



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

**ALEACIONES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN LA SOLDADURA GTAW
Y GASES DE PROTECCIÓN DE ACUERDO CON NORMA AWS**

Enzo Facundo Hidalgo de León

Asesorado por Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALEACIONES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN LA SOLDADURA GTAW
Y GASES DE PROTECCIÓN DE ACUERDO CON NORMA AWS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ENZO FACUNDO HIDALGO DE LEÓN
ASESORADO POR ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

ALEACIONES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN LA SOLDADURA GTAW Y GASES DE PROTECCIÓN DE ACUERDO CON NORMA AWS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 24 de marzo de 2023.



Enzo Facundo Hidalgo de León



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, 4 de julio de 2023

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio le informo que el Trabajo de Graduación titulado: **ALEACIONES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN LA SOLDADURA GTAW Y GASES DE PROTECCIÓN DE ACUERDO CON NORMA AWS** presentado por el estudiante **ENZO FACUNDO HIDALGO DE LEÓN**, con **CUI 3007168340101** y registro académico No. **201903126**, previo a optar al título de Ingeniero Mecánico, después de haber sido sometido a mi revisión y correcciones, en mi calidad de asesor, le doy mi aprobación y visto bueno del trabajo de graduación del estudiante anteriormente mencionado.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
ASESOR
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.030.2023

El Coordinador del Área de Ingeniería de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **ALEACIONES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN LA SOLDADURA GTAW Y GASES DE PROTECCIÓN DE ACUERDO CON NORMA AWS** desarrollado por el estudiante: **Enzo Facundo Hidalgo de León** con Registro Académico **201903126** y CUI **3007168340101** recomienda su aprobación.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área de Materiales
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.177.EIM.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ALEACIONES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN LA SOLDADURA GTAW Y GASES DE PROTECCIÓN DE ACUERDO CON NORMA AWS**, presentado por: **Enzo Facundo Hidalgo de León**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, agosto de 2023

LNG.DECANATO.OI.601.2023

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 Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ALEACIONES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN LA SOLDADURA GTAW Y GASES DE PROTECCIÓN DE ACUERDO CON NORMA AWS**, presentado por: **Enzo Facundo Hidalgo de León**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, agosto de 2023

AACE/gaac

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por acompañarme, darme la fortaleza y sabiduría para poder cumplir en todas las etapas de mi vida.
- Mis padres** Gladys de León y Sergio Hidalgo, por su apoyo, consejos y amor incondicional. Por creer en mí, ayudarme y enseñarme a cumplir con todas las metas a lo largo de mi vida.
- Mi hermana** Estibaliz Hidalgo, por haber estado en cada momento de mi vida, su apoyo incondicional, sus consejos y sabiduría compartida conmigo.
- Mis hermanos** Eduardo y Sergio Hidalgo, por haber estado en cada momento de mi vida, su apoyo incondicional, sus consejos y sabiduría compartida conmigo.
- Mi abuela** María Ramos (q. e. p. d.), por ser fuente de inspiración, su apoyo y cariño incondicional, por enseñarme a superar cada momento complicado, a esforzarme por mis metas y amar la vida.

Mi tía

Cecia Ramos, por haber estado en cada momento de mi vida, por su apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el <i>alma máter</i> que me albergó durante todos mis años de estudio universitario.
Facultad de Ingeniería	Por ser el lugar de mis estudios para mi formación como Ingeniero Mecánico, a todo el personal docente, administrativo y de apoyo que se encargan de esta Facultad.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Por albergarme durante mis años de estudio superior, por las enseñanzas compartidas por parte de todo el personal docente del área Mecánica.
Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez	Por compartir todos sus conocimientos, por orientarme en la carrera universitaria, así como por ser mi asesor en el presente trabajo de graduación, y la ayuda brindada en su elaboración.
Mis amigos	Paolo Muñoz, Estuardo Vásquez, Daniel Rodríguez, Luis Coloma, Byron Montenegro, Gerson Conchas, Edgar Osorio y Lourdes Santos, por brindarme su amistad, cariño, apoyo, sus consejos a lo largo de estos años y por todos esos momentos juntos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA SOLDADURA GTAW	1
1.1. Descripción del proceso de soldadura GTAW.....	3
1.2. Equipo de soldadura	4
1.3. Principio de funcionamiento.....	6
1.4. Técnicas de soldadura.....	7
1.5. Problemas de soldadura y sus soluciones	10
2. CONCEPTOS DE METALURGIA, ELECTRODOS Y GASES DE PROTECCIÓN PARA SOLDADURA.....	13
2.1. Definición de metalurgia	13
2.2. Clasificación de aceros según AISI-SAE	15
2.3. Definición de que es una aleación.....	16
2.4. Definición de un electrodo para soldadura	19
2.5. Tipos de electrodos según AWS	22
2.5.1. Electrodo para aceros al carbono.....	22
2.5.2. Electrodo para aceros de baja aleación	23
2.5.3. Electrodo para aceros inoxidables.....	24
2.5.4. Electrodo para metales no ferrosos.....	24

2.5.5.	Electrodos para arco sumergido.....	25
2.5.6.	Electrodos por arco con gas.....	25
2.6.	Definición de un gas de protección para soldadura	26
3.	COMPOSICIÓN METALURGICA DE ELECTRODOS USADOS EN LA SOLDADURA GTAW Y TIPOS DE GASES DE PROTECCIÓN	27
3.1.	Electrodos para soldadura GTAW	27
3.2.	Clasificación de electrodos para GTAW según norma AWS ...	28
3.2.1.	Electrodos EWP	28
3.2.2.	Electrodos EWCe	29
3.2.3.	Electrodos EWLa	29
3.2.4.	Electrodos EWTh.....	30
3.2.5.	Electrodos EWZr.....	31
3.2.6.	Electrodos EWG	32
3.3.	Clasificación de electrodo según su punta	33
3.3.1.	Formación de bola	34
3.3.2.	Amolado.....	34
3.3.3.	Afilado químico	35
3.4.	Gases de protección utilizados en la soldadura GTAW	36
3.4.1.	Argón	37
3.4.2.	Helio.....	38
3.4.3.	Hidrógeno	39
3.4.4.	Mezcla de argón e hidrógeno	40
4.	GUÍA DE SELECCIÓN DE ELECTRODOS Y GAS PROTECTOR PARA SOLDADURA GTAW	41
4.1.	Identificación de electrodos para soldadura GTAW	41
4.1.1.	Clasificación de acuerdo con AWS	42
4.1.2.	Equivalencia de nomenclatura ISO a AWS.....	43

4.1.3.	Clasificación por código de color	43
4.2.	Materiales que se pueden soldar por proceso GTAW	45
4.3.	Selección de gas protector	51
4.3.1.	Tipo de gas protector según el electrodo	52
4.3.2.	Tipo de gas protector según el metal a soldar	52
4.4.	Determinación del uso de soldadura GTAW	53
4.4.1.	Ventajas	54
4.4.2.	Desventajas	54
CONCLUSIONES		57
RECOMENDACIONES.....		59
REFERENCIAS		61
APÉNDICES		63
ANEXOS		65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Variaciones en la soldadura.....	2
Figura 2.	Soldadura GTAW	3
Figura 3.	Equipo de soldadura	6
Figura 4.	Soldadura manual	8
Figura 5.	Soldadura mecanizada	9
Figura 6.	Soldadura automática	10
Figura 7.	Esquema de un proceso metalúrgico	14
Figura 8.	Nomenclatura AISI-SAE para aceros	15
Figura 9.	Ejemplos de aleaciones	17
Figura 10.	Estructura atómica de una aleación.....	18
Figura 11.	Tipo de unión según el ángulo de la punta.....	34
Figura 12.	Formas posibles de las puntas en los electrodos.....	35
Figura 13.	Relación del voltaje y corriente en los gases de protección	39

TABLAS

Tabla 1.	Consumo excesivo del electrodo	11
Tabla 2.	Arco irregular.....	11
Tabla 3.	Porosidad	12
Tabla 4.	Contaminación de la pieza de trabajo con tungsteno.....	12
Tabla 5.	Aleaciones principales según AISI-SAE	16
Tabla 6.	Tipos de revestimiento y composición	21
Tabla 7.	Electrodos de baja aleación	23

Tabla 8.	Composición metalúrgica del electrodo EWP	28
Tabla 9.	Composición metalúrgica del electrodo EWCe	29
Tabla 10.	Composición metalúrgica del electrodo EWLa	30
Tabla 11.	Composición metalúrgica del electrodo EWTh.....	31
Tabla 12.	Composición metalúrgica del electrodo EWZr.....	32
Tabla 13.	Composición metalúrgica del electrodo EWG	33
Tabla 14.	Cantidad de flujo para gases de protección	37
Tabla 15.	Clasificación de electrodos para soldadura GTAW según AWS..	42
Tabla 16.	Nomenclatura ISO de electrodos para soldadura GTAW.....	43
Tabla 17.	Código de colores para electrodos según AWS	44
Tabla 18.	Código de colores para electrodos según ISO	44
Tabla 19.	Electrodos usados por material y espesor según AWS	49
Tabla 20.	Metales de aportación para soldadura GTAW según AWS	51
Tabla 21.	Especificación del uso de gas de protección según AWS.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
ca	Corriente eléctrica alterna
cc	Corriente eléctrica continua
CCEN	Corriente eléctrica continua con electrodo negativo
CCEP	Corriente eléctrica continua con electrodo positivo
Cr	Cromo
H₂	Dihidrógeno
CO₂	Dióxido de carbono
°	Grados
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
gr	Gramos
Fe	Hierro
h	Horas
ksi	Kilo libras por pulgada cuadrada
km	Kilómetro
psi	Libras por pulgada cuadrada
Mn	Manganeso
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetros
Mo	Molibdeno
Ni	Níquel

p	Pies
p³	Pies cúbicos
%	Porcentaje
plg	Pulgadas
UV	Radiación ultravioleta
V	Vanadio
v	Voltios

GLOSARIO

Amperes	Unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica del Sistema Internacional, nombrado así en honor al matemático y físico francés André-Marie Ampère.
ANSI	American National Standards Institute en inglés e Instituto Nacional Estadounidense de Estándares en español, es una organización encargada de desarrollar normativas tecnológicas y comunicacionales, metodologías, divulgación de estándares, entre otras.
Arco voltaico	Masa gaseosa establecida entre la punta de un electrodo y la pieza o material a soldar.
ASME	American Society of Mechanical Engineers en inglés y Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos en español, es una sociedad de profesionales que han desarrollado una serie de códigos de diseño, inspección y pruebas para equipos.
Austenita	Conocida como hierro en fase de gamma, cuya fase es una estructura cúbica de hierro no magnética centrada en la cara, esta fase se presenta a cierta temperatura durante un proceso de calentamiento.

AWS	American Welding Society en inglés y Sociedad Americana de Soldadura en español, es una organización encargada de estandarizar y normar los métodos de soldadura, metales y material de aporte para estos procesos.
Cerio	Elemento químico de número atómico 58, es parte de los lantánidos, es el más abundante y económico, es de color gris acerado, buen conductor del calor y electricidad.
Cordón de soldadura	Depósito de metal fundido resultante de la progresión longitudinal de un proceso de soldadura en una junta.
Corrosión	Fenómeno en los metales al ser expuestos al oxígeno en un ambiente húmedo lo cual provoca la destrucción del material por la creación de perforaciones, desgaste o cambio de las propiedades de este.
Cromo	Es un elemento químico de número atómico 24 que se encuentra en el área de los metales, utilizado especialmente en metalurgia para dar propiedades de resistencia a la corrosión y acabados brillantes.
Desgaste	Es la pérdida gradual de material que sufre la superficie de un material por la interacción mecánica con otro cuerpo en contacto directo.

Disímil	Cualidad de ser diferente entre dos cosas en general, en esta ocasión metales distintos y con diferentes características.
Escoria	Es la sustancia vítrea proveniente de los metales que se funden la cual se une a los fundentes y otros elementos, nombrado también como un subproducto procedente del proceso de fundición presente en óxidos metálicos, sulfuros y otros elementos.
Fundir	Proceso de manufactura principalmente en los metales el cual consiste en derretir o cambiar el estado de sólido a líquido por adición de calor.
Gas inerte	Es un tipo de gas que no tiene reacciones químicas con su entorno en condiciones normales de presión y temperatura, utilizado para sustituir la atmósfera que contiene oxígeno o humedad como protección de ciertos productos o procesos sensibles a la presencia de estos dos componentes mencionados anteriormente.
GMAW	Gas Metal Arc Welding en inglés o Soldadura por Arco de Metal y Gas, es un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura bajo un escudo de gas suministrado externamente y sin aplicación de presión.

GTAW	Gas Tugsten Arc welding en inglés o Soldadura por Arco de Tungsteno y Gas en español.
Junta	Unión de dos materiales por medio del cordón de soldadura usando material de aporte o no.
Lantano	Elemento químico de número atómico 57, es el primer elemento de los lantánidos siendo el más radioactivo entre ellos, se empaña con bastante rapidez en el aire, se vuelve completamente oscuro después de varias horas y puede quemarse fácilmente para formar óxido de lantano.
Magnesio	Elemento químico de número atómico 12 es el octavo elemento en abundancia en el orden del porcentaje de la corteza terrestre y el tercero más abundante disuelto en el agua del mar, compuesto de numerosos óxidos y sales, asimismo es insoluble siendo un metal liviano, medianamente fuerte y color blanco plateado.
Manganeso	Elemento químico de número atómico 25 que se encuentra en el área de metales de transición de color blanco grisáceo parecido al hierro, es un duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable, se encuentra como elemento libre en la naturaleza normalmente en combinación con el hierro y muchos minerales.

