

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA GTAW PARA ACEROS
INOXIDABLES Y ALUMINIO.**

**ELABORACIÓN DEL RÉGIMEN DE SOLDADURA EN
MATERIALES NO FERROSOS.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
MECÁNICA, INGENIERÍA MECÁNICA**

CARLOS PAÚL MOSQUERA SUQUILLO

carlos.mosquera@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. MARIO GERMAN GRANJA RAMÍREZ, MSc.

mario.granja@epn.edu.ec

DMQ, Febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Carlos Paúl Mosquera Suquillo declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Carlos Paúl Mosquera Suquillo

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Carlos Paúl Mosquera Suquillo, bajo mi supervisión.

Ing. Mario Granja, MSc.

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



Carlos Paúl Mosquera Suquillo

Mario Germán Granja Ramírez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que fueron parte de mi desarrollo profesional y personal, en especial a mi familia.

A mis padres, Carlos Mosquera y Carmen Suquillo, por motivarme con sus palabras de aliento, su amor y apoyo incondicional evitando que desista y siga adelante siendo perseverante, siendo pilares fundamentales en mi vida.

A mi hija, Melissa Mosquera, que es la mayor motivación que he tenido por salir adelante, me inspira cada día a ser una mejor persona y seguir luchando por mis objetivos, que el futuro nos depare una vida llena de alegría juntos.

A mis amigos y familia, que siempre me han apoyado con sus palabras y consejos en momentos complicados.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud a la Escuela Politécnica Nacional por la oportunidad de realizar mis estudios en la Facultad de Ingeniería Mecánica; facultad en la cual me inculcaron valores, conocimientos y me entregaron muchas experiencias que han permitido mi desarrollo profesional.

A mis maestros quienes compartieron sus conocimientos, vivencias y me aconsejaron para lograr mis objetivos.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí momentos amenos, alegres y de hermandad dentro de la facultad los cuales me han brindaron su apoyo para llegar hasta el final.

Agradezco al Ing. Mario Germán Granja Ramírez, MSc., quien con su dirección, guías y conocimientos permitieron desarrollar satisfactoriamente este proyecto.

A la empresa DINSECOMEC, en la cual pude desarrollar mis prácticas para concluir con mi trayectoria en este proceso de titulación, al Gerente General Luis Suquillo y a todos los que son parte de esta empresa, por compartirme su conocimiento y experiencia en el campo laboral.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	5
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	9
1.1 Objetivo general.....	10
1.2 Objetivos específicos	10
1.3 Alcance	10
1.4 Marco teórico.....	10
1.4.1 Principios de la soldadura GTAW	10
1.4.1.1 Historia del desarrollo del proceso.....	11
1.4.1.2 Requerimientos de equipos.....	12
1.4.1.3 Aplicabilidad.....	13
1.4.1.4 Ventajas y desventajas.....	15
1.4.1.5 Principios de operación	15
1.4.2 Gases de protección	17
1.4.3 Electrodo.....	20
1.4.3.1 Material del electrodo	20
1.4.3.2 Tamaño del electrodo y forma de punta	22
1.4.3.3 Porta mordazas y boquillas de gas	25
1.4.3.4 Polaridad.....	26
1.4.4 Características de las fuentes de poder	28
1.4.5 Antorchas.....	31
1.4.6 Acción de Rectificación y Limpieza en AC	34
1.4.7 Alimentadores de Alambre de Aporte	35
1.4.8 Soldadura de metales no ferrosos	36
2 METODOLOGÍA.....	40
2.1 Análisis de los parámetros de operación más relevantes del proceso GTAW.....	40
2.1.1 Establecimiento de los parámetros de soldadura.....	40
2.1.2 Composición del Electrodo y Forma de la Punta	41
2.1.3 Gas de Protección y Caudal de Flujo	41
2.2 Preparación para la Soldadura	42
2.2.1 Diseño de la Junta.....	42
2.2.1.1 Juntas a Tope	42

