrodo que se vaya a aplicar.
- Especificaciones o condiciones de servicio. Las especificaciones pueden dictar el tipo de electrodo que se vaya a aplicar.

Para este trabajo de graduación se utilizará alambres de electrodos con núcleo de fundente, y de este material se han establecido especificaciones, la información relacionada con estos electrodos se basa en las especificaciones de la AWS para electrodos de este proceso. En la siguiente figura se muestra la clasificación de los electrodos:

Figura 27. Tipos de los electrodos utilizados en GMAW

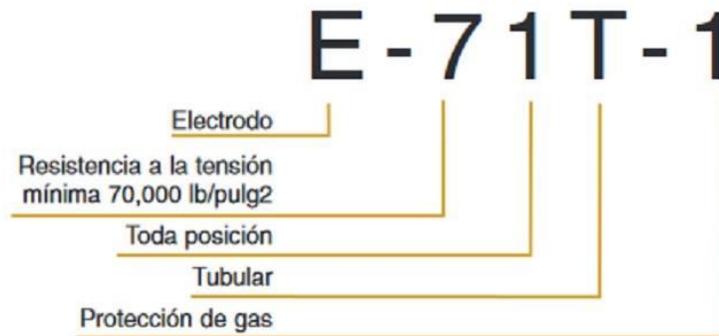
Clasificación de la AWS	Composición y clasificación	Gas de protección	Corriente y polaridad
EXXT-1	para aceros al carbón y de baja aleación	CO2	CD e+
EXXT-2		CO2	CD e+
EXXT-3		Ninguno	CD e+
EXXT-4		Ninguno	CD e+
EXXT-5		CO2	CD e+
EXXT-6		ninguno	CD e+
EXXT-7		ninguno	CD e-
EXXT-8		ninguno	CD e-
EXXT-10		ninguno	CD e-
EXXT-11		ninguno	CD e-
EXXT-G		argón	CD e+
EXXT-GS		argón	CD e+
EXXXT-1	aceros al cromo níquel	CO2	CD e+
EXXXT-2		argón + oxígeno	CD e+
EXXXT-3		ninguno	CD e+
EXXXT-G		ninguno	CD e+

Fuente: CARY, Howard. *Manual de soldadura moderna*. Consulta: 2 019.

La nomenclatura de los alambres también es de suma importancia para conocer qué es lo que se está adquiriendo. La sigla de estos electrodos está precedida por una letra E, que significa electrodo, el siguiente dígito describe en

miles de libras por pulgada la resistencia mínima a tensión del material depositado, el siguiente número indica las posiciones en que se puede utilizar el electrodo, la letra que sigue indica si el alambre es sólido o tubular, y el último dígito indica el tipo de gas ideal para el que está diseñado el electrodo, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 28. Nomenclatura de los electrodos utilizados en GMAW



Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Gras de protección

Otro material que se usa en este proceso es fundamentalmente el gas de protección. El dióxido de carbono se usa con mayor frecuencia. Sin embargo, algunas veces se usan mezclas de dióxido de carbono y argón (75 % de argón más 25 % de dióxido de carbono) y mezclas de argón y oxígeno. Estas mezclas de gas se utilizan para soldar fuera de posición, para soldar tubos o cuando se requiere un soldado extrablando, es importante saber si se puede usar un electrodo con una mezcla de gas, ya que la mayoría de electrodos han sido diseñados para utilizarse con protección de CO₂.

Figura 29. Gas de protección CO2



Fuente: catálogo de productos de aire.

El dióxido de carbono es el gas más utilizado en este proceso, debido a su bajo costo, genera mayor penetración y da muy buenos resultados radiográficos.

3.5.3. Boquillas y protección contra salpicaduras

Existen otros consumibles que también son fundamentales para poder realizar un buen cordón, pero que no se consumen de manera inmediata, ya que son boquillas y toberas. Para la punta de la pistola estas pueden durar mucho tiempo, si el soldador tiene una buena experiencia, de lo contrario pueden durar muy poco incluso al iniciar el cordón.

Figura 30. Boquillas para pistola



Fuente: Taller de Soluciones Estructurales.