Mecanizado	Proceso de manufactura para la fabricación de piezas por medio de un conjunto de operaciones como el corte, prensado, forjado, entre otros. Con el fin de obtener una pieza funcional que cumpla con ciertas características físicas para su aplicación.
Molibdeno	Elemento químico de número atómico 42 que se encuentra en el área de metales de transición, es puro de color blanco plateado y muy duro, tiene uno de los puntos de fusión más altos entre los elementos y empleado mayormente en aceros aleados.
Monoatómico	Elementos formados químicamente por átomos individuales lo que representa que los átomos son iguales entre sí y que no presentan ningún tipo de enlace entre sí.
Níquel	Elemento químico de número atómico 28 que se encuentra en el área de metales de transición con un ligero tono amarillo con conductividad eléctrica y térmica, muy dúctil y maleable, utilizado en aleaciones de hierro para proporcionar tenacidad y resistencia a la corrosión.
Polaridad	Es una propiedad de las moléculas que representa la separación de las cargas eléctricas en las mismas moléculas, relacionada con otras propiedades como la solubilidad, punto de fusión, de ebullición, intermoleculares, entre otros.

Punto de fusión	Propiedad de una sustancia que representa la temperatura a la cual cambia de estado sólido a líquido, esta va a depender de la presión a la que se encuentre.
Revestimiento	Es la parte o material que se encarga de envolver el núcleo y quien contiene ciertas propiedades mecánicas y químicas que ayudan a producir un buen cordón de soldadura.
SAE	Society of Automotive Engineers en inglés o Sociedad de Ingenieros Automotores en español.
SMAW	Shielded Metal Arc Welding en inglés o Soldadura por Arco de Metal Protegido en español, es un proceso de soldadura por arco donde se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico.
Termoiónico	Propiedad de la superficie de un material metálico que facilita o da paso a un flujo de iones asociada a la liberación de electrones debido a un aumento de su temperatura.
Termoquímico	Proceso de calentamiento a ciertas temperaturas lo cual modifica la composición química superficial de los metales con el fin de modificar ciertas propiedades del metal como su resistencia a la corrosión, al impacto o al desgaste.

TIG	Tugsten Inert Gas en inglés o Soldadura de Tungsteno y Gas en español, nombramiento que sirve para la identificación de la soldadura GTAW.
Torio	Elemento químico de número atómico 90 se la serie de los actínidos se encuentra de forma natural en los minerales monacita, torita y torianita. En estado puro es un metal blando de color blanco plata que se oxida lentamente, es una sustancia radioactiva y con buen potencial nuclear.
Tratamiento térmico	Son los procesos de calentamiento a ciertas temperaturas, de enfriamiento de distintas formas y velocidades aplicado en los metales para modificar su estructura interna lo que significa que sirve para modificar sus cualidades o propiedades.
Tungsteno	Elemento químico identificado con el número atómico 74, es color gris acerado bastante duro y denso, contiene el punto de fusión y ebullición más alto de todos los elementos conocidos y es denominado un metal escaso en la corteza terrestre pero que se puede encontrar en ciertos minerales en forma de óxidos o sales.
Zirconio	Elemento químico de número atómico 40, perteneciente al grupo de los metales de transición, es sólido a temperatura ambiente de color blanco grisáceo lustroso, duro y resistente a la corrosión.

RESUMEN

La soldadura por arco de tungsteno y gas o GTAW es un proceso de unión de materiales por medio de un arco eléctrico generado a partir de una fuente de potencia que transmite corriente hasta el electrodo, calentando el material o metal base hasta que se funde y se concrete la soldadura, durante esta soldadura se puede hacer uso de gases de protección conocidos como gases inertes que tienen cierta función durante el proceso y también la posibilidad de aplicar un metal de aporte.

Esta soldadura se realiza utilizando electrodos a base de tungsteno puro o aleado con otros metales, más específicamente con cerio, lantano, torio, zirconio o bien con algún otro como el itrio o magnesio los cuales están clasificados según la AWS bajo cierta nomenclatura, así como la designación de los gases inertes aplicables donde se encuentran principalmente el helio y el argón que pueden ser mezclados con otros gases en ciertas ocasiones o para obtener ciertos resultados.

El uso de los electrodos y gases de protección para el proceso GTAW está dado principalmente por el metal a soldar y de las propiedades o acabado que se desea en la unión, por lo que por medio de un manual de soldadura se desarrollan los metales que se pueden soldar, las variaciones o combinaciones de electrodo con gas de protección que se pueden aplicar y finalmente la identificación de los electrodos por su nomenclatura AWS y equivalencia en ISO ya que son los dos métodos más comunes de nombrarlos.

OBJETIVOS

General

Identificar la clasificación metalúrgica de electrodos utilizados en el proceso de soldadura GTAW y gases de protección de acuerdo con AWS.

Específicos

1. Estudiar los gases de protección y las aleaciones de electrodos apropiados para soldadura GTAW.
2. Definir que es la metalurgia, así como los electrodos y gases de protección para soldadura.
3. Detallar la composición metalúrgica de electrodos y tipos de gases de protección para soldadura GTAW según clasificación AWS.
4. Elaborar una guía de selección de electrodo y gas de protección para soldadura GTAW.

INTRODUCCIÓN

Existen una gran variedad de procesos de soldadura que consisten en la unión o fusión de dos piezas de algún material, normalmente metales, usando calor o presión para generar dicha unión. El calor es generado por medio de un arco eléctrico conformado por ciertos elementos en los distintos tipos de soldadura.

En general cuentan con una fuente de potencia la cual transmite corriente generando el calor necesario para fundir un metal de relleno en la unión usando una gran variedad de electrodos o alambres como alimentadores, dependiendo de los metales a unir, el proceso de soldadura, la potencia y corriente se determina el electrodo a utilizar para realizar una soldadura de buena calidad.

Tanto alambres como electrodos para soldar cuentan con una composición metalúrgica, identificados por medio de la nomenclatura asignada por la AWS y la designación de los gases de protección adecuados para los procesos de soldadura al arco, en este caso para la soldadura GTAW.

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA SOLDADURA GTAW

La soldadura GTAW también conocido como soldadura por arco de tungsteno y gas o con las siglas TIG, se volvió en la actualidad un proceso muy importante en la industria ya que tiene una alta calidad en relación con su bajo costo económico principalmente porque además cuenta con otro gran sin número de ventajas (AWS, 1996).

Esta soldadura es utilizada más que todo para espesores no tan grandes donde lo más eficiente sería una soldadura GMAW o SMAW, mientras que la soldadura GTAW es aplicada por ejemplo en áreas automotrices como las jaulas de seguridad, chasis y escapes, para mantenimientos y reparaciones tanto para herramientas como para componentes de máquina, ocasiones de arte en metal u ornamentales, campos de petroquímica, tubería o en sistemas hidráulicos en general y para acabados limpios de buena calidad donde entran aspectos más estéticos (Fulcer, 2008).

Durante una soldadura GTAW se consideran distintas variables como el voltaje del arco, la corriente de la soldadura, el gas protector y la velocidad del recorrido, en este proceso la energía producida por el arco es proporcional a la corriente y al voltaje, pero dependiendo del tipo de gas utilizado el arco puede ser más penetrante o no, estos aspectos no se pueden analizar de forma individual ya que todas tienen interacción entre sí (AWS, 1996).

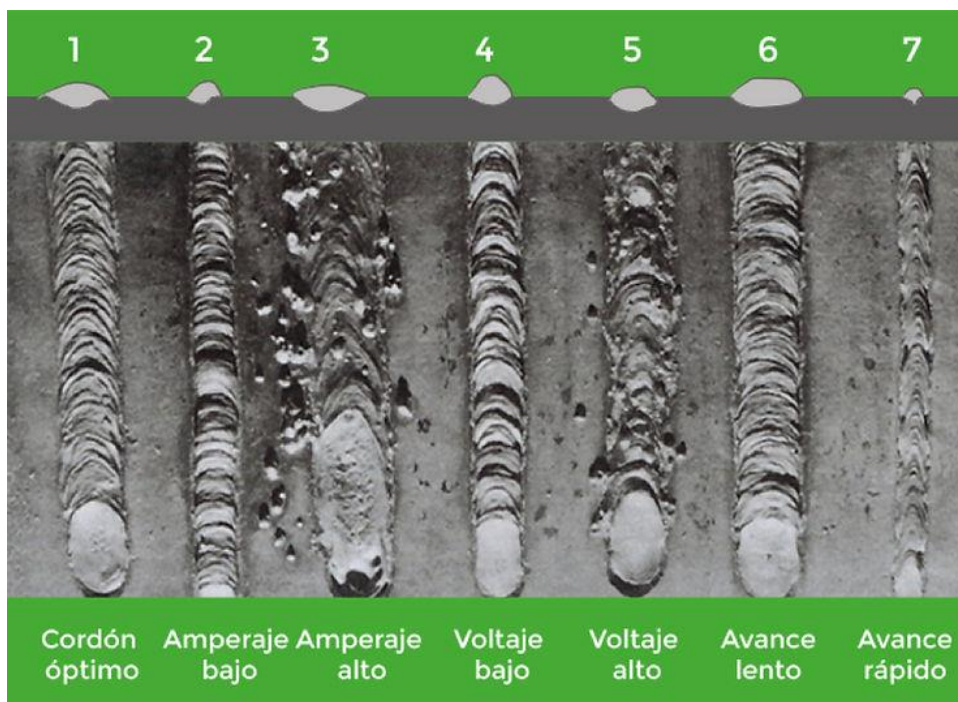
“La corriente del arco controla la penetración de la soldadura; su efecto es directamente proporcional, si no es que un poco exponencial. Además, la corriente del arco afecta el voltaje” (AWS, 1996, p. 76).

“El voltaje medido entre el electrodo y el trabajo se conoce comúnmente como voltaje del arco. Este voltaje es una variable dependiente de la corriente del arco, punta del electrodo, distancia entre electrodo y el trabajo, y el gas protector” (AWS, 1996, p. 76).

“La velocidad de recorrido afecta tanto la anchura como la penetración de una soldadura por arco de tungsteno y gas, aunque el efecto sobre la anchura es más pronunciado que aquel sobre la penetración” (AWS, 1996, p. 76).

Figura 1.

Variaciones en la soldadura



Nota. Variación de la soldadura dependiendo de las variaciones durante el proceso. Obtenido de A. González (2022). *Errores frecuentes en la soldadura.* (<https://www.maquinasbustamante.com/post/errores-frecuentes-en-soldadura>), consultado el 28 de octubre de 2022. De dominio público.

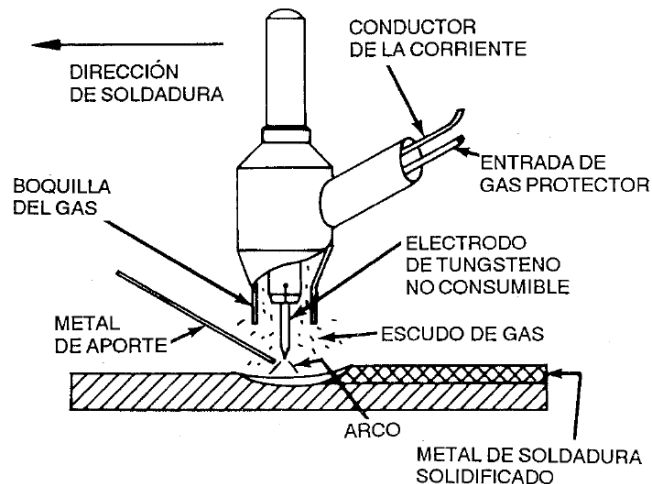
1.1. Descripción del proceso de soldadura GTAW

El proceso de soldadura consiste en la fusión de algún metal a temperaturas elevadas usando un diferencial de potencia e intensidad de corriente eléctrica por medio de un arco entre un electrodo de tungsteno que no es consumible, sostenido por un soplete y el charco de soldadura, este se realiza con un gas protector, sin necesidad de presión y opcionalmente se puede utilizar un material de aporte.

Al establecer el arco, el calor generado provoca que el metal base se funda y el soplete es movido en dirección o a lo largo de la unión para que este se funda progresivamente el metal realizando la soldadura (AWS, 1996).

Figura 2.

Soldadura GTAW



Nota. Muestra del esquema general de la soldadura GTAW. Obtenido del Manual de Soldadura AWS tomo 1 (1996). *Soldadura por arco de tungsteno y gas.* (<https://dokumen.tips/documents/manual-de-soldadura-vol-1-awspdf.html?page=1>), consultado el 28 de octubre de 2022. De dominio público.

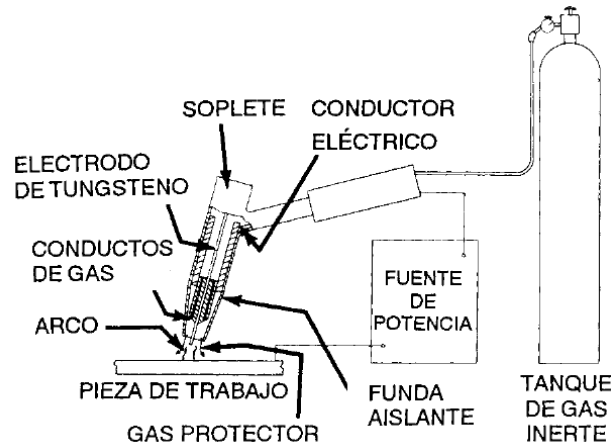
1.2. Equipo de soldadura

El equipo para realizar una soldadura por proceso GTAW normalmente incluye sopletes, electrodos y fuentes de potencia, para el caso de los procesos mecanizados pueden incluir controles de voltaje, osciladores del arco y alimentadores de alambre (AWS, 1996).