2.2.1.2 Juntas Traslapadas	44
2.2.1.3 Juntas en Esquina	45
2.2.1.4 Juntas en T	45
2.2.1.5 Junta de Reborde	46
2.3 Manejo de la Antorcha y Adición del Metal de Aporte.....	46
2.4 Comparación y selección del gas de protección	48
2.5 Descripción de la soldadura manual.....	49
2.5.1 Técnicas en la soldadura manual	49
2.5.2 Métodos para Arrancar el Arco	50
2.5.3 Gas de Respaldo, Remolque Protector y Cámaras de Atmósfera	51
2.6 Descripción de la soldadura automática.....	53
2.6.1 Técnicas en la soldadura automática	54
2.6.1.1 Soldadura a Máquina Básica	54
2.6.1.2 Establecimiento de Parámetros en la Soldadura Automática.	54
2.6.1.3 Control de Velocidad de Avance	55
2.6.1.4 Control de Velocidad de Alimentación de Alambre	55
2.6.1.5 Control de Voltaje de Arco (Longitud de Arco)	56
2.6.1.6 Programadores de Soldadura	58
2.6.1.7 Corriente Pulsante, Alimentación de Alambre Pulsante.....	59
2.6.1.8 Instalación, Protección de Respaldo.....	60
2.6.1.9 Protección Auxiliar	61
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
3.1 Resultados	62
3.1.1 Aluminio y sus aleaciones.....	62
3.1.2 Aleaciones de Base Níquel	64
3.1.3 Aleaciones de Titanio	67
3.1.4 Cobre y Aleaciones de Cobre	70
3.1.5 Magnesio y Aleaciones de Magnesio.	74
3.2 Conclusiones	77
3.3 Recomendaciones.....	79
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una ardua investigación y recopilación de información respecto al proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno no consumible y gas protector, conocido por sus siglas en inglés como GTAW o TIG. Este proceso permite la obtención de soldaduras de alta calidad con la mayoría de los metales no ferrosos, por tanto, se indica los equipos para soldar, los tipos de electrodos, los materiales de aporte para cada metal, los gases de protección para este proceso, etc.

La información recolectada es analizada y organizada para poder identificar los parámetros más importantes en el proceso de soldadura. Finalmente se realiza tablas con los valores aproximados de cada parámetro considerado importante para la realización de la soldadura en diferentes requerimientos, con el fin de que se obtengan cordones de buena calidad en los metales como el aluminio, cobre, titanio, magnesio, níquel y sus aleaciones.

PALABRAS CLAVE: soldadura, GTAW, TIG, metales no ferrosos, parámetros, aluminio.

ABSTRACT

In this work an arduous research and information gathering is carried out regarding the arc welding process with non-consumable tungsten electrode and shielding gas. This process is known by its acronym in English as GTAW or TIG. This welding allows obtaining high quality welds with most of the non-ferrous metals, therefore, the welding equipment, the types of electrodes, the filler materials for each metal, the shielding gases for this process, and others are indicated.

The information collected is analyzed and organized in order to identify the most important parameters in the welding process. Finally, tables are made with the approximate values of each parameter considered important for the performance of welding in different requirements. To obtain good quality beads in metals such as aluminum, copper, titanium, magnesium, nickel and their alloys.

KEYWORDS: welding, GTAW, TIG, non-ferrous metals, parameters, aluminum.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La soldadura por GTAW se caracteriza por la capacidad de soldar una gran cantidad de metales, obteniendo una buena calidad de suelda. Este es un proceso preferido en muchas aplicaciones por permitir realizar diferentes trabajos y sueldas en la industrial en general. Por ello se requiere profundizar más acerca del proceso y de los posibles materiales a soldar. En este apartado se investiga y recolecta información importante para la soldadura de materiales no ferrosos para determinar los factores más importantes dentro de este proceso de soldadura con el fin de obtener soldaduras limpias libres de contaminantes y funcionales.

En este trabajo se recopilará los parámetros aproximados para soldar los materiales no ferrosos como lo son: el aluminio, las aleaciones de base níquel, las aleaciones de titanio, el cobre y magnesio con sus aleaciones, de acuerdo con los diferentes requerimientos. Se organiza la información en tablas que agrupan diferentes consideraciones para soldar estos metales no ferrosos.

Inicialmente se centra en realizar una investigación con mayor profundidad del proceso GTAW. Se menciona el origen del proceso, las partes que componen a los sistemas actuales, elementos que se usan dentro de la soldadura, gases de protección posibles, los tipos de electrodos disponibles en el mercado, la acción de la corriente tanto en AC como en DC y materiales de aporte. Toda esta información es relacionada de acuerdo con la aplicabilidad, ventajas y desventajas de usar este proceso en ciertas aplicaciones o materiales que se desean soldar. En este punto se hace una introducción a la capacidad de soldabilidad de los metales no ferrosos mencionados indicando también las aleaciones que se pueden trabajar, se presentan las características de los metales y acciones a considerar cuando se desea soldar los metales no ferrosos.