Figura 31. Líquido anti-salpicaduras



Fuente: Taller de Soluciones Estructurales.

Otro consumible importante es el líquido contra salpicaduras que protege los elementos principales de la antorcha, como las boquillas y toberas,

manteniendo limpias estas piezas se asegura que el gas de protección circule libre para obtener un buen cordón de soldadura.

3.6. Ensayo de costos de un metro lineal de soldadura

En esta sección se realizará el ensayo del proceso GMAW, para determinar los costos que en este intervienen.

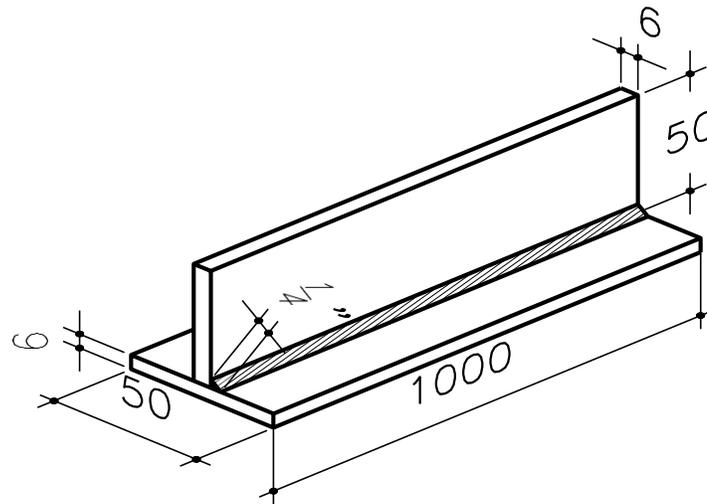
3.6.1. Descripción del ensayo

Al igual que en el ensayo SMAW, el objetivo principal es obtener el peso neto del material depositado en un metro lineal de soldadura, el ensayo se realizará en una posición de placas, tipo filete, el material de aporte a utilizar será electrodo continuo E-71T-1C con gas de protección CO₂. Se realizará un total de 4 ensayos.

3.6.2. Muestra del ensayo

Las probetas se realizarán con placas de acero estructural A-36, con una posición de filete y una soldadura de $\frac{1}{4}$ ", como se muestra en la figura se realizarán 2 probetas, obteniendo una soldadura de un metro lineal de cada lado, para obtener en total 4 metros lineales de soldadura con proceso GMAW. Con los datos obtenidos se realizarán los cálculos necesarios, para obtener el costo lineal de un metro de soldadura.

Figura 32. Probeta para el ensayo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.6.3. Procedimiento del ensayo

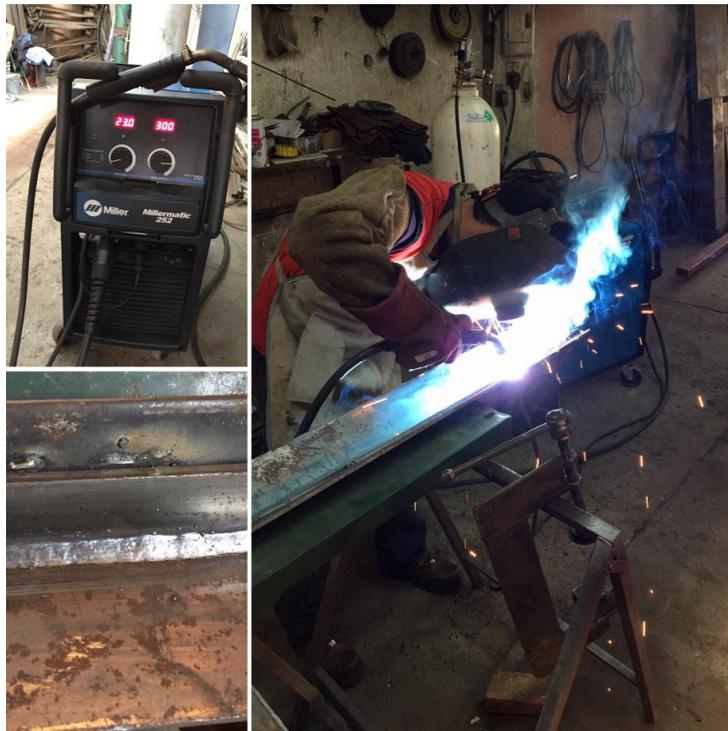
A continuación, se describe el procedimiento a utilizar para la aplicación del proceso, este método se realiza de modo empírico, ya que no existe ninguna norma específica para este tipo de ensayo.