- Fuente de potencia: es el principal componente del proceso que da la energía necesaria para realizarlo en forma de corriente directa o alterna, en esta es conectado el porta electrodo, cables y mangueras.
- Sopletes para soldar: los sopletes se encargan de sostener el electrodo de tungsteno que lleva la corriente de soldadura al arco y conduce el gas protector a la zona, dependiendo del soplete soportan ciertos intervalos de corrientes.
- Sopletes enfriados por gas: los sopletes son calentados por el proceso de soldadura y en este caso pueden ser enfriados eliminando su calor por el flujo de gas protector relativamente frío, normalmente estos sopletes tienen una capacidad máxima de corriente de 200 amperes.
- Sopletes enfriados por agua: estos se enfrían por medio del flujo de agua que pasa en sus conductos interiores, el agua ingresa en el soplete, circula y sale por la manguera de salida, por lo regular estos sopletes tiene la capacidad de corriente en intervalos de 300 a 500 amperes, aunque algunos son capaces de llegar a 1,000 amperes.

- Mandriles: los electrodos se sujetan al porta electrodos por medio de los mandriles, normalmente son manufacturados con aleaciones de cobre y es importante que el electrodo y la superficie del mandril estén en un contacto óptimo para transferir de buena manera la corriente sin provocar sobrecalentamiento.
- Cilindros de gas: son cilindros diseñados en base a las normas ASME a partir de procesos de mecanizado donde la parte superior cuenta con una válvula y en la parte superior una forma cóncava que le permite reposar verticalmente durante su uso y adicionalmente tiene una etiqueta de identificación señalizando el tipo de gas y precauciones generales.
- Boquillas: encargadas de dirigir el gas protector a las zonas de soldadura, se montan en la cabeza del soplete, los sopletes incluyen ciertos difusores que alimentan el gas protector a la boquilla. Estas se fabrican de distintos materiales que sean resistentes al calor y con distintas características respecto a su forma, diámetro y longitud. Las boquillas se fabrican generalmente de cerámicos que son materiales de los más comunes y económicos, pero se deben reemplazar con frecuencia, cerámicos con funda de metal, cuarzo fusionado que son transparentes y permite una mejor visibilidad al arco y electrodo y boquillas metálicas enfriadas por agua que son las más duras pero que son utilizadas en procesos mecanizados y automáticos.
- Lentes de gas: dispositivo encargado de mantener el flujo laminar del gas protector, contienen un difusor de barrera porosa instalados alrededor del electrodo o del mandril, facilitando la visión del charco de soldadura y alcanzar lugares difíciles como las esquinas interiores.

Figura 3.
Equipo de soldadura



Nota. Equipo necesario para soldadura GTAW. Obtenido del Manual de Soldadura AWS tomo 1 (1996). *Soldadura por arco de tungsteno y gas.* (<https://dokumen.tips/documents/manual-de-soldadura-vol-1-awspdf.html?page=1>), consultado el 28 de octubre de 2022. De dominio público.

1.3. Principio de funcionamiento

En la soldadura GTAW se crea el arco eléctrico por el paso de corriente por medio del gas protector ionizado que conduce la electricidad, este arco se establece entre la punta del electrodo y el material o metal. Este proceso utiliza un gas protector por medio del soplete para proteger el electrodo, el charco de soldadura y el metal a soldar para cuidar de solidificaciones de contaminación por la atmósfera o ambiente en el que se realice el proceso (AWS, 1996).

Generalmente la soldadura GTAW funciona de la siguiente manera:

- Inicialmente un suministro de alta corriente, pero de bajo voltaje llega al electrodo proveniente de la fuente de alimentación, generalmente el electrodo se encuentra conectado al terminal negativo de la fuente y la pieza a soldar en el positivo.
- La corriente suministrada se encarga de formar una chispa entre el electrodo y la pieza, considerando que el electrodo de tungsteno utilizado en este tipo de soldadura no es consumible y genera un arco bastante intenso, produciéndose así el calor necesario para fundir el metal.
- Considerando también los gases de protección que se suministran a través de la válvula de presión y la de regulación al soplete de la soldadura, formando un escudo protector evitando la entrada de oxígeno y otros gases reactivos en la zona de soldadura, estos gases protectores pueden generar partículas de plasma que intensifican la capacidad calorífica del arco eléctrico y por consiguiente aumenta la capacidad de soldadura.
- Tomar en cuenta que para soldar metales de espesor pequeño no es necesario utilizar metal de aportación, pero para hacer juntas gruesas si es necesario un material de relleno en forma de varillas que se van aplicando en la zona de unión.

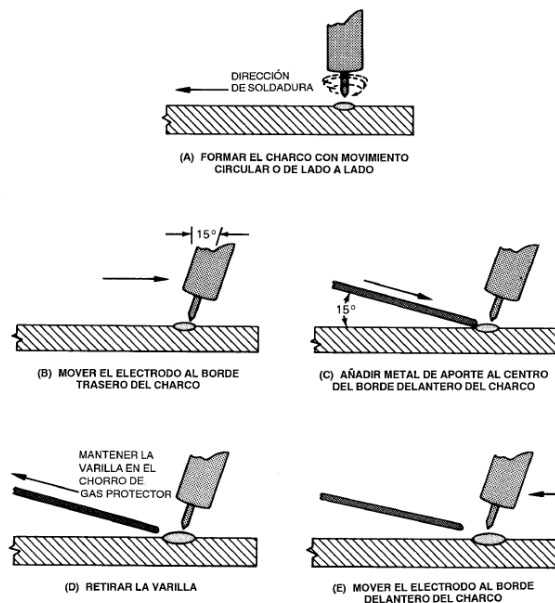
1.4. Técnicas de soldadura

Para los procesos de soldadura GTAW tiene distintas opciones dependiendo de ciertos requerimientos o necesidades.

Soldadura manual: se mueve el electrodo de forma circular hasta formar el charco de soldadura que se desea, se debe sostener el soplete a 15° respecto a la vertical y se mueve a lo largo de la unión uniformemente y si se agrega metal de aporte se debe de añadir al borde delantero del charco creado inicialmente (AWS, 1996).

Figura 4.

Soldadura manual



Nota. Técnica de soldadura GTAW manual. Obtenido del Manual de Soldadura AWS tomo 1 (1996). *Soldadura por arco de tungsteno y gas*. (<https://dokumen.tips/documents/manual-de-soldadura-vol-1-awspdf.html?page=1>), consultado el 28 de octubre de 2022. De dominio público.

Soldadura mecanizada: esta tiene un mejor control de velocidad de recorrido y el calor aportado a la pieza, es más costoso, pero da una mejor producción y calidad. Son programas de soldadura y manipuladores mecánicos o sistema de soldadura orbital de tubos y conductos (AWS, 1996).

Figura 5.

Soldadura mecanizada



Nota. Técnica de soldadura GTAW mecanizada en ensamble de tubería. Obtenido del Manual de Soldadura AWS tomo 1 (1996). *Soldadura por arco de tungsteno y gas.* (<https://dokumen.tips/documents/manual-de-soldadura-vol-1-awspdf.html?page=1>), consultado el 28 de octubre de 2022. De dominio público.

Soldadura semiautomática: en este método se controla la alimentación del metal de aporte por medio de un equipo y el soplete si es manual (AWS, 1996).

Soldadura automática: llamado así porque la operación del proceso no necesita de un operador que deba ajustar los controles y la pieza de trabajo se puede o no cargar y descargar (AWS, 1996).

Figura 6.

Soldadura automática



Nota. Máquina para soldadura GTAW automática. Obtenido de Direct Industry (2023). *Soldadura automática.* (<https://www.directindustry.es/prod/jet-line-engineering/product-27577-1061597.html>), consultado el 28 de octubre de 2022. De dominio público.

1.5. Problemas de soldadura y sus soluciones

En la soldadura GTAW se presentan ciertos errores comunes en su aplicación, pero se tienen ciertas ideas de que lo causan y cómo se pueden solucionar.

Tabla 1.

Consumo excesivo del electrodo

No.	Causa	Solución
1	Flujo de gas insuficiente	Aumentar el flujo de gas
2	Operación con polaridad inversa	Cambiar a polaridad directa
3	Electrodo del tamaño incorrecto	Usar electrodos más grandes
4	Calentamiento excesivo de porta electrodo	Verificar que el mandril haga buen contacto
5	Electrodo contaminado	Eliminar la parte contaminada del electrodo
6	Oxidación de electrodo	Mantener el flujo de gas por lo menos 10 o 15 segundos después de apagar el arco
7	Uso de gas que contiene oxígeno o CO ₂	Cambiar al gas correcto

Nota. Causas y soluciones del consumo del electrodo en soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 2.

Arco irregular

No.	Causa	Solución
1	Metal base sucio o grasoso	Usar limpiadores químicos o cepillos
2	Unión demasiado angosta	Acercar más el electrodo o reducir voltaje
3	Electrodo contaminado	Eliminar parte contaminada del electrodo
4	Arco demasiado largo	Acercar más el electrodo al trabajo

Nota. Causas y soluciones de arco irregular en soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 3.*Porosidad*

No.	<u>Causa</u>	<u>Solución</u>
1	Impurezas gaseosas atrapadas	Purgar el aire de todas las líneas antes de encender el arco, eliminar humedad en las líneas o usar gas inerte de grado para soldadura
2	Mangueras de gas defectuosas o conexiones flojas	Revisar que las mangueras no tengan fugas y estén bien conectadas
3	Película de aceite en el metal base	Limpiar con agentes químicos y no soldar si el metal base esté húmedo

Nota. Causas y soluciones de porosidad en soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 4.*Contaminación de la pieza de trabajo con tungsteno*

No.	<u>Causa</u>	<u>Solución</u>
1	Contacto al encender con el electrodo	Usar iniciador de alta frecuencia o usar placa de encendido de cobre
2	Fusión del electrodo y aleación con el metal base	Usar corriente baja o electrodo más grande y aleación con torio o zirconio
3	Contacto entre tungsteno y el charco fundido	Mantener a buena distancia el electrodo del charco

Nota. Causas y soluciones de la contaminación de la pieza con tungsteno en soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

2. CONCEPTOS DE METALURGIA, ELECTRODOS Y GASES DE PROTECCIÓN PARA SOLDADURA

La manufactura de los electrodos para soldadura es en base a estudios metalúrgicos basados en el uso de distintos metales y sus aleaciones dependiendo de la aplicación de dichos elementos en un proceso de soldadura.

Estos conceptos son parte esencial de los procesos de soldadura ya que de estos elementos depende una buena unión de los metales, de acuerdo con el tipo de soldadura y electrodos utilizados, considerando si es necesario hacer uso de gases de protección durante el proceso de soldadura.

2.1. Definición de metalurgia

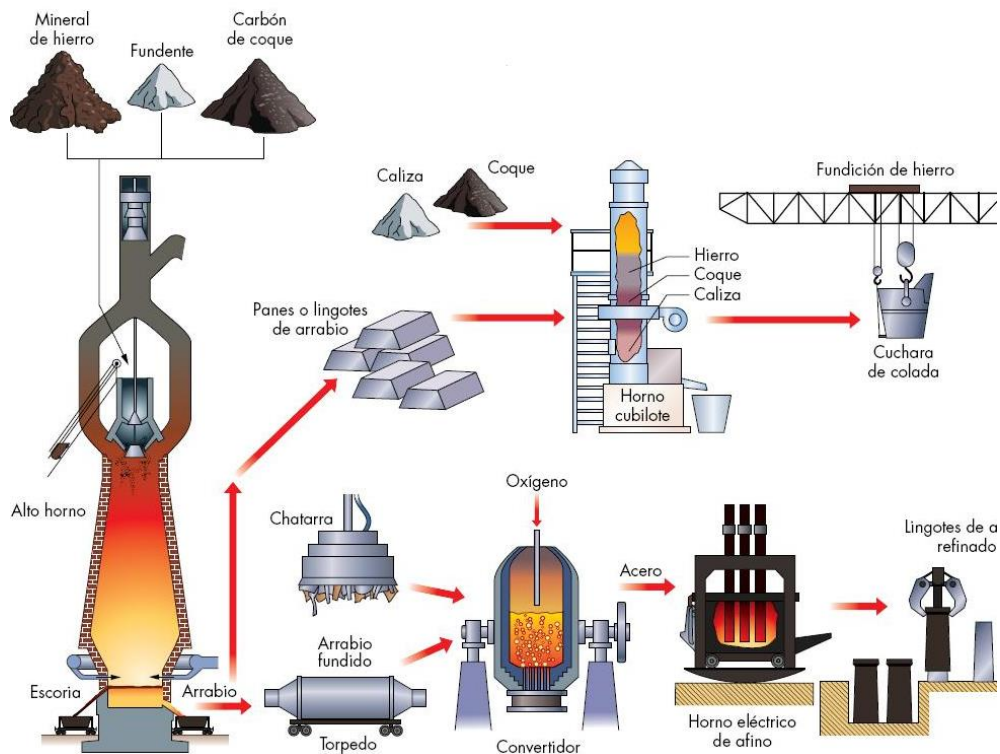
La metalurgia es la ciencia conformada por las técnicas y operaciones industriales que son especializadas que tienen como objetivo la obtención y tratamiento de los metales que se encuentran en los distintos minerales metálicos, realizando la preparación, tratamiento físico o químico, producción y aleación de los metales en óptimas condiciones según su aplicación. La metalurgia es dividida en 3 tipos:

- **Extractiva:** este es el primer paso para la obtención de un metal por medio de un proceso de liberación de átomos metálicos de sus combinaciones para obtener la pureza de un metal, entra todo tipo de extracción de minerales, concentración y refinación.

- Mecánica: representada por todo el grupo de procesos de manufactura que sirven para producir un objeto útil a partir de un metal.
- Física: se encarga del estudio de las propiedades que tenga un metal y de las características físicas y mecánicas que tenga.