En la metodología se presenta la soldadura de metales no ferrosos por equipos de soldadura manual y automática, en los cuales se indica como cambian las técnicas de soldadura por los metales a soldar, entre los cuales se toma consideraciones importantes que pueden afectar la soldadura como lo son las juntas, velocidades, protección, formas de arrancar el arco, entre otros.

Finamente en los resultados se realizan tablas con parámetros aproximados, valores o rangos, de todas las investigaciones hechas para determinar los parámetros más importantes a tomar en cuenta y las técnicas de soldadura en el proceso GTAW. Se indica dentro de cada material no ferroso cuales son los parámetros aproximados, valores

o rangos, en ciertas juntas y posiciones para soldar, para obtener buenos cordones.

1.1 Objetivo general

Estudiar el proceso de soldadura GTAW para aceros inoxidable y aluminio. materiales no ferrosos.

1.2 Objetivos específicos

- Recopilar información sobre el proceso de soldadura GTAW.
- Determinar los factores y variables más relevantes de la soldadura GTAW.
- Organizar la información de manera estructurada con los factores y parámetros involucrados en el proceso GTAW.
- Analizar los parámetros del proceso GTAW para la soldadura de materiales no ferrosos, aluminio y sus aleaciones.
- Elaborar tablas con los parámetros recomendados para soldar materiales no ferrosos, aluminio y sus aleaciones.

1.3 Alcance

Estructurar la información del proceso de soldadura con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa y la elaboración de tablas donde se recomienda los valores de los parámetros de soldadura para materiales no ferrosos como el aluminio.

En el presente proyecto se estudiará la influencia que tiene sobre la calidad de las juntas soldadas con GTAW, los factores/grupo de parámetros, y los parámetros como: tipo de material, velocidad de avance, tipo de corriente AC o DC, onda senoidal o cuadrada, frecuencia, tipo de punta del electrodo de tungsteno, corriente, voltaje, gas de protección, caudal, ángulo de la antorcha alimentación. El resultado del presente trabajo se sintetizará en tablas con información organizada para la soldadura de materiales no ferrosos, aluminio y sus aleaciones.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Principios de la soldadura GTAW

El proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno (GTAW), el cual también es conocido como el proceso TIG (Tungsten Inert Gas), es un proceso derivado del arco eléctrico pero el calor es establecido entre un electrodo de tungsteno y el elemento a ser

soldado, como se puede ver en la figura 1.1. La zona del arco es rellenada con un gas inerte como medio de protección entre el electrodo de tungsteno y la pieza de metal, esto evita la oxidación y provee una trayectoria conductiva para el paso de la corriente. [1]

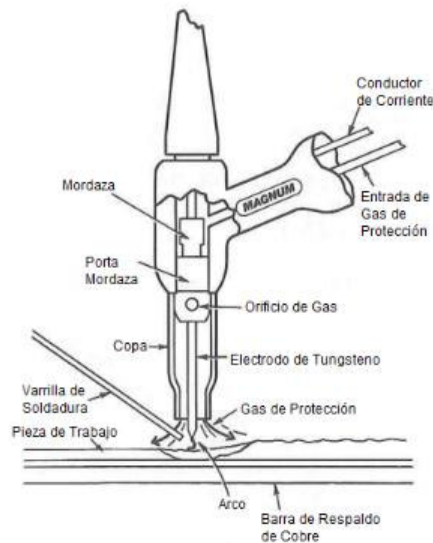


Figura 1.1. Soldadura por arco con electrodo de Tungsteno bajo protección gaseosa.

En la actualidad el proceso GTAW ha sido muy desarrollado por lo que es capaz de soldar la mayoría de los metales y aleaciones. Se puede soldar sin material de aporte y en caso de requerir añadir el metal de aporte este dependerá del tamaño y la forma de la junta. A pesar de que la tasa de deposición del material de aporte es independiente de la energía del arco (Voltaje vs. Corriente), esta energía limitada a la tasa de deposición. [1]

En este proceso se puede soldar en un amplio rango a los metales, desde láminas de 0.005" de espesor a 2 o 3 amperios hasta placas de 1" a 1000 amperios con una pasada. [2]

1.4.1.1 Historia del desarrollo del proceso

Los primeros en soldar con un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno no consumible y una pieza de trabajo (metal base) en un espacio llenado con gas inerte como el argón y el helio, fueron H. Hobart y P. Devers. Obteniendo una patente por este nuevo proceso en 1926; sin embargo, este proceso no fue adaptado comercialmente principalmente porque los costos de los gases inertes eran muy elevados. [3]

El proceso GTAW fue perfeccionado por Russel Meredith en colaboración con V. Pavlecka en 1941, quienes también desarrollaron la primera antorcha para sostener al electrodo de tungsteno y entregar un gas inerte por medio de una boquilla que rodeaba al electrodo [3], proporcionando un medio de protección al arco de soldadura es decir a la pileta de soldadura, al electrodo y al metal a soldar.