- Se preparan las probetas de acero con la medida y posición ya mencionadas, luego se pesan las probetas, sin realizar el proceso de soldadura.
- Se pesa el rollo de alambre al inicio del cordón y al final de este, con el objetivo de cuantificar el material depositado y las pérdidas.
- Se realiza el proceso de soldadura GMAW, se mide el tiempo desde que se enciende el arco hasta terminar el proceso, el tiempo se mide con

todos los distractores que intervienen, como la limpieza de escoria final, pero en este caso no existe cambio de electrodo.

- El siguiente paso es pesar la probeta nuevamente, ahora será probeta más material depositado.
- Se mide el flujómetro de gas.
- Este proceso se realizará con todas las probetas, para tener el promedio final de pesos y tiempos, realizar los cálculos respectivos y determinar el costo unitario de soldadura.

Figura 33. Ensayo del proceso GMAW



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Peso de probeta y material de aporte



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Datos obtenidos en los ensayos

Datos de los ensayos					
No.	Peso de alambre inicial (lb)	Peso de alambre final (lb)	Tiempo soldando (lb)	Peso probeta sin soldadura (lb)	Peso probeta con soldadura (lb)
1	21,508	21,120	3,882	13,321	13,658
2	21,120	20,733	3,423	13,658	13,983
3	20,733	20,353	3,451	13,376	13,711
4	20,353	19,970	3,205	13,711	14,029
En todos los ensayos se utilizó un voltaje de 23,5v					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Material y tiempos netos**

Promedio de material depositado y tiempo		
No.	Peso neto de material depositado (lb)	Tiempo utilizado (h)
1	0,337	0,065
2	0,325	0,057
3	0,335	0,058
4	0,318	0,053
Promedio	0,329	0,058

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos se puede observar que el promedio del material depositado fue de 0,329 lb, lo que pasa a ser el material neto depositado, igual que el tiempo neto es de 0,058 h, estos datos son para un metro lineal de soldadura.

3.6.4. Equipo a utilizar

Los componentes básicos del equipo son la unidad de pistola o antorcha, la unidad de alimentación de electrodo continuo, la fuente de potencia y la fuente de gas protector.

La pistola guía el electrodo consumible y conduce la corriente eléctrica y el gas protector al trabajo, de modo que proporciona la energía para establecer y mantener el arco y fundir el electrodo, además de la protección necesaria contra la atmósfera del entorno.

Se emplean dos combinaciones de unidad de alimentación de electrodo y fuente de potencia para lograr la autorregulación de la longitud de arco que se desea.

Generalmente, la regulación se efectúa con una fuente de potencia de voltaje constante en conjunto con la unidad de alimentación del electrodo de velocidad constante, como alternativa, una fuente de potencia de corriente constante proporciona una curva volt-ampere de caída, y la unidad de alimentación del electrodo se controla por medio del voltaje del arco.

A diferencia del equipo de soldadura SMAW, utiliza corriente constante (amperios), y el proceso GMAW utiliza una diferencia de potencial (voltaje) constante.

Figura 35. Equipo utilizado



Fuente: elaboración propia.

Para el ensayo se utilizó un equipo Millermatic 252 con una corriente de 220 v, estos equipos tienen un ciclo de trabajo de 60 % a un voltaje de 30 y un ciclo de 100 % a un voltaje máximo de 15. Es recomendable utilizar equipos que sean de tipo industrial para este tipo de trabajos, no importando la marca, ya que equipos pequeños no tienen la misma capacidad de fundir el material de aporte.

3.6.5. Mano de obra

Este factor se considera como un costo directo, por lo tanto, se asume que el soldador es contratado por día por un período de 8 horas diarias, cabe destacar que la contratación de la mano de obra es calificada.