Figura 7.

Esquema de un proceso metalúrgico



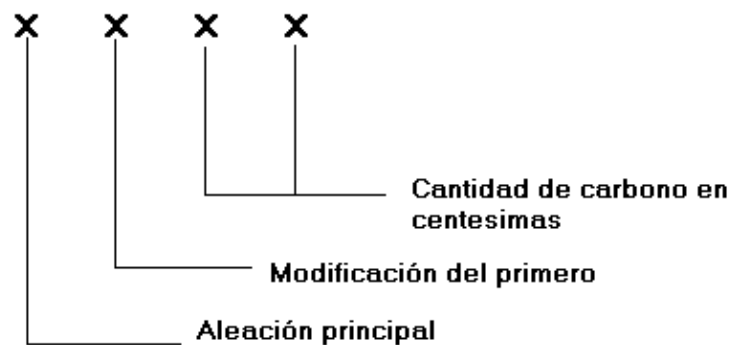
Nota. Proceso de obtención de lingotes de acero y fundición de hierro. Obtenido de Recemsa (2020). ¿Cómo es el proceso de la metalurgia? (<https://www.elchatarro.com/como-es-el-proceso-de-la-metalurgia/>), consultado el 28 de octubre de 2022. De dominio público.

2.2. Clasificación de aceros según AISI-SAE

La AISI-SAE tiene cierta denominación numérica constituida por 4 dígitos que describen al acero y sus propiedades, si es una aleación y porcentajes de estas, propiedades, entre otras.

Figura 8.

Nomenclatura AISI-SAE para aceros



Nota. Composición de la nomenclatura para aceros según AISI-SAE. Obtenido de J. Orozco (2022). *El acero, clasificación según AISI-SAE.* (<https://blog.laminasyaceros.com/blog/el-acero-clasificaci%C3%B3n-seg%C3%BAn-sae-aisi>), consultado el 29 de octubre de 2022. De dominio público.

Esta clasificación según la AISI-SAE consta de nueve grandes grupos definidos por la aleación principal que contiene.

Tabla 5.

Aleaciones principales según AISI-SAE

Designación SAE	Aleación principal
1XXX	Carbono
2XXX	Níquel
3XXX	Níquel-Cromo
4XXX	Molibdeno
5XXX	Cromo
6XXX	Cromo-Vanadio
7XXX	Tungsteno-Cobalto
8XXX	Níquel-Cromo-Molibdeno
9XXX	Manganeso-Silicio

Nota. Numeración de los metales aleados con acero según AISI-SAE. Elaboración propia, realizado con Word.

2.3. Definición de que es una aleación

Una aleación es una sustancia que está compuesta por 2 o más elementos donde por lo menos uno de estos debe ser considerado como un metal, ya que puede contener otros elementos no metálicos como el carbono, oxígeno o nitrógeno. Dependiendo de si este compuesto por 2 o 3 elementos pueden ser aleaciones binarias o ternarias respectivamente.

Existe una gran variedad de materiales producto de distintas aleaciones ya que la gran variedad de elementos existentes da una amplia cantidad de posibilidades para crear aleaciones ya sea haciendo uso completamente de metales o de materiales no metálicos, algunos ejemplos de aleaciones básicas o comunes son:

- Amalgamas: conformado por mercurio con otros metales

- Acero inoxidable: aleación de acero con níquel, cromo y otros para aumentar la resistencia a la corrosión.
- Oro blanco: aleación de metal blanco como plata, níquel o paladio con oro.
- Bronce: unión de cobre y estaño.
- Peltre: conformado por estaño y cobre, plomo y antimonio.
- Acero: aleación de hierro con carbono, mayormente acompañado de otro elemento en una pequeña cantidad.
- Latón: aleación de cobre y estaño.
- Plata de ley: unión de plata con cobre.
- Alpaca: aleación cobre, níquel y zinc.
- Oro 18 kilates: conformado por oro al 75 %, zinc, níquel y cobre.

Figura 9.

Ejemplos de aleaciones



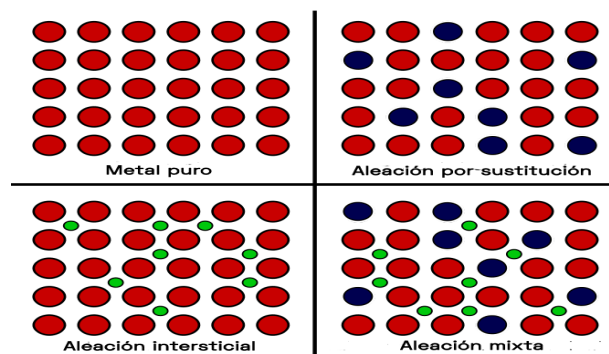
Nota. Aleaciones comunes. Obtenido de L. Rodríguez (2014). *Soluciones en estado sólido: las aleaciones.* (<http://blogdequimica4.blogspot.com/2014/07/soluciones-en-estado-solido-las.html>), consultado el 29 de octubre de 2022. De dominio público.

Las aleaciones pueden ser de tipo mezcla que contiene una combinación de varias fases o de tipo homogénea, y está constituida por una sola fase en su estructura, o en referencia a los tipos de aleación según la estructura cristalina y formación de los átomos en el material según la siguiente clasificación:

- Aleación por sustitución: composición donde los átomos de los elementos que conforman la aleación del mismo tamaño o similares y que los aleantes reemplazan átomos del metal base.
- Aleación intersticial: composición formada por átomos del elemento aleante más pequeños que los del metal base por que se ubican en espacios entre átomos del metal base.
- Aleación mixta: es la combinación de la posición de átomos aleantes de forma intersticial y por sustitución.

Figura 10.

Estructura atómica de una aleación



Nota. Formación de los átomos según sea la aleación. Obtenido de J. Rodríguez (2023). *Aleación.* (<https://como-funciona.co/aleacion/>), consultado el 29 de octubre de 2022. De dominio público.

2.4. Definición de un electrodo para soldadura

Los electrodos de soldadura son varillas fabricadas de metales ferrosos y no ferrosos para poder producir un arco eléctrico en los procesos de soldaduras por arco, esta varilla puede estar recubierta conocidas como electrodos revestidos o no revestidos. Los electrodos en general, son clasificados de la siguiente manera:

- En función del núcleo o alma
- En función del diámetro
 - Delgados: de 1.5 a 3.25 mm de diámetro
 - Medios: de 3.25 a 5 mm de diámetro
 - Gruesos: mayores a 5 mm de diámetro
- En función al rendimiento
 - Normal: con rendimiento gravimétrico que puede alcanzar el 90 %
 - Medio: con rendimiento gravimétrico entre 90 y 120 %
 - Grande: con rendimiento gravimétrico mayor a 120 %
- En función de la composición del revestimiento
 - Desnudos: electrodos que no tienen ningún tipo de revestimiento, utilizado en cordones secundarios y en cargas estáticas ya que con el uso de estos el material fundido no tiene protección contra las acciones de los gases como el oxígeno y el nitrógeno.

- Rutilio: revestimiento predominado por rutilio y compuesto en un 95 % de bióxido de titanio utilizado en ocasiones donde el material base no tiene muchas impurezas porque estos electrodos no tienen funciones de limpieza, para aplicaciones con buena estabilidad del arco, para mejorar rendimiento y empleado para corrientes cc o ca en distinta polaridad, aparte de su abundante formación de escoria viscosa de fácil eliminación que permite un buen deslizamiento de soldadura.

- Básicos: este revestimiento está conformado por aleaciones ferrosas, óxido de hierro, carbonatos de calcio y magnesio donde se le es agregado fluoruro de calcio obteniendo fluorita dando la característica de facilitar la fusión del baño. Con el uso de este revestimiento se obtienen buenas capacidades mecánicas y soldaduras de alta calidad, soportan elevadas temperaturas de secado por lo tanto el baño no se contamina con hidrógeno, usado generalmente con cc con polaridad inversa y que es recomendable tenerlos en áreas secas o recipientes cerrados por ser muy higroscópicos.

- Ácidos: revestimiento utilizado para obtener características mecánicas aceptables, pero con mala resiliencia, idóneo para corriente alterna o directa, garantiza una buena estabilidad de arco y aplicado para aceros de bajo carbono, azufre y fósforo. Este está compuesto de aleaciones ferrosas de manganeso y silicio, y de óxidos de hierro, que como aspecto negativo puede provocar grietas en el cordón ya que no tiene un flujo de gran poder de limpieza en el material base.

- Celulosos: el uso de este revestimiento disminuye la producción de escoria ya que está compuesto de celulosa con aleaciones ferrosas de magnesio y silicio de manera que esta celulosa desprende gases en su combustión. Con el uso de este se obtienen soldaduras con cordones con una gran profundidad de penetración por el elevado desarrollo de hidrógeno presente en la composición química y con óptimas cualidades mecánicas, pero con aspecto de cordón mejorable debido a la ausencia de la protección líquida ofrecida por este revestimiento.

Tabla 6.

Tipos de revestimiento y composición

Componente	Tipo de revestimiento			
	Celulósico	Ácido	Rutilio	Básico
Celulosa	25-40 %	0-5 %	2-12 %	0 %
Carbonato cálcico		0-5 %	0-5 %	15-30 %
Esparto de flúor				15-30 %
Rutilio	10-20 %	0-5 %	30-55 %	15-30 %
Feldespato		5-20 %	0-20 %	0-5 %
Arcilla		0-5 %	0-10 %	
Silicio		5-20 %		
Óxido de Mn		0-20 %		
Óxido de Fe		15-45 %		
Ferromanganeso	5-10 %	5-20 %	5-10 %	2-6 %
Ferrosilicio		0-5 %	5-10 %	5-10 %
Silicato sódico	20-30 %	5-15 %	5-10 %	0-5 %
Silicato potásico		0-5 %	5-10 %	5-10 %

Nota. Componentes principales de los tipos de revestimiento existentes para electrodos de soldadura. Elaboración propia, realizado con Word.

2.5. Tipos de electrodos según AWS

Los electrodos para soldadura por arco se clasifican según sus propiedades deducidas y clasificadas según las asociaciones AWS y ASME que son las máximas entidades del mundo para desarrollar y especificar las normas de clasificación de electrodos.

2.5.1. Electrodos para aceros al carbono

La norma AWS A5.1 dicta y describe la nomenclatura de los electrodos de soldadura aplicados en aceros al carbono de la siguiente manera:

E XXYZ – 1 HZR

Donde:

- E: indica que es un electrodo para soldadura eléctrica manual
- XX: designa la mínima resistencia a la tracción sin tratamiento térmico post soldadura del metal depositado, en ksi o psi.
- Y: indica la posición en la que se puede soldar, 1 significa en cualquier posición, 2 solo en posiciones planas u horizontal y es 4 solo en posición plana pero especialmente para vertical descendente.
- Z: indica el tipo de corriente eléctrica y polaridad en la que trabaja de mejor manera el electrodo.
- 1: significa que el electrodo cumple con los requisitos de impacto mejorados E.

- HZ: significa que cumple con requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de 4.8 o 16 ml de H₂ por 100 gr de metal depositado.
- R: indica que el electrodo cumple con la prueba de absorción de humedad a 80 °F y 80 % de humedad relativa.

2.5.2. Electrodo para aceros de baja aleación

La clasificación AWS para los electrodos para aceros de baja aleación están descritas en la norma A5.5 la cual se basa en la misma designación de la A5.1 pero en este caso el código cambia después del guion, ya que en esta clasificación se usan sufijos constituidos por una letra y un número para indicar el porcentaje de la aleación en el depósito de soldadura.

Tabla 7.

Electrodos de baja aleación

Sufijo	Aleación
A1	0.5 % Mo
B1	0.5 % Cr, 0.5 % Mo
B2	1.25 % Cr, 0.5 % Mo
B3	2.25 % Cr, 1.0 % Mo
B4	2.0 % Cr, 0.5 % Mo
B5	0.5 % Cr, 1.0 % Mo
C1	2.5 % Ni
C2	3.25 % Ni
C3	1.0 % Ni, 0.35 % Mo, 0.15 % Cr
D1 y D2	0.25-0.45 % Mo, 1.75 % Mn
G	0.5 % mín. Ni, 0.3 % mín. Cr, 0.2 % mín. Mo, 0.1 % mín. V, 1.0 % mín. Mn

Nota. Sufijos utilizados en los electrodos de baja aleación. Elaboración propia, realizado con Word.

2.5.3. Electrodo para aceros inoxidables

Los electrodos para aceros inoxidables se clasifican según la norma AWS A5.4 la cual trabaja con cierta nomenclatura para electrodos revestidos de la siguiente forma:

$$E\ XXX - YZ$$

Donde:

- E: indica que es un electrodo para soldadura por arco
- XXX: representa la numeración que corresponde al acero por AISI
- Y: posición en la que se puede soldar
- Z: representa el revestimiento, corriente y polaridad, si es 5 es un alcalino para corriente continua y polaridad inversa, si es 6 es revestimiento de titanio para corriente alterna o continua y si se usa continua debe ser polaridad inversa.

2.5.4. Electrodo para metales no ferrosos

La norma AWS A5.15 establece la nomenclatura de electrodos para soldar metales no ferrosos, para este caso solo se indica el símbolo químico que representa el elemento o elementos metálicos predominantes en el núcleo del electrodo y se utiliza un prefijo E para indicar que es un electrodo para soldar, como el siguiente ejemplo:

$$E\ Cu\ Sn$$

Esto significa que es un electrodo para soldadura compuesto de cobre y estaño.