En 1942, se emitió una patente a Meredith y el proceso desde ese entonces es conocido como soldadura “Heliarc”. Aunque en un inicio el proceso se desarrolló utilizando helio, el argón pronto lo reemplazaría siendo el gas de protección más utilizado debido a su bajo costo y la obtención de un arco más estable. [3]

El desarrollo de este proceso que tiempo después sería conocido como GTAW fue con el objetivo de poder realizar la soldadura de materiales como las aleaciones de aluminio y magnesio en la aeronáutica. El primer desarrollo para soldar aleaciones de magnesio fue realizado con DCEP (polaridad inversa) debido a que proporciona una alta acción de limpieza necesaria en la superficie para este material requiriendo utilizar fuentes de poder en DC tipo moto-generator, sin embargo, la mayor parte del calor se presentaba en el electrodo de tungsteno. Con el desarrollo de la corriente AC en las fuentes se pudo usar los pulsos de la corriente para proporcionar esta acción de limpieza con generar un alto calor en el meta base para la soldadura. [3]

1.4.1.2 Requerimientos de equipos

El proceso GTAW al trabajar con altas corrientes se requiere de una antorcha refrigerada por gas o agua para sostener el electrodo de tungsteno el cual está conectado a la fuente de poder a través del cable de alimentación. En refrigeración con gas se trabaja con corrientes bajas, donde el cable de alimentación se encuentra dentro de la manguera de gas, el cual proporciona un adecuado aislamiento para el conductor [4], como se indica en la figura 1.2.

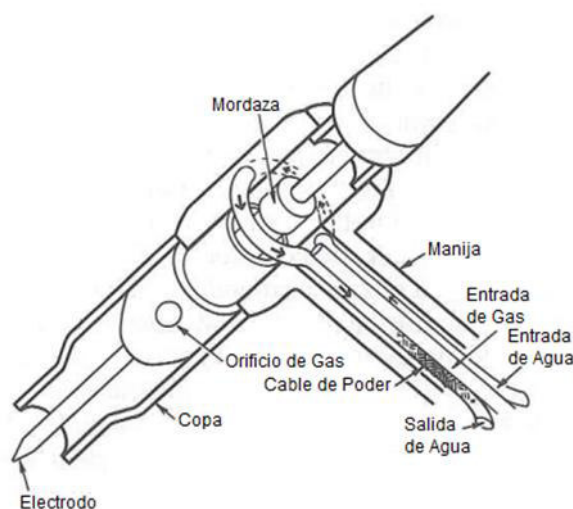


Figura 1.2. Antorcha GTAW enfriada con gas.

Las antorchas refrigeradas con agua, representadas en la figura 1.3, requieren de tres mangueras, siendo la primera para el suministro de agua, la segunda para el retorno del

agua y la tercera para el suministro del gas. El cable de alimentación generalmente se encuentra en la maguera de retorno de agua, siendo enfriado con agua permitiendo el uso de un conductor más pequeño a comparación que el utilizado en la antorcha refrigerada por gas [4], al trabajar ambos a la misma corriente.

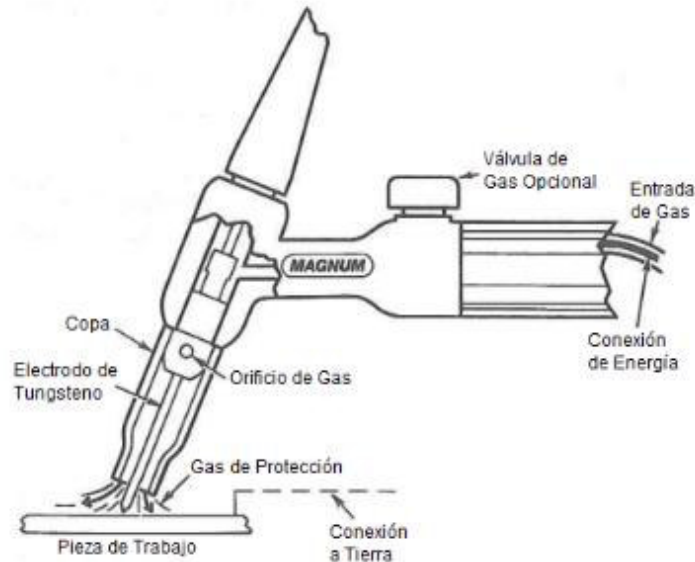


Figura 1.3. Antorcha GTAW enfriada con agua.