Para el análisis del costo de mano de obra de un soldador deben considerarse todas las prestaciones y asuetos que están vigentes en la ley de Guatemala. En la siguiente tabla se muestran los cálculos:

Tabla XIII. **Cálculo del factor de prestaciones**

Descripción	Cantidad de días	Porcentaje
Prestaciones de ley		
Bono 14	30/365	8,22 %
Aguinaldo	30/365	8,22 %
Indemnización	30/365	8,22 %
Vacaciones	15/365	4,11 %
IGSS		10,67 %
IRTRA		1,00 %
INTECAP		1,00 %

Continuación de la tabla XIII.

Días de asueto		
1 de enero	1/365	
Semana Mayor	2.5/365	
1 de mayo	1/365	
30 de junio	1/365	
Feriado local	1/365	
15 de septiembre	1/365	
20 de octubre	1/365	
1 de noviembre	1/365	
24 de diciembre	0,5/365	
25 de diciembre	1/365	
31 de enero	0,5/365	
Total días de asueto		3,14 %
Días no trabajados		
domingos	53/365	14,48 %
Sábados	26,5/365	7,24 %
Factor de prestaciones		66,30 %

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se calcula el salario diario y salario por hora de un soldador calificado. El salario diario del soldador por la habilidad que posee se asumirá de Q 175,00. El siguiente dato se pudo obtener mediante la siguiente expresión:

$$S_t = S_d F_p$$

Donde:

St= salario total diario

Sd= salario diario

Fp= factor de prestaciones

Tabla XIV. **Salario por metro lineal**

Salario total (día)	Salario total (h)	Salario por (ml)
Q290,89	Q36,36	Q2,12

Fuente: elaboración propia.

3.6.6. Consumo eléctrico por metro lineal de soldadura

Como se determinó en la sección anterior, el costo de la energía eléctrica es muy bajo con respecto al voltaje utilizado, ya que esta fuente de poder no utiliza amperios en la pantalla de control, sino voltajes directamente.

Para los cálculos del consumo eléctrico se tomarán los datos de equipo y los factores utilizados en el proceso, con la siguiente ecuación, donde la tarifa eléctrica se asume de 1,25 Q/Kwh:

$$P = \frac{V * I * T}{1\ 000} * T_a$$

Donde:

P= potencia

V= voltaje utilizado

I= corriente utilizada

T= tiempo soldando

Ta = tarifa kwh

Tabla XV. **Consumo eléctrico**

Datos del equipo utilizado			
Vol. de equipo (V)	AMP utilizado (A)	Tiempo de soldado (H)	Consumo eléctrico (Q)
220	31,250	0,058	0,500

Fuente: elaboración propia.

3.6.7. **Costo de material de aporte**

La comercialización del acero estructural es básicamente por peso, así también se comercializa el material de aporte.

Para un metro lineal de soldadura, como ya se realizaron los ensayos necesarios, ya teniendo un peso neto del material depositado, mediante ese peso se obtiene el precio.

El peso promedio del material de depositado fue de 0,329 lb, y el costo del rollo de 33 lb de alambre es de Q 300,00

Tabla XVI. **Costo material de aporte**

Costo (Q/ml)
2,99

Fuente: elaboración propia.

3.6.8. Costo del material de aporte (pérdidas)

En este proceso las pérdidas por colillas no existen, por ser un electrodo continuo la única pérdida que presenta este material de aporte es por el núcleo fundente que utiliza, y estos no son de mucha relevancia.

Tabla XVII. **Pérdida del material**

Material depositado (lb)	Material utilizado (lb)	Pérdida (lb)
0,329	0,385	0,056

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Costo de pérdida de material de aporte**

Costo (Q)
0,51

Fuente: elaboración propia.