2.5.5. Electrodo para arco sumergido

La AWS establece la nomenclatura para electrodos para arco sumergido en la norma A5.17, tienen un prefijo E que significa que es un electrodo para arco eléctrico seguido de una letra que indica el contenido de manganeso, L es bajo, M medio y H alto, posterior a un número que representa el contenido de carbono en centésima de porcentaje y finalmente a veces tienen una K que significa si es un producto obtenido de un acero calmado al silicio. Como se puede apreciar el siguiente ejemplo:

F6A2 EM12K

Donde:

- F: fundente
- 6: 60 psi
- A: propiedades mecánicas obtenidas sin tratamiento post soldadura
- 2: resistencia al impacto de 27 mínimo a 20 °F
- E: electrodo
- M: contenido medio de manganeso
- 12: 0.12 % de carbono nominal
- K: acero calmado

2.5.6. Electrodo por arco con gas

La norma A5.18 especifica la clasificación y nomenclatura del material de aporte para procesos de soldadura con protección gaseosa o al arco de la siguiente forma:

ERXX – SX

Donde:

- E: indica electrodo para soldadura por arco
- R: es el aporte que funde por un medio diferente que el que conduce la corriente del arco eléctrico.
- XX: significa la resistencia a tracción nominal del depósito de soldadura.
- S: representa que el electrodo es sólido.
- X: dígitos que dictan la composición química del electrodo.

2.6. Definición de un gas de protección para soldadura

Es un gas inerte que es inyectado en la zona a soldar, canalizado en dirección a la punta del electrodo de forma continua durante el proceso, este tiene la función de proteger el arco eléctrico aislando la fusión de la atmósfera contaminante que lo rodea y de esta forma garantizar que la unión se de en buenas condiciones y que esté más limpia.

Los gases de protección se utilizan en métodos de soldadura como GTAW, SMAW, GMAW o plasma y entre los gases más utilizados se encuentran el argón, helio, hidrogeno y algunas mezclas de estos.

Los gases deben de ser guardados en cilindros de forma vertical cuidando que no sean arrastrados, rodados, que tengan un traslado adecuado por medio de carretillas y no dejar que se caigan. Los cilindros se tienen que guardar o almacenar en lugares alejados de calor o fuentes de ignición a temperaturas menores a los 50 °C y tener bien ventilado el lugar.

3. COMPOSICIÓN METALURGICA DE ELECTRODOS USADOS EN LA SOLDADURA GTAW Y TIPOS DE GASES DE PROTECCIÓN

En la soldadura GTAW se utilizan distintos tipos de electrodos basados principalmente en tungsteno ya que este elemento es el utilizado para la manufactura de electrodos y de las aleaciones de este con otros metales.

De igual forma dependiendo del tipo de soldadura que se aplicara se utilizan gases de protección, en este caso los usados específicamente para los procesos de soldadura GTAW.

3.1. Electrodo para soldadura GTAW

Se emplean electrodos de tungsteno y sus aleaciones no consumibles durante el proceso de soldadura si este se realiza de buena forma ya que estos no se derriten ni se unen a la soldadura, ya que se conoce que en otro tipo de soldaduras los electrodos cumplen también la función de ser el metal de aporte, pero en el caso de la soldadura GTAW su electrodo sirve como la terminal eléctrica del arco el cual proporciona el calor necesario para soldar.

El tungsteno utilizado en los electrodos para soldadura GTAW tiene un punto de fusión de 3410 °C y que al acercarse a dicha temperatura se vuelve termoiónico o sea un gran flujo de electrones.

Estos electrodos son fabricados con acabados limpios o amolados, en el caso de los limpios es por medio de procesos químicos para eliminar impurezas

superficiales y para los amolados usando una técnica sin centro para eliminar las imperfecciones que pueda tener en su superficie.

3.2. Clasificación de electrodos para GTAW según norma AWS

Los electrodos de tungsteno se clasifican en base en su composición química o metalúrgica y es especificada por la norma AWS, considerando los requisitos de estos electrodos según las asociaciones ANSI y AWS.

3.2.1. Electrodos EWP

Estos electrodos no tienen ningún elemento aleante ya que está constituido casi completamente en tungsteno, tienen menos capacidad de transportar corriente que uno aleado y son empleados principalmente para soldar aleaciones de aluminio y magnesio.

La punta de este electrodo mantiene un extremo limpio en forma de bola y hace que haya un arco bastante estable, usado tanto corrientes cc como para ca, pero no ofrece las mismas capacidades de encendido y estabilidad de arco que otros electrodos aleados (AWS, 1996).

Tabla 8.

Composición metalúrgica del electrodo EWP

Clasificación AWS	Porcentaje de tungsteno	Elemento aleante	Óxido	Porcentaje de óxido
EWP	99.5	No tiene		

Nota. Descripción del contenido de un electrodo EWP para soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

3.2.2. Electrodo EWCe

Son electrodos de tungsteno con cerio, introducidos al mercado como posibles reemplazos de los electrodos con torio ya que el cerio no es un elemento radioactivo como lo es el torio.

Estos en comparación con los electrodos puros tienen menores tasas de evaporación o quemado, facilitan el inicio del arco, mejoran la estabilidad de este y también pueden trabajar con corrientes ca o cc de cualquier polaridad. Son conocidos como electrodos EWCe-2 ya que contienen 2 % de óxido de cerio (Intech Peru Welding, 2023).

Tabla 9.

Composición metalúrgica del electrodo EWCe

Clasificación AWS	Porcentaje de tungsteno	Elemento aleante	Óxido	Porcentaje de óxido
EWCe-2	98	Cerio	CeO ₂	2

Nota. Descripción del contenido de un electrodo EWCe para soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

3.2.3. Electrodo EWLa

Estos electrodos de tungsteno están aleados con lantano, generalmente estos tienen características parecidas a los electrodos aleados con cerio ya que fueron fabricados casi al mismo tiempo. Los EWLa tienen una subclasificación según sea el porcentaje de óxido de lantano que contengan (AWS, 1996).

Tabla 10.

Composición metalúrgica del electrodo EWLa

Clasificación AWS	Porcentaje de tungsteno	Elemento aleante	Óxido	Porcentaje de óxido
EWLa-1	99	Lantano	La ₂ O ₃	1
EWLa-1.5	98.5	Lantano	La ₂ O ₃	1.5
EWLa-2	98	Lantano	La ₂ O ₃	2

Nota. Descripción del contenido de los electrodos EWL a para soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

El EWLa-1 contiene 1 % de óxido de lantano, es bastante parecido a los electrodos de tungsteno aleado con cerio por tanto cuentan con las mismas características.

El EWLa-1.5 que tiene un mejor arranque y estabilidad de arco, reducción de la tasa de erosión de la punta y amplía el rango de corriente de funcionamiento, asimismo se puede ser usado como sustituto del electrodo de tungsteno aleado con torio al 2 %.

El EWLa-2 tiene la mayor cantidad de óxido de lantano, esto mejora aún más las características que tienen los electrodos aleados con lantano mencionados anteriormente.

3.2.4. Electrodo EWTh

Son electrodos de tungsteno aleados con torio, dicho aleante tiene funciones de trabajo bajas, esto significa que requiere menos cantidad de energía para hacer que los electrones se emitan desde la superficie mejorando la

propiedad de emisión termoiónica que tiene el tungsteno, a consecuencia de esto se pueden usar corrientes de soldadura más altas con una conducción de corriente en un 20 % mayor en comparación con los EWP.

Estos electrodos tienen buenas propiedades de resistencia ante la contaminación en el proceso de soldadura, una larga vida útil, aparte de tener un buen inicio y estabilidad de arco en comparación con los electrodos de tungsteno puro o zirconiado.

El torio es considerado como un material relativamente bajo en radioactividad de modo que no representa un riesgo para la salud de los operarios, pero si se llevara a cabo una soldadura en un espacio cerrado durante un largo periodo de tiempo se recomienda tener una buena ventilación y equipo apropiado de seguridad (AWS, 1996).

Tabla 11.

Composición metalúrgica del electrodo EWTh

Clasificación AWS	Porcentaje de tungsteno	Elemento aleante	Óxido	Porcentaje de óxido
EWTh-1	99	Torio	LhO ₂	1
EWTh-2	98	Torio	LhO ₂	2

Nota. Descripción del contenido de los electrodos EWTh para soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

3.2.5. Electrodos EWZr

Estos son electrodos de tungsteno aleado con zirconio, son los más usados para corrientes ca ya que tienen buenas características de estabilidad de

arco y encendido de arco como las de un aleado con torio y de extremo de bola de un electrodo de tungsteno puro combinadas, utilizados normalmente para áreas de soldadura de calidad radiográfica donde se debe de minimizar la contaminación de la soldadura (AWS, 1996).

Tabla 12.

Composición metalúrgica del electrodo EWZr

Clasificación AWS	Porcentaje de tungsteno	Elemento aleante	Óxido	Porcentaje de óxido
EWZr	99.75	Zirconio	ZrO ₂	0.25

Nota. Descripción del contenido del electrodo EWZr para soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

3.2.6. Electrodo EWG

Clasificación de electrodos de tungsteno que están aleados con elementos no cubiertos por las nomenclaturas anteriores, eso significa que son electrodos que pueden tener una adición no especificada de un óxido o combinación de óxidos con el objetivo de que modificar la naturaleza o tipo de arco generado según sea la necesidad o aplicación llevada a cabo.

Hay varios electrodos EWG ya fabricados y otros en proceso de crearlos como lo son los aleados con óxidos de itrio o de magnesio, aparte de contener aleantes mencionados en las otras clasificaciones como el cerio o lantano, pero en otros porcentajes o combinados con otros óxidos.

Tabla 13.

Composición metalúrgica del electrodo EWG

Clasificación AWS	Porcentaje de tungsteno	Elemento aleante	Óxido	Porcentaje de óxido
EWG	No especificado	Variante		Variante

Nota. Conformación variada de un electrodo EWG para soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

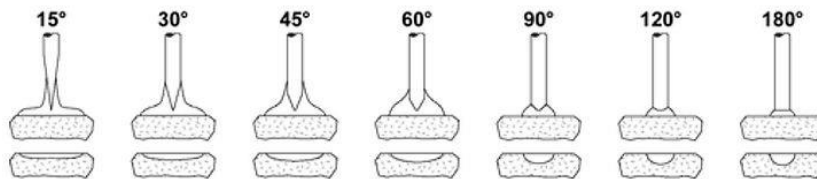
3.3. Clasificación de electrodo según su punta

En la soldadura GTAW la punta de los electrodos de tungsteno es un aspecto bastante importante para considerar ya que pueden tener distinta forma o manufactura dependiendo del tipo de aleación del electrodo, tipo de corriente y calidad de la soldadura. Normalmente los electrodos de tungsteno puro o aleados con zirconio se usan con ca y en este caso se utilizan puntas abultadas, si se usan electrodos aleados con torio, cerio o lantano se usa cc con puntas amoladas con cierto ángulo.

Dependiendo de la geometría que tenga la punta del electrodo será la forma y tamaño que tenga la franja de soldadura, ya que dependiendo del ángulo que tengan cambiara la anchura y penetración de la soldadura, por esto una vez empezado el proceso de soldadura se debe seguir siempre con la misma forma de punta en el electrodo para no afectar la calidad o el tipo de soldadura que se esté llevando a cabo (AWS, 1996).

Figura 11.

Tipo de unión según el ángulo de la punta



Nota. Penetración y anchura de soldadura a partir del ángulo de la punta del electrodo. Obtenido de J. C. Moreno (2012). *Electrodos de tungsteno para soldadura TIG-GTAW.* (<https://www.josecarlosmoreno.com/single-post/2016/10/02/electrodos-de-tungsteno-para-soldadura-tig-gtaw>), consultado el 10 de abril de 2023. De dominio público.

3.3.1. Formación de bola

Es una forma hemisférica utilizada en electrodos de tungsteno puro y aleados con zirconio usando ca, esta forma se le da antes de empezar con el proceso de soldadura haciendo fluir corriente sobre el electrodo hasta que el extremo se caliente al blanco y se funda generando una pequeña bola en la punta, después se va disminuyendo la corriente dejando esta forma la cual no debe ser mayor que 1.5 veces el diámetro que tenga el electrodo ya que al no cumplirse esto puede provocar un desprendimiento cuando se lleve a cabo la soldadura.

3.3.2. Amolado

Son electrodos los cuales deben de amolarse con su eje perpendicular al eje de la rueda de amolar, este tipo de punta da una mejor estabilidad de arco durante la soldadura pero que al llevar a cabo este tipo de manufactura hay que tener mucho cuidado para que el electrodo no se contamine con otro tipo de

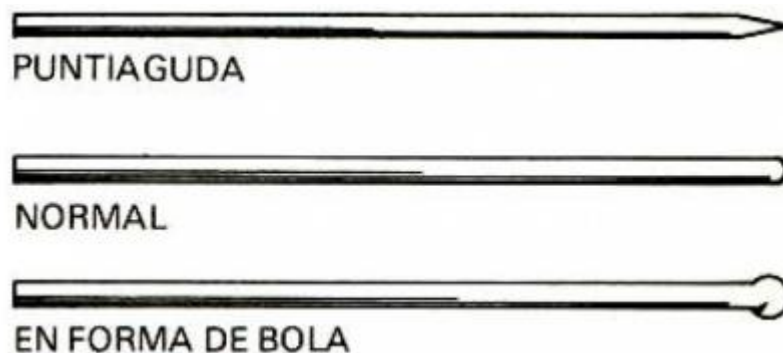
material por lo tanto la rueda para amolar debe ser exclusivamente para estos procesos. Este tipo de punta es recomendable para los electrodos de tungsteno aleados con torio, lantano y cerio ya que estos no tienen una buena capacidad de formación de bola como los de tungsteno puro, encima de que se deben usar con cc porque el uso de ca provoca que los electrodos se rajen o fracturen.