1.4.1.3 Aplicabilidad

El proceso GTAW produce soldaduras limpias y de una muy buena calidad, en la mayoría de los metales y aleaciones. Este es un proceso lento a comparación del resto de procesos, no se usaría al momento de requerir soldar metales que necesitas una alta tasa de deposición.

En GTAW a través de la fuente de alimentación se puede trabajar con corriente constante (DC) o alterna (AC), las cuales pueden o no requerir capacidades de pulsación. En el caso del sistema de refrigeración por agua, la antorcha refrigerada por agua prefiere un circulador enfriador de agua sobre el uso de agua del grifo [4].

En el proceso GTAW automático o semiautomático, requiere de un equipo extra que permita el movimiento mecánico de la antorcha en relación con la pieza de trabajo, así como la alimentación del cable en la piletta de soldadura. Para un sistema completamente automático se requiere un programador, microprocesador, el cual controlara: la corriente de soldadura, velocidad de desplazamiento y velocidad de alimentación del alambre de aporte. [5]

La soldadura puede requerir de un suministro de un gas inerte que generalmente es argón, helio o una mezcla de estos. El gas o gases pueden ser suministrados desde

cilindros o recipientes líquidos, requiriendo de un regulador de presión y un flujómetro [5]. En la figura 1.4 se representa un diagrama esquemático de la configuración completa de la soldadura GTAW.

El proceso GTAW es aplicado en aquellas aleaciones donde exista zonas críticas de contaminación atmosférica. Entre estos materiales tenemos: materiales reactivos y refractarios como el titanio, zirconio y columbio, en donde una mínima cantidad de oxígeno o hidrógeno puede causar la pérdida de ductilidad y resistencia a la corrosión. [5]

Soldaduras que requieran una alta calidad, así como evitar la porosidad y fisuramiento, son las superaleaciones de base níquel. También es un proceso adecuado para soldar láminas de espesores delgados de todos los metales soldables debido a que puede contralar amperajes muy bajos (2 a 5 amperios), los cuales son requeridos para este tipo de láminas.

Metales o aleaciones de bajos puntos de fusión, como las aleaciones de zinc, estaño y plomo [4], no pueden ser soldados por este proceso debido que llegan a trabajar con altas temperaturas dificultando el control del arco y la piqueta.

De un estudio reciente del proceso GTAW indica que, para soldar placas pesadas, de un espesor de 1 a 1½” (25 a 38 mm), se realiza por arco sumergido o arco de tungsteno sumergido. Este proceso consiste en colocar en una máquina una antorcha refrigerada por agua con un electrodo de hasta 1/2” (13 mm) de diámetro de modo que la punta esté debajo de la superficie superior de la placa que este siendo soldada [6]. La fuerza proporcionada de una corriente de aproximadamente 1000 amperios empuja el metal fundido lejos y detrás del electrodo a medida que avanza la soldadura. Completar una soldadura se puede lograr en dos pasadas con poca o ninguna adición de metal de aporte.

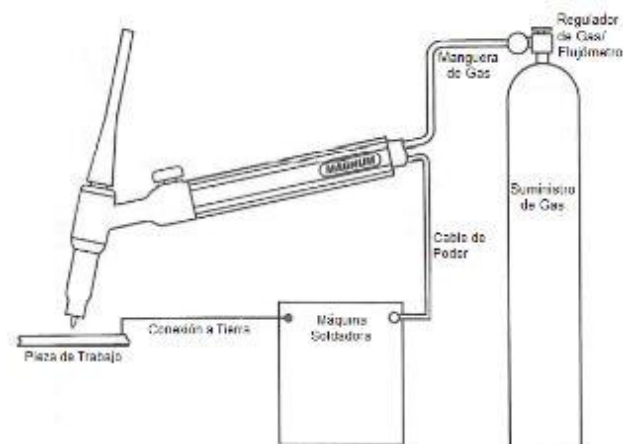


Figura 1.4. Configuración completa de la soldadura GTAW. [5]