3.6.9. Costo de gas de protección

Como gas de protección, como se mencionó en secciones anteriores, se utilizará el dióxido de carbono, por su bajo costo a comparación de los otros, y este se comercializa por volumen. En el ensayo se utilizó 21 cfh (pie cúbico por hora), según el flujómetro, en la tabla de promedio se tiene un valor de 0.058 h, esto quiere decir que por un metro lineal de soldadura se consumen 1,218 cfh. El costo de un cilindro de 220 pie cúbico es de Q500,00

Figura 36. Flujómetro de gas de protección



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Costo de gas de protección

Costo (Q/ml)
2,76

Fuente: elaboración propia.

4. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Aspectos técnicos

A continuación, se muestra la tabla de datos técnicos de los métodos que se analizaron, estos aspectos fueron lo que se utilizaron para el proceso.

Tabla XX. **Comparación de datos técnicos**

CUADRO COMPARATIVO DE DATOS				
No.	Descripción	Unidad	SMAW	GMAW
1	Material depositado	lb	0,305	0,329
2	Diámetro de material de aporte	Pul	1/8	3/64
3	Amperaje utilizado	A	200	31,25
4	Voltaje utilizado	V	220	220
5	Mano de obra día.	Q	175	175
6	Tiempo soldando	h	0,122	0,058

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, la diferencia de material depositado es mínima, esto ocurre por errores de precisión en el factor humano, principalmente la velocidad que se lleva la antorcha, ya que ambos métodos necesitan de un operario para su aplicación.

El diámetro del material varía considerablemente, esto se reduce a que el equipo GMAW tiene una velocidad mayor para fundir el material, en este punto es donde se considera automático el suministro del material de aporte, y ya que, siendo el diámetro del material de aporte más pequeño, el equipo deposita la misma cantidad y en menos tiempo.

En cuanto al amperaje y voltaje utilizados, los equipos de soldadura para cada proceso son muy distintos, ya que el equipo SMAW utiliza una corriente constante y voltaje variable, por el contrario, el equipo GMAW utiliza un voltaje constante y corriente variable.

Como se menciona en secciones anteriores, la mano de obra es de un soldador calificado con un salario base de Q 175,00 más prestaciones de ley.

4.2. Comparación de costos directos

En la siguiente página se muestra la tabla de las diferencias de los costos directos, en donde se incluyen los resultados de los análisis de ambos métodos analizados en los capítulos anteriores.

Tabla XXI. **Comparación de costos directos**

Cuadro comparativo de resultados					
No.	descripción	unidad	SMAW	GMAW	diferencia %
1	Mano de obra	Q	4,43	2,12	48
2	Energía eléctrica	Q	6,7	0,5	7
3	Material de aporte	Q	4,57	2,99	65
4	Gas de protección	Q	0	2,76	100
5	Pérdidas de material	Q	2,54	0,51	20

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Costo final de cada método**

COSTOS FINALES		
SMAW (Q/ml)	GMAW (Q/ml)	Diferencia %
18,24	8,88	51

Fuente: elaboración propia.

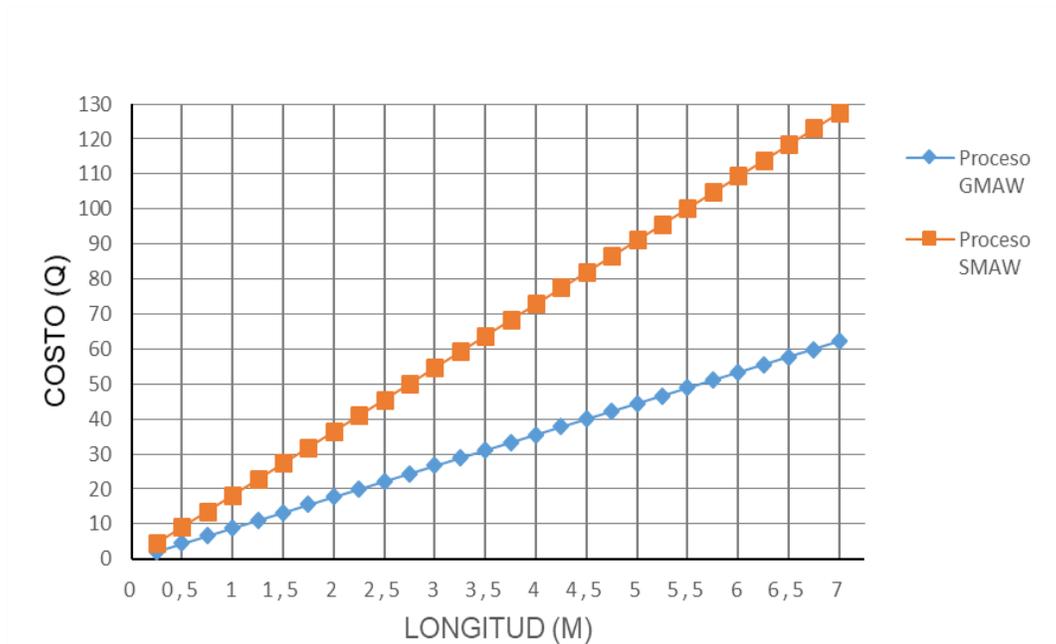
Realizando la suma de cada factor que influye en los procesos se llegó a un resultado que se puede observar en la tabla anterior.