3.3.3. Afilado químico

El afilado de estos electrodos es por medio de un proceso químico en el que se debe sumergir el electrodo al rojo vivo en un baño de nitrato de sodio, dándose una reacción química entre este elemento y el electrodo provocando que el tungsteno se erosione con velocidad uniforme alrededor de la circunferencia y el extremo de este, este proceso de inmersión repetitivo generara una punta ahusada.

Figura 12.

Formas posibles de las puntas en los electrodos



Nota. Visualización de la forma que puede tener la punta de un electrodo. Obtenido de Ing. A. Marín (2016). *Proceso GTAW.* (<https://www.josecarlosmoreno.com/single-post/2016/10/02/electrodos-de-tungsteno-para-soldadura-tig-gtaw>), consultado el 10 de abril de 2023. De dominio público.

3.4. Gases de protección utilizados en la soldadura GTAW

En la soldadura GTAW se usan gases inertes para proteger el electrodo y el metal fundido de agentes contaminantes provenientes del entorno o de la atmósfera, este gas es llevado hacia el arco y el charco de soldadura por medio de los sopletes. A parte de estos gases se pueden utilizar otros como purgantes de respaldo con la función de proteger de oxidación el lado de abajo de la soldadura y las superficies adyacentes.

Generalmente se usan el argón y el helio, pero también es usado el hidrógeno o mezclas entre estos mencionados anteriormente dependiendo del material a soldar o aplicación, estos gases se pueden almacenar en cilindros o por medio de tanques aislados en donde se vaporiza el líquido y es enviado al espacio de soldadura por medio de un sistema hidráulico o de tubería.

La tasa de flujo que debe tener un gas protector va a depender de la boquilla del soplete, el tamaño del charco de soldadura y el movimiento o dirección que tenga el aire.

A partir de la reactividad del metal a soldar y el tamaño del charco de soldadura ya se considera un diámetro de boquilla adecuado para el proceso ya que el flujo va aumentando proporcionalmente con el área de sección transversal que se tenga en la boquilla o soplete, así mismo si el aire tiene una velocidad de 8 km/h o mayor hace que el gas protector se rompa o desvanezca por lo que se usan chorros de gas más rígidos usando accesorios como lentes de gas para la boquilla o pantallas protectores para bloquear el flujo de aire en lugar de aumentar el flujo de gas protector.

Usar flujos de gas demasiado altos no es conveniente porque puede llegar a causar turbulencia en el chorro de gas y deja más susceptible el arco de soldadura ante contaminante de la atmósfera por esta razón dependiendo del gas protector usado se recomienda ciertos valores o rangos de flujos admisibles.

Tabla 14.

Cantidad de flujo para gases de protección

Tipo de gas	Rango de flujo de gas protector (p³/h)
Argón	15 - 35
Helio	30 - 50

Nota. Rango de valores del flujo de gases protectores más utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

3.4.1. Argón

Este es un gas inerte obtenido de la atmósfera a partir de la separación del aire licuado, es monoatómico y tiene peso molecular 40. Para su aplicación en la soldadura GTAW debe ser refinado a una pureza mínima de 99.95 % para la mayoría de las ocasiones, ya que para reactivos y refractarios se requiere que sea de 99.997 %.

El uso de argón se usa más que el helio porque tiene menor costo y mayor disponibilidad, inicia más fácilmente el arco aparte de ser silenciosa y uniforme, buena protección con tasas de flujo baja, limpieza para soldar aluminio y magnesio, mayor resistencia a ráfagas transversales y menor penetración, lo cual es útil para soldar materiales delgados ya que reduce la tendencia a que la perforación sea excesiva dañando el metal.

Este gas es prácticamente el más utilizado en todo tipo de situaciones excepto en ocasiones donde se requiere mayor penetración calorífica para materiales muy gruesos con elevada conductividad térmica como lo son el aluminio o el cobre.

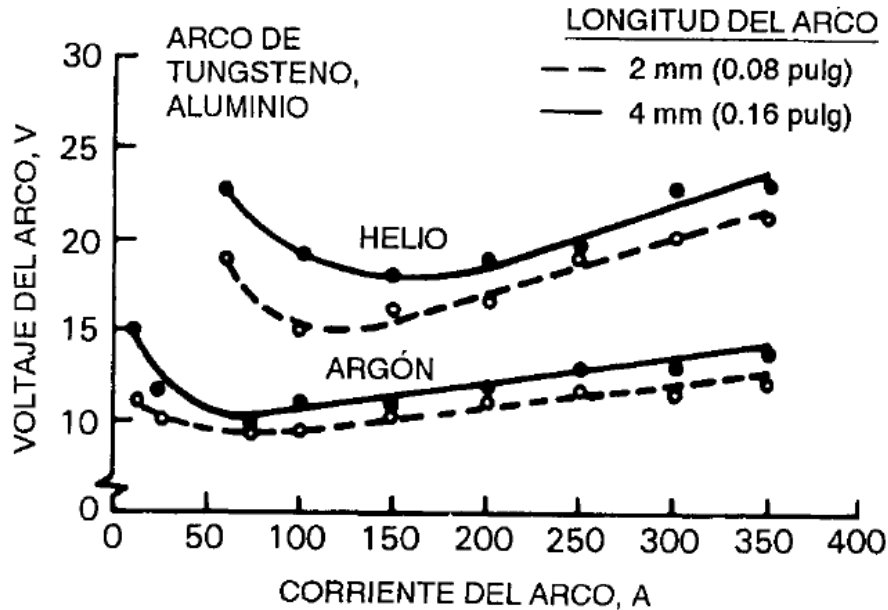
3.4.2. Helio

Este gas es obtenido de la separación del gas natural, es también de tipo monoatómico y con peso atómico de 4. En este caso para ser usado en un proceso de soldadura GTAW se debe de refinar hasta una pureza mínima del 99.99 %. El uso de helio en comparación con el argón aporta más calor a la soldadura, y hace que se aplique en materiales con alta conductividad eléctrica o para procesos de mecanizado a alta velocidad y para placas gruesas.

Se pueden utilizar mezclas de helio y argón cuando se necesitan características intermedias que tengan estos gases, de modo que si se necesita una efectividad de protección equivalente el flujo de helio debe ser de dos a tres veces el flujo del argón. La característica más importante de esa mezcla es su relación de voltaje-corriente del arco de tungsteno en argón y en helio ya que ofrecen una excelente estabilidad del arco con el uso de corriente continua.

Figura 13.

Relación del voltaje y corriente en los gases de protección



Nota. Gráfico de la relación voltaje-corriente del helio y argón. Obtenido del Manual de Soldadura AWS tomo 1 (1996). *Soldadura por arco de tungsteno y gas.* (<https://dokumen.tips/documents/manual-de-soldadura-vol-1-awspdf.html?page=1>), consultado el 15 de abril de 2023. De dominio público.

3.4.3. Hidrógeno

El hidrógeno es un gas que en los procesos de soldadura no se emplea en estado puro ya que se asocia para poder formar mezclas binarias o ternarias dependiendo del tipo de protección que se desea dar a la soldadura y materiales utilizados.

Este gas tiene distintas propiedades que ayudan a aumentar la velocidad de soldadura y valores de penetración, mejora la tensión del arco y aumento de calor en el proceso. Pero se debe cuidar de ciertos aceros sensibles a la fisuración y al frío, evitando el uso de este gas en otros como el aluminio, cobre y aceros martensíticos o ferríticos ya que provoca soldaduras en los cordones de soldadura.

3.4.4. Mezcla de argón e hidrógeno

Esta mezcla de gases tiene ciertas variaciones respecto a la cantidad de hidrógeno y cierto grupo específico de aplicaciones ya que se usa para ocasiones especiales como la soldadura mecanizada de tubos de acero inoxidable de calibre o cedula delgada porque el hidrógeno no afectara metalúrgicamente la soldadura como los fenómenos de porosidad y agrietamiento.

La mezcla de gases de argón e hidrógeno aparte de ser usada en aceros inoxidables también se utiliza en aleaciones níquel-cobre o aleaciones de base níquel, estas mezclas comúnmente contiene hasta un 15 % de hidrógeno en estas aplicaciones y en un 5 % para procesos de soldadura manual para tener resultados más limpios.

La velocidad de soldadura se puede aumentar casi directamente proporcional al porcentaje de hidrógeno añadido al argón en virtud del aumento del voltaje del arco, adicionalmente se debe tomar en cuenta el espesor del metal y que tipo de unión se está realizando ya que sea usado, por ejemplo, hasta el 35 % de hidrógeno en aceros inoxidables.

4. GUÍA DE SELECCIÓN DE ELECTRODOS Y GAS PROTECTOR PARA SOLDADURA GTAW

Para llevar a cabo una unión o soldadura por medio del proceso GTAW se debe tener una gran lista de consideraciones, en las que se incluye la identificación, interpretación y elección de un electrodo y su aleación a partir de que metales son los involucrados en la unión, el material o metales que se van a soldar y las propiedades que se necesitan en dicha unión dependiendo de la aplicación posterior al proceso que este tendrá, el material de aporte si fuera necesario para cumplir ciertas características de los metales, si es necesario utilizar gases de protección y que tipos de gases usar dependiendo del metal soldado y tipo de electrodo usado para llevar a cabo la soldadura GTAW, aparte de otro tipo de aspectos como el tipo de corriente y el espesor del material.

4.1. Identificación de electrodos para soldadura GTAW

Los electrodos de tungsteno y aleaciones de este con otros metales utilizados en la soldadura GTAW se identifican según las normas en las que se basen el lugar de distribución de estos ya que tienen diferente nomenclatura de acuerdo con la norma AWS o ISO, así como la división de estos electrodos por el color que este puede tener en su superficie.

4.1.1. Clasificación de acuerdo con AWS

Los electrodos para soldadura GTAW de acuerdo con la AWS se basa en una nomenclatura utilizando las iniciales del metal aleante y en ciertas ocasiones el número que representa la cantidad en porcentaje del óxido de aleación presente en el electrodo, aunque básicamente contiene más porcentaje de tungsteno en su composición.

La AWS clasifica los electrodos de tungsteno para soldadura GTAW en 5 tipos distintos en base al metal del que estén manufacturados o aleación y su composición metalúrgica, siendo esta clasificación de la siguiente manera:

Tabla 15.

Clasificación de electrodos para soldadura GTAW según AWS

Clasificación AWS	Porcentaje de tungsteno	Elemento aleante	Óxido	Porcentaje de óxido
EWP	99.5	No tiene		
EWCe-2	98	Cerio	CeO ₂	2
EWLa-1	99	Lantano	La ₂ O ₃	1
EWLa-1.5	98.5	Lantano	La ₂ O ₃	1.5
EWLa-2	98	Lantano	La ₂ O ₃	2
EWTh-1	99	Torio	LhO ₂	1
EWTh-2	98	Torio	LhO ₂	2
EWZr-1	99.75	Zirconio	ZrO ₂	0.25
EWG	No especificado	Variante		Variante

Nota. Recapitulación de nomenclatura AWS de electrodos para soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

4.1.2. Equivalencia de nomenclatura ISO a AWS

La ISO conocida por sus estandarizaciones internacionales es usada en muchos países industrialmente y tienen su propia nomenclatura e identificación de los electrodos utilizados en la soldadura GTAW, esta clasificación puede ser un poco parecida a la establecida por la AWS pero no es la misma, igualmente esta puede causar confusión ya que algunas industrias se basan en la AWS y otras en la ISO, por esta razón es importante identificar lo que es la equivalencia de los tipos de electrodo para ambas clasificaciones.

Tabla 16.

Nomenclatura ISO de electrodos para soldadura GTAW

Tipo de electrodo	Nomenclatura AWS	Nomenclatura ISO
Tungsteno puro	EWP	WP
Tungsteno - Cerio	EWCe-2	WC20
Tungsteno - Torio	EWTh-2	WT20
Tungsteno - Lantano	EWLa-1	WL10
Tungsteno - Lantano	EWLa-1.5	WL20
Tungsteno - Zirconio	EWZr-1	W23

Nota. Nomenclatura ISO de electrodos para soldadura GTAW y su equivalente en norma AWS. Elaboración propia, realizado con Word.

4.1.3. Clasificación por código de color

Los electrodos para soldadura GTAW aparte de tener una nomenclatura dada por norma AWS o ISO, también pueden ser identificados fácilmente dependiendo de su color ya que estos pueden tener puntos, franjas o partes que tengan cierto color para determinar qué tipo de electrodo es, ya sea de tungsteno puro o que sea de alguna aleación.

Para tener una comprensión completa de lo que es la clasificación de electrodos, estos colores también estarán a partir de qué tipo de electrodo es en las normas ISO y AWS para que de esta manera se entienda la equivalencia que tienen los colores y las normas mencionadas anteriormente de la siguiente manera:

Tabla 17.

Código de colores para electrodos según AWS

Tipo de electrodo	Nomenclatura AWS	Color
Tungsteno puro	EWP	Verde
Tungsteno - Cerio	EWCe-2	Anaranjado/Gris
Tungsteno - Torio	EWTh-2	Rojo
Tungsteno - Lantano	EWLa	Negro/Dorado/Azul
Tungsteno - Lantano	EWLa-1.5	Amarillo
Tungsteno - Zirconio	EWZr-1	Café
Tungsteno – Aleación variada	EWG	Gris

Nota. Identificación de los electrodos para soldadura GTAW por color según norma AWS.
Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 18.

Código de colores para electrodos según ISO

Tipo de electrodo	Nomenclatura ISO	Color
Tungsteno puro	WP	Verde
Tungsteno - Cerio	WC20	Gris
Tungsteno - Torio	WT20	Rojo
Tungsteno - Lantano	WL10	Negro
Tungsteno - Lantano	WL20	Celeste
Tungsteno - Zirconio	W23	Café

Nota. Identificación de los electrodos para soldadura GTAW por color según norma ISO.
Elaboración propia, realizado con Word.