1.4.1.4 Ventajas y desventajas

Como se mencionó previamente este proceso tiene como ventaja principal que las soldaduras obtenidas son de alta calidad en todos los metales y aleaciones soldables. Esta característica se debe a que el gas inerte protege al metal fundido de la contaminación cubriendo el arco y la zona de soldadura. Una excepción son las aleaciones de muy baja fusión las cuales no presentan esta ventaja por la dificultad de controlar el arco. También, se tiene como ventaja que se puede agregar el material de aporte a la pileta de soldadura independientemente de la corriente del arco, en comparación a otros procesos de soldadura por arco donde la tasa de deposición esta relacionada con la corriente del arco [7]. Entre otras ventajas se puede mencionar que presentan muy bajas salpicaduras, son capaces de soldar materiales muy delgados y se adaptan a una variedad de aplicaciones automáticas y semiautomáticas.

Una desventaja de este proceso es la baja tasa de deposición de metal de aporte y que se requiere una mayor habilidad del operador, por tanto, siendo este proceso de soldadura generalmente más costoso que otros. [7]

1.4.1.5 Principios de operación

En el proceso GTAW, el arco eléctrico se establece entre el electrodo de tungsteno y el metal base que será soldado, el cual, está rodeado por una atmosfera de gas inerte. El calor desarrollado en el arco, producto de la corriente y del voltaje, es generado en el terminal positivo (ánodo) siendo aproximadamente el %70 del calor del arco. [8]

En la figura 1.5 se indica como la corriente del arco se transporta primariamente por los electrones, los cuales son emitidos por la terminal negativa caliente (cátodo) y obtenida por la ionización de los átomos de gas.

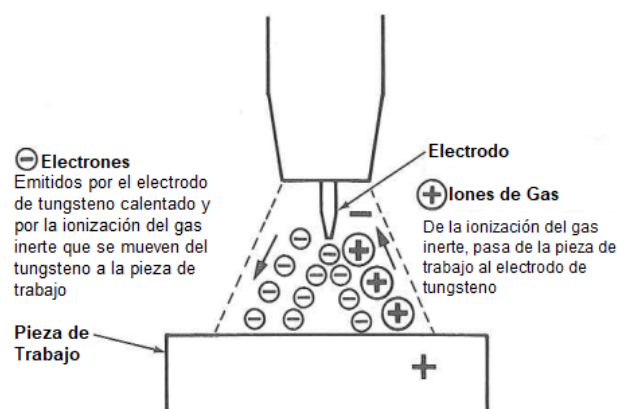


Figura 1.5. Corriente del arco DCEN, flujo de electrones.

Los electrones son atraídos por el ánodo, generando el 70% del calor del arco y una porción muy pequeña de corriente es transportada por iones de gas positivos atraídos hacia el cátodo, generando aproximadamente el 30% del calor del arco [1]; en la figura 1.6 se muestra como varían las características de los electrodos según el tipo de corriente usado. Cuando los electrones emitidos entran o interactúan con el ánodo, el cátodo pierde calor, por esta razón es que se desarrolla una mayor cantidad de calor en el ánodo que en el cátodo. [8]

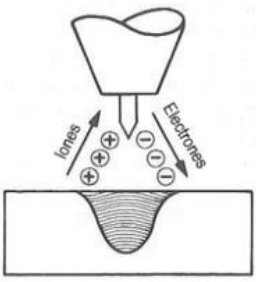
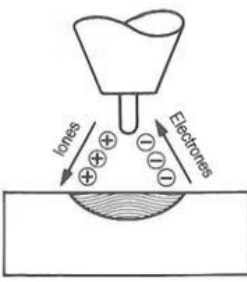
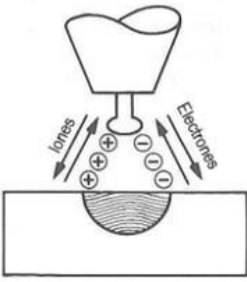
Tipo de corriente	DCEN	DCEP	AC (balanceado)
Polaridad del electrodo	Negativo	Positivo	
Flujo de Electrodo e Iones			
Características de Penetración			
Acción limpiadora de óxido	No	Si	Si - Una vez cada medio ciclo
Balace de calor en el arco (aprox.)	70% Pieza 30% Electrodo	30% Pieza 70% Electrodo	50% Pieza 50% Electrodo
Penetración	Profunda; estrecha	Poco profunda; ancha	Media
Capacidad del electrodo	Excelente e.g., 318 mm (1/8 pulg.) - 400 A	Pobre e.g., 6.35 mm (1/4 pulg.) - 120 A	Buena e.g., 3.18 mm (1/8 pulg.) - 225 A

Figura 1.6. Comportamiento de los iones y electrones según el tipo de corriente.