Del análisis se obtuvo que, en un 51 %, es más económica la soldadura con proceso GMAW. El factor que más influye en el descenso de los costos es el consumo eléctrico, debido a que se mantiene encendido en menor tiempo, por la velocidad a la que se funde el material de aporte.

Es importante mencionar que estos costos no incluyen ningún tipo de costos indirectos, son únicamente costo directo al proceso.

En la siguiente grafica se puede observar cómo se comportan los costos según los metros lineales de soldadura que se realicen. Aunque, al tener el costo unitario de cada proceso, es muy fácil conocer cómo se comportan.

Figura 37. Longitud vs. Costo de los métodos



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El proceso de soldadura de arco metálico con gas inerte es mucho más eficiente que el proceso con electrodo revestido, siempre y cuando los factores naturales lo permitan.
2. Habiendo realizado estos análisis se puede profundizar un presupuesto más detallado en cualquier método a utilizar.
3. Es necesario conocer el tipo de trabajo que se va a realizar, ya sea en campo o en taller, ya que el proceso GMAW se limita a trabajos en campo, mientras que el proceso SMAW es un proceso para todo tipo de lugar y clima.
4. El proceso de electrodo recubierto es de gran utilidad en proyectos de campo, y es más robusto en condiciones de aplicación haciendo una buena selección de electrodos.
5. El proceso SMAW es de gran utilidad en todo tipo de trabajo, ya que posee una gran cantidad de electrodos que el operario puede seleccionar, según sea el material de base a unir.

RECOMENDACIONES

1. Para realizar estos tipos de procesos de soldadura es necesario contar con soldadores calificados, para tener una buena calidad mecánica y visual.
2. Es necesario que el proceso GMAW se realice únicamente para trabajos en taller, ya que en trabajos de campo podría quedar un cordón defectuoso por causa de los vientos en el campo.
3. En estos procesos es necesario tener el equipo bien calibrado, para evitar socavaciones en el material base y sobrecalentamiento, ya que estos factores perjudican las propiedades mecánicas del material base.
4. Es necesario tener en cuenta el equipo de protección personal, para evitar cualquier accidente, ya que este tipo de trabajos son riesgosos.
5. Es factible utilizar el proceso GMAW por el costo bajo que genera en comparación con el SMAW, pero es necesario tener claro los factores del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALONSO, Juan Antonio. *Proceso de soldadura por arco con electrodos revestidos*. [en línea].<<https://docplayer.es/30560005-Recopilado-y-armado-por-juan-antonio-alonso.html>>. [consulta: marzo de 2019]
2. CARY, Howard B. *Manual de soldadura moderna. Tomos I y II. 2a ed.* México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. 256 p.
3. GAINESVILLE, G. *Soldaduras de filete y cordones SMAW, módulo ES29109-09, 3600*. NW 43rd Street. Florida 2009. 75 p.
4. HORWITZ, Henry. *Soldadura, aplicaciones y práctica. 1a ed.* México: 1976. 805 p.
5. O`BRIEN, R. L. *Sociedad Americana de Soldadura. 8a ed. tomo 1.* México: 1996. 342 p