4.2. Materiales que se pueden soldar por proceso GTAW

Por medio de la soldadura GTAW se pueden hacer uniones prácticamente con la mayoría de los metales, incluyendo las variaciones de aceros, aceros al carbono, aleaciones y aceros inoxidables, aleaciones ferrosas, otras resistentes al calor; aleaciones de cobre, manganeso, aluminio, bronce, latones y níquel.

Hay cierto grupo de metales los cuales se deben soldar únicamente por medio de la soldadura GTAW por sus cualidades de protección y calidad, especialmente útil para metales reactivos, refractarios y algunas aleaciones pertenecientes al grupo de metales no ferrosos, considerando que este proceso no es conveniente ni usable para unir metales como el cadmio, cinc o estaño ya que estos líquidos tienen muy baja presión de vapor.

- **Aceros al carbono y de aleación:** se pueden realizar procesos de soldadura en estos materiales pero que lastimosamente se destaca en el contenido de impurezas en el metal base, refiriéndose a elementos como el oxígeno, azufre, entre otros. Para el caso de aceros de baja aleación y alta resistencia mecánica si es ideal este tipo de soldadura, pero se pueden presentar niveles excesivos de impurezas, esto generara agrietamiento en las zonas de fusión, si se presenta hidrógeno puede afectar la propiedad de ductilidad del material; dichos fenómenos se pueden resolver por medio de la aplicación de procesos térmicos posteriores o procesos de precalentamiento del material. Para estos metales es usado principalmente el argón como el gas protector ya que con esta elección el charco de soldadura es más fácil de controlar en comparación a que se usara helio, eso para espesores pequeños de material de unos 12 mm o 1/2 plg, en cambio, se usa un espesor más grande es mejor usar una mezcla de argón y helio.

- Aceros inoxidable y aleaciones resistentes al calor: estos aceros y superaleaciones con base de hierro, níquel y cobalto se sueldan con método GTAW en donde se utiliza un metal de aporte o composición de metal de soldadura idénticos al metal base a soldar y este material de aporte pasa al charco sin necesidad de pasar por medio del arco. Se utiliza el argón como gas protector para espesores no mayores de 12 mm o 1/2 plg ya que da un mejor control de charco de soldadura y para espesores más grandes o piezas mecanizadas y automáticas se usan mezclas de argón con helio o solo helio puro haciendo que la penetración de soldadura sea mayor, adicionalmente en aceros inoxidable se puede usar mezclas de argón, pero con hidrógeno para reducir la tensión superficial y tener una mejor forma de franja de soldadura.
- Aleaciones de aluminio: para estos metales es ideal el uso de la soldadura GTAW utilizando ca con estabilizador de arco con alta frecuencia ya que da buenos acabados de limpieza y buena penetración que se podrían obtener por separado utilizando CCEP o CCEN respectivamente, pero en ciertas oportunidades de pequeños espesores se usa CCEP y si son soldaduras automáticas de espesores mayores a 6 mm o 1/4 plg se usa CCEN con elevada corriente y helio como gas protector, igualmente se debe realizar previamente una limpieza minuciosa de la pieza. Para soldar aleaciones de aluminio se utiliza normalmente el argón como gas protector ya que este facilita el inicio del arco, deja uniones de mejor calidad que el helio y más limpias para el uso de ca, si se usa CCEN el helio tiene cualidades mejores en aspectos de penetración y velocidad de recorrido, pero se puede generar porosidad por su falta de limpieza.

- Aleaciones de magnesio: estas aleaciones también se trabajan por medio de soldadura GTAW usando corriente alterna por los acabados limpios que deja, aparte que es muy útil para espesores o secciones bastante gruesas ya que ofrece una buena penetración de soldadura y para espesores menores a los 5 mm o 3/16 plg se puede usar CCEP y para estas uniones se utiliza el argón para tener una mejor calidad de esta, aunque se puede usar helio y mezcla de estos dos.
- Berilio: este es un metal susceptible y delicado ya que en los procesos de soldadura presentan problemas de agrietamiento y pérdida de ductilidad en caliente por lo tanto el uso de la soldadura GTAW para su unión se realiza en una cámara de atmósfera inerte utilizando una mezcla de gases de protección en una composición de una parte de argón y cinco partes de helio.
- Aleaciones de cobre: el cobre y sus aleaciones son metales fáciles de soldar por medio del proceso GTAW por el gran calor generado por el arco hace que se produzca la fusión al más mínimo calentamiento del metal base, estos procesos se hacen con CCEN mayormente y helio a causa de la alta conductividad térmica, pero también se puede usar ca el cual sirve para separar óxidos superficiales en el material en cobres de berilio y bronces de aluminio.
- Aleaciones de níquel: este metal y sus aleaciones se suelda generalmente con soldadura GTAW y en algunas ocasiones aplicando un material o metal de aporte para realizar la unión donde es mejor utilizar el helio como gas de protección, se usa CCEN para todas las uniones pero se puede usar corriente alterna con estabilizador para soldadura mecanizada y finalmente el uso de gases como el argón mayormente, el helio y mezclas

de argón con helio como protección al proceso aunque a veces se puede usar el argón pero en soluciones con pequeñas cantidades de hidrógeno hasta en un 5 % para uniones de una pasada.

- Metales refractarios y reactivos: los metales refractarios son un grupo conformado por metales como el tungsteno, molibdeno, cromo, tantalio y niobio que adicionalmente tienen un punto de fusión bastante elevado, mientras que algunos ejemplos de los reactivos son las aleaciones de titanio, aleaciones de zirconio y el hafnio. Estos dos grupos de metales al ser sometidos a altas temperaturas se pueden oxidar rápidamente de modo que el proceso de soldadura GTAW es el más usado para estos por su alta concentración de calor y gran control sobre el aporte de calor, aplicando siempre un gas protector por los fenómenos mencionados ya que también la absorción de partículas de oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno reducen sus capacidades de tenacidad y ductilidad. La unión de los metales se hace por medio de cámaras purgadas que tienen gases con gran pureza, pero a veces se puede llevar a cabo el proceso sin cámara con la atmósfera inerte necesaria usando escudos de soplete, de estela y de respaldo, el gas más usado es el argón con flujo de 15 p³/h, se puede usar helio con flujo de 40 p³/h o mezcla de estos dos gases.
- Hierros colados: este material es un poco más delicado o especial ya que al realizar una unión se debe tener un buen control de la penetración y fusión ya que se debe minimizar la dilución del metal base respecto a la cantidad de calor aportada en la soldadura, por medio del proceso GTAW y usando CCEN mayormente a pesar de que se puede usar ca, se puede llevar este control, aunque se limita en la aplicación de piezas pequeñas y su restauración usando metales de aporte con base níquel y de acero inoxidable austenítico para evitar el agrietamiento del material en virtud de

la ductilidad y tolerancia al hidrógeno, pero también se pueden usar procesos térmicos posteriores o precalentamientos para evitar esto en los hierros colados.

Tabla 19.

Electrodos usados por material y espesor según AWS

Metal	Espesor o sección	Electrodo
Aluminio	Todos	Puro o con zirconio
	Mayores a 1/8 plg	Con torio, cerio o lantano
	Menores de 1/8 plg	Con torio o zirconio
Cobre y aleaciones	Todos	Con torio, cerio o lantano
	Menores de 1/8 plg	Puro o con zirconio
Aleaciones de magnesio	Todos	Puro o con zirconio
	Menores de 1/8 plg	Con zirconio o torio
Níquel y aleaciones	Todos	Con torio, cerio o lantano
Aceros al carbono y baja aleación	Todos	Con torio, cerio o lantano
	Menores de 1/8 plg	Puro o con zirconio
Acero inoxidable	Todos	Con torio, cerio o lantano
	Menores de 1/8 plg	Puro o con zirconio
Titanio	Todos	Con torio, cerio o lantano

Nota. Recopilación de electrodos utilizados para soldadura GTAW de acuerdo con el material y espesor de la pieza. Elaboración propia, realizado con Word.

Dependiendo del material y la aplicación posterior que tendrá después de la soldadura se hace la consideración de aplicar un material o metal de aporte para el proceso de unión el cual debe ser similar pero no necesariamente igual al metal base ya que este material aportado se ajusta con el propósito de igualar las propiedades del metal base en su condición soldada o colada además de que si es una soldadura disímil el material de aporte será distinto a uno o a los metales implicados en la unión.

A parte de que este debe seleccionarse según las propiedades que aporte a la unión como la resistencia a la tensión, conductividad térmica o eléctrica, resistencia al impacto y corrosión, considerando la compatibilidad metalúrgica idónea para su aplicación y el costo que tenga.

Los materiales de aporte son manufacturados por métodos más complejos y eficaces ya que se tiene un gran control sobre su pureza y composición química, aparte de la adición de desoxidantes para garantizar la integridad de la soldadura, tienen forma de tramos rectos o varillas generalmente de 1 m o 36 plg de largo para procesos manuales y en forma de alambre de rollos o tramos continuos para procesos de mecanizado o automáticos, los diámetros van a depender del tipo de trabajo, para el caso de trabajos de con recubrimiento manual y altas corrientes usando hasta diámetros de 5 mm o 3/16 plg y para procesos más finos o pequeños desde 0.5 mm o 0.020 plg.

En la manipulación y uso de las varillas o alambres de material de aportación debe ser cuidadoso porque se deben de mantener limpio y libres de contaminantes durante su almacenamiento y durante el proceso de unión su extremo que este a elevada temperatura no debe salir del área o espacio protegido por el gas inerte.

La AWS dispone las especificaciones de las varillas y alambres de material de aportación para soldadura GTAW en base a las propiedades mecánicas y composición química de cada aportación, tomando en cuenta las condiciones en las que se deben aplicar.

Tabla 20.

Metales de aportación para soldadura GTAW según AWS

Norma AWS	Tema
A 5.2	Varillas de hierro y acero para soldadura con gas
A 5.7	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de cobre y aleaciones
A 5.9	Varillas y electrodos para soldadura por arco de acero al cromo y al cromo níquel, resistentes a la corrosión, desnudos y compuestos con núcleo de metal, y trenzado
A 5.10	Varillas y electrodos desnudos para soldadura de aluminio y aleaciones
A 5.13	Varillas y electrodos de soldadura para recubrimiento
A 5.14	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de níquel y aleaciones
A 5.16	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de titanio y aleaciones
A 5.18	Electrodos de acero dulce para soldadura por arco de metal y gas
A 5.19	Varillas y electrodos desnudos para soldadura de aleaciones de magnesio
A 5.24	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de zirconio y aleaciones

Nota. Recopilación de normas AWS que describen el material de aporte y su aplicación en la soldadura GTAW. Elaboración propia, realizado con Word.

4.3. Selección de gas protector

Durante el proceso de soldadura GTAW se usa un gas protector que aporta protección a la unión de impurezas o partículas contaminantes provenientes de la atmósfera, existe una amplia variedad de gases utilizados en la soldadura como el argón, hidrógeno, helio, entre otros, o en mezclas de estos.

La elección o aplicación de un gas de protección para soldadura se basa en el electrodo utilizado en la unión y en los metales involucrados en la soldadura.

4.3.1. Tipo de gas protector según el electrodo

En el uso de ciertos electrodos o aleaciones se pueden usar un solo tipo de gas protector, en otras ocasiones se pueden utilizar distintos tipos de gas y para otras ocasiones se pueden aplicar la mezcla o unión de dos gases para llevar a cabo la soldadura GTAW, pero el electrodo no es el único aspecto que se considera en la aplicación de un gas protector.

4.3.2. Tipo de gas protector según el metal a soldar

A partir del tamaño de sección o espesor del metal o metales que se soldaran se determina cual es el tipo de electrodo apropiado para llevar a cabo el proceso GTAW, que va de la mano con el gas protector especificado a usar según la AWS, por lo que la distribución de los gases inertes protectores para llevar a cabo la soldadura GTAW se reparte de la siguiente manera.

Tabla 21.*Especificación del uso de gas de protección según AWS*

Metal	Espesor o sección en plg	Electrodo	Gas protector
Aluminio	Todos	Puro o con zirconio	Argón o argón-helio
	Mayores a 1/8	Con torio, cerio o lantano	Argón o argón-helio
	Menores de 1/8	Con torio o zirconio	Argón
Cobre y aleaciones	Todos	Con torio, cerio o lantano	Helio
	Menores de 1/8	Puro o con zirconio	Argón
Aleaciones de magnesio	Todos	Puro o con zirconio	Argón
	Menores de 1/8	Con zirconio o torio	Argón
Níquel y aleaciones	Todos	Con torio, cerio o lantano	Argón
Aceros al carbono y baja aleación	Todos	Con torio, cerio o lantano	Argón o argón-helio
	Menores de 1/8	Puro o con zirconio	Argón
Acero inoxidable	Todos	Con torio, cerio o lantano	Argón o argón-helio
	Menores de 1/8	Puro o con zirconio	Argón
Titanio	Todos	Con torio, cerio o lantano	Argón

Nota. Recopilación de los gases de protección en soldadura GTAW según el material a soldar y el electrodo según norma AWS. Elaboración propia, realizado con Word.

4.4. Determinación del uso de soldadura GTAW

La soldadura GTAW es un excelente proceso de soldadura con muchas aplicaciones pero que no es utilizable para todo tipo de uniones, considerando que en ciertos aspectos otros procesos con igual o distinto principio de funcionamiento pueden ser una mejor elección para llevar a cabo la unión por esta razón es importante determinar las ventajas y desventajas que la soldadura

GTAW puede tener, lo cual ayuda a tomar la decisión de llevar a cabo este proceso.