El voltaje a través del arco está formado por tres componentes: el voltaje del cátodo, el voltaje de la columna del arco y el voltaje del ánodo. El voltaje total del arco, en general, aumenta con la longitud del arco como se observa en la figura 1.7, no obstante, la corriente y el gas de protección también tienen efectos en el voltaje. El voltaje total se puede medir fácilmente, pero no se ha tenido éxito al tratar de medir los voltajes del cátodo y ánodo con precisión [9]. En la curva presentada se puede llegar a obtener un valor aproximado al voltaje total, que es igual a la suma del voltaje del cátodo y el ánodo, si se extrapola a la longitud del arco a cero. De esta manera, en el cátodo de tungsteno usando argón a 200 y 300 amperios, se tiene un voltaje total entre 7 y 10 voltios respectivamente.

En este proceso se prefiere que el calor sea en mayor cantidad en el metal base, el cual debe ser el ánodo, operando comúnmente en modo DCEN (polaridad negativa) donde el electrodo de tungsteno es el cátodo; entregando el calor donde se necesita más es decir en la pieza a soldar. La ionización del gas inerte, entrega calor de la pieza de trabajo al electrodo de tungsteno.

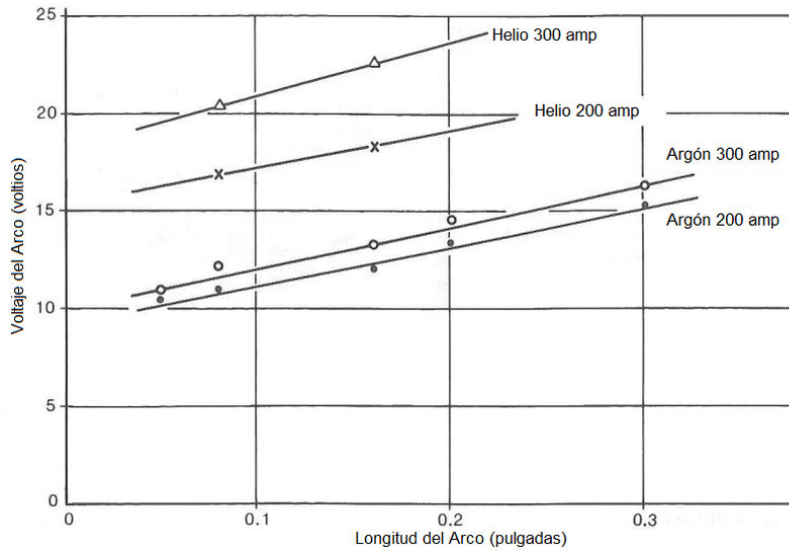


Figura 1.7. Voltaje de Arco vs. Longitud de Arco. [9]

1.4.2 Gases de protección

EL proceso GTAW nos permite usar cualquier gas inerte para soldadura. En la figura 1.8 se puede apreciar la curva característica de voltaje-longitud de arco donde se compara su comportamiento para cinco gases inertes en corrientes de 300 amperios con un electrodo de tungsteno como cátodo y una pieza de titanio como ánodo [10]. La curva característica voltaje-corriente de arco se muestran en la figura 1.9, para las mismas condiciones de trabajo.

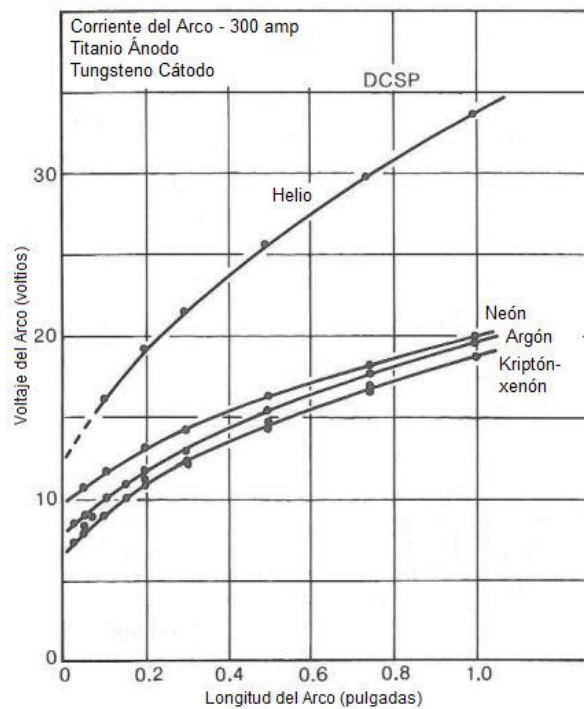


Figura 1.8. Voltaje de arco vs. longitud de arco para diferentes gases de protección. [10]