4.4.1. Ventajas

La soldadura GTAW es uno de los procesos más utilizados en la actualidad por su aplicación en áreas industriales y no industriales por la gran variedad de ventajas que ofrece esta unión, como lo son las siguientes:

- Produce soldaduras autógenas económicas a altas velocidades
- Soldaduras de buena calidad generalmente sin defectos
- Permite controlar de forma independiente la fuente de calor
- Uso de fuentes de potencia relativamente bajas
- Se realiza la soldadura con cualquier posición, plana, vertical y horizontal
- Libre de salpicaduras que ocurren con otros procesos de soldadura
- Permite controlar de manera precisa las variables de soldadura
- No genera escoria, chispas, humo o salpicaduras
- Útil para casi todos los metales, incluso si son uniones disímiles
- Se realiza con o sin metal de aporte según sean los requerimientos
- Tiene un control excelente de la penetración de la pasada de raíz
- Permite controlar la adición de metal de aporte
- Las soldaduras formadas son altamente resistentes a la corrosión
- Buena visibilidad para soldar

4.4.2. Desventajas

Esta soldadura GTAW tiene ciertos aspectos negativos o limitaciones provocando que el proceso no sea útil en ciertas aplicaciones por lo que la mejor

decisión sería usar otro tipo de soldadura, algunas limitaciones que tiene este tipo de soldadura son las siguientes:

- Proceso que requiere un operador con bastante destreza y coordinación en comparación a una soldadura por arco de metal y gas o de arco de metal protegido cuando se suelda manualmente.
- Es difícil proteger debidamente la zona de soldadura en lugares con corrientes fuertes de aire.
- Tiene un alto índice de rayos UV no recomendables para las personas haciendo necesario que usen un equipo de seguridad.
- Las tasas de deposición son más bajas que las que pueden alcanzarse con procesos de soldadura por arco con electrodo consumible.
- Para espesores mayores a los 10 mm o 3/8 plg, resulta menos económico que los otros procesos como el de arco con electrodo consumible.
- Su portabilidad es casi nula ya que requiere del desplazamiento de cilindros o recipientes de gas.
- Tiene una velocidad de disposición baja y proceso lento.

CONCLUSIONES

1. En síntesis, se estudió que la soldadura GTAW es un proceso de unión de materiales de los más utilizados en la industria en la actualidad debido a su gran campo de aplicación en la mayoría de los metales para la elaboración y reparación o mantenimiento de distintos objetos o piezas haciendo uso de determinados electrodos a base de tungsteno en estado puro o aleado y dependiendo de la ocasión usando un gas de protección durante la soldadura.
2. La metalurgia es una ciencia conformada por las operaciones y técnicas industriales para el tratamiento de los metales obtenidos de minerales la cual es la base de la manufactura de los electrodos ya que estos son varillas o alambres de cierto metal o aleación que son calentados para realizar una soldadura produciendo el arco con los metales hasta su punto de fusión aplicando o no un material o metal de aporte para añadir propiedades mecánicas a la unión.
3. Los gases utilizados en este tipo de soldadura sirven como un agente protector de la contaminación de la atmósfera donde se realice la unión dejando un trabajo con mejor acabado y limpieza.

4. Para la soldadura GTAW se detalló que los electrodos pueden ser fabricados de tungsteno puro o aleados en cierto porcentaje junto con este elemento, estos están divididos según su nomenclatura AWS, donde el electrodo EWP está conformado únicamente de tungsteno, el EWCe que esta aleado con óxido de cerio en un 1 % o 2 %, el EWLa aleado con óxido de lantano en 1 %, 1.5 % o 2 %, el EWTh que esta aleado con óxido de torio en 1 % o 2 %, electrodo EWZr aleado con óxido de zirconio en un 0.25 % y finalmente el EWG que designa aleaciones de distintos metales no comprendidos por los anteriores como el óxido de itrio o de magnesio para distintos porcentajes.
5. Los gases utilizados en la soldadura GTAW son inertes, utilizados como protectores de la unión donde se detalló que los más usados son el argón y helio, aunque se puede aplicar el hidrógeno en conjunto con los dos anteriores por medio de mezclas, considerando que para aplicarlos se debe tomar en cuenta la boquilla, el tamaño de charco de soldadura, la dirección o cantidad de are en el entorno y el flujo admisible para cada gas.
6. Presentación de una guía sobre la soldadura GTAW donde se describen los materiales aptos para este tipo de soldadura, los gases de protección que se deben o pueden utilizar, juntamente con los métodos para identificar que electrodos son aptos para la unión considerando el espesor o tamaño de sección, la nomenclatura que tienen en norma AWS y su equivalencia ISO o los colores que caracterizan cada tipo.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la soldadura GTAW es un proceso de unión bastante conveniente para bastantes aplicaciones ya que se puede soldar la mayor parte de los metales, incluyendo variaciones de acero, aceros al carbono, aleaciones y aceros inoxidable, aleaciones ferrosas y aleaciones de cobre, manganeso, aluminio, bronce, latón y níquel.
2. Aprovechar la soldadura GTAW para uniones que involucran metales reactivos, refractarios y aleaciones de metales pertenecientes al grupo de no ferrosos, porque es el único capaz de llevar a cabo esos trabajos, aparte de considerar que este tipo de soldadura no es conveniente para unir metales como el cinc, cadmio o el estaño.
3. Considerar distintos aspectos en la elección de un electrodo para soldadura, aparte de conocer el material y la aleación del que puede estar manufacturado debe tomar en cuenta el diámetro que tenga, si se utilizara un material de aporte, el tipo de corriente ya sea directa o indirecta y su intensidad.
4. Hacer uso del argón y el helio como gases de protección en rangos de flujos de 15 a 35 p³/h y 30 a 50 p³/h respectivamente para no dañar la unión y para ocasiones donde se requieran características intermedias entre ambos aplicar una mezcla.

5. Emplear el hidrógeno para realizar mezclas de este con el argón y helio en la protección del arco haciéndolo bastante útil para aumentar el calor del proceso, la velocidad de soldadura, valor de penetración y mejorar la tensión del arco.

6. Aplicar soldadura GTAW considerando la facilidad de inicio del arco, la cantidad de corriente, el acabado que tendrá y su limpieza, la capacidad de penetración, si es necesario utilizar un gas de protección y el material involucrado para poder determinar que electrodo es el más adecuado para usarlo ya sea fabricado únicamente de tungsteno o este aleado según la clasificación AWS.

7. Conocer la nomenclatura y código de colores según la norma AWS y su equivalente en ISO que tienen los electrodos es lo más idóneo ya que dependiendo del lugar donde se comercialicen se identificarán generalmente en una de esas dos formas haciendo que sea más fácil su búsqueda.

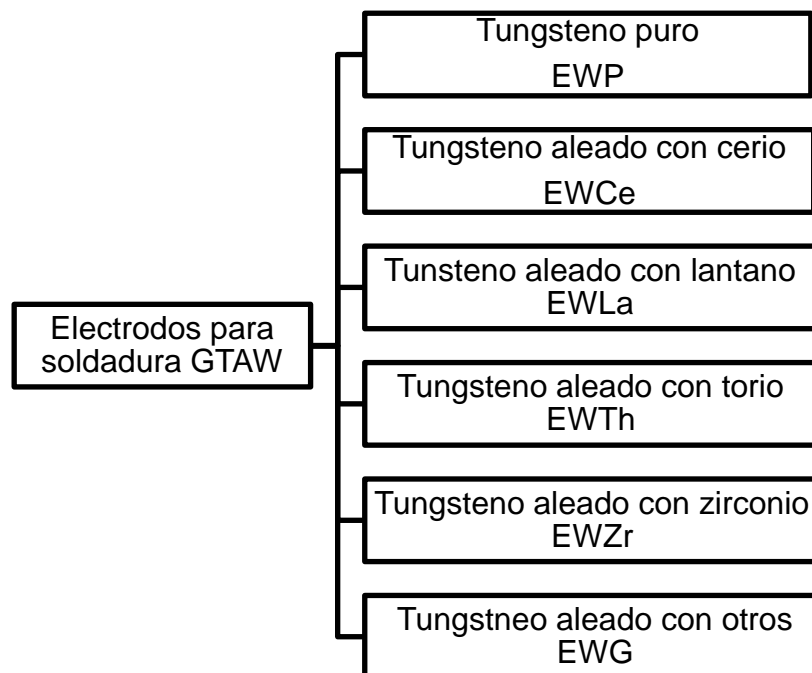
REFERENCIAS

- American Welding Society. (1996). *Manual de Soldadura Tomo 1*. Pearson Educación. <https://dokumen.tips/documents/manual-de-soldadura-vol-1-awspdf.html?page=3>
- Fulcer, J. (1 de septiembre de 2008). *Todo lo que usted siempre quiso saber sobre GTAW*. <https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/arcwelding/todo-lo-que-usted-siempre-quiso-saber-sobre-gtaw>
- Intech Peru Welding. (21 de febrero de 2023). *Clasificación de electrodos de tungsteno*. https://www.linkedin.com/pulse/clasificaci%C3%B3n-de-electrodos-tungsteno-proceso-gtaw/?trk=article-ssr-frontend-pulse_more-articles_related-content-card&originalSubdomain=es

APÉNDICES

Apéndice 1.

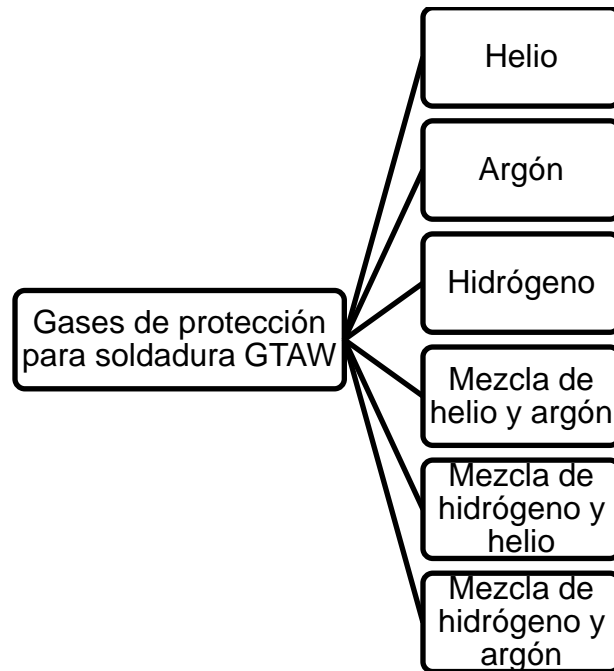
Electrodos para soldadura GTAW



Nota. Resumen de electrodos utilizados en soldadura GTAW según AWS. Elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2.

Gases de protección para soldadura GTAW



Nota. Resumen de gases de protección utilizados en soldadura GTAW según AWS. Elaboración propia, realizado con Word.

ANEXOS

Anexo 1.

Electrodo EWP



Nota. Electrodo EWP para soldadura GTAW. Obtenido de AMAZON (2023). *Electrodo de tungsteno de soldadura TIG de tungsteno puro.* (<https://www.amazon.com/-/es/YESWELDER-Electrodo-tungsteno-soldadura-pulgadas/dp/B07M9MP9S8?th=1>), consultado el 29 de abril de 2023. De dominio público.

Anexo 2.

Electrodo EWCe-2



Nota. Electrodo EWCe-2 para soldadura GTAW. Obtenido de AMAZON (2023). *Electrodo de soldadura TIG de tungsteno 2 % ceriado.* (<https://www.amazon.com/YESWELDER-Electrodo-soldadura-tungsteno-unidades/dp/B07LG7R435?th=1>), consultado el 29 de abril de 2023. De dominio público.

Anexo 3.

Electrodo EWLa-1.5



Nota. Electrodo EWLa-1.5 para soldadura GTAW. Obtenido de AMAZON (2023). *Electrodo de soldadura TIG 1.5 % lantano.* (<https://www.amazon.com/-/es/Electrodo-tungsteno-soldadura-lantano-YESWELDER/dp/B07MD7LB79>), consultado el 29 de abril de 2023. De dominio público.

Anexo 4.

Electrodo EWLa-2



Nota. Electrodo EWLa-2 para soldadura GTAW. Obtenido de AMAZON (2023). *Electrodos de soldadura de tungsteno 2 % lantano.* (https://www.amazon.com/Tungsten-Electrodos-soldadura-tungsteno-lantano/dp/B013KZ042A/ref=sr_1_3_sspa), consultado el 29 de abril de 2023. De dominio público.

Anexo 5.

Electrodo EWTh-2



Nota. Electrodo EWTh-2 para soldadura GTAW. Obtenido de AMAZON (2023). *Electrodo de soldadura TIG de tungsteno 2 % toriado.* (<https://www.amazon.com/-/es/YESWELDER-Electrodo-soldadura-tungsteno-unidades/dp/B07LFG4NYG?th=1>), consultado el 29 de abril de 2023. De dominio público.

Anexo 6.

Electrodo EWZr



Nota. Electrodo EWLa-2 para soldadura GTAW. Obtenido de AMAZON (2023). *Electrodos de soldadura de tungsteno 2 % lantanado.* (https://www.amazon.com/Tungsten-Electrodos-soldadura-tungsteno-lantanado/dp/B013KZ042A/ref=sr_1_3_sspa), consultado el 29 de abril de 2023. De dominio público.

Anexo 7.

Electrodo EWGr



Nota. Electrodo EWG para soldadura GTAW. Obtenido de AMAZON (2023). *Electrodo de tungsteno no radioactivo púrpura.* (https://www.amazon.com/-/es/dp/B07M5WBL92/ref=twister_B09HJX6KZ1?encoding=UTF8&th=1), consultado el 29 de abril de 2023. De dominio público.