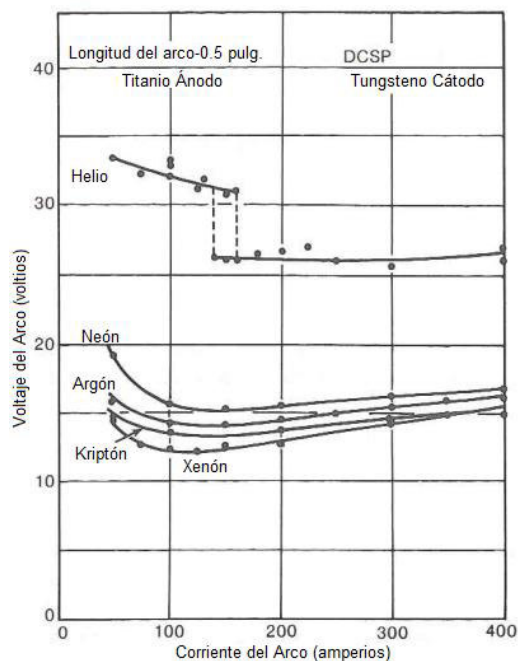


Figura 1.9. Voltaje vs. Corriente de arco para cinco gases inertes. [10]

El comportamiento de los gases es similar, pero el helio presenta curvas con un voltaje mucha más alta que el resto de los gases. Como resultado de estas comparaciones solo el argón y el helio son comercialmente usados porque tienen características satisfactorias en las soldaduras y son más abundantes y mucho menos costosos que los otros gases inertes. Las características físicas y costos para los gases inertes están listados en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Propiedades y Costos aproximados de los Gases Inertes. [10]

Gas	Peso Atómico	Densidad Porcent. de aire	Porcent. de Atmosfera	Costo Aprox. \$/pies ³	Costo ⁽¹⁾ \$/h
Argón	40	130	0.934	0.043 (Cilindro de 45 gal. Liq.) 0.03 (Bulk Liq.)	1.39 0.90
Helio	4	13	0.00052 De Gas Natural	0.123 (Cilindro)	9.22
Neón	20	65	0.00182	4.00	120.00
Kriptón	84	273	0.000114	20.00	600.00
Xenón	131	425	0.000005	250.00	7500.00

(1) Valores basados en un caudal de 30 pies³/h para todos los gases excepto el helio que está basado con un caudal de 75 pies³/h.

El argón usado para soldadura es refinado a purzas mayores que 99.99%. Este constituye aproximadamente el 1% de la atmósfera de la tierra, la cual provee una

ilimitada fuente de gas a través de la licuefacción y separación desde el aire. El helio es transportado en grandes camiones aislados a $-184\text{ }^{\circ}\text{C}$ y pueden ser suministrados al usuario final como líquido o gas comprimido en cilindros [5]. Si se requiere grandes volúmenes, el argón líquido puede ser suministrado a un costo significativamente más bajo que el gas argón. Sin embargo, se debe instalar un equipo para almacenar el argón líquido, vaporizarlo y distribuirlo en las áreas a usar. Se utilizan también contenedores portátiles de líquidos de 45 galones, ubicados en zonas donde el gas es utilizado y no requieren de un tanque de almacenamiento y un sistema de distribución [5]. El argón es usado en mayor medida que el helio por las siguientes razones [6]:

1. Este produce un arco más suave y estable.
2. Opera con voltaje de arco más bajo a cualquier corriente y longitud de arco.
3. Tiene una mayor acción de limpieza en la soldadura de materiales como aluminio y magnesio en AC.
4. El argón es más abundante, por tanto, se encuentra en mayor disponibilidad y a un bajo costo.
5. Usando caudales bajos se obtienen buenas protecciones.
6. Es más resistente a la contaminación en el arco por corrientes de aire.
7. Fácil arranque del arco.

La característica de voltaje de arco bajo del argón hace más fácil el arranque del arco y siendo más sencillo la soldadura manual de láminas delgadas donde el bajo calor del arco evita una excesiva fusión. Un bajo calor en las soldaduras vertical y sobre cabeza reduce la tendencia del metal a deslizarse. [5]

Como se mostró en las características de los gases, el argón tiene una densidad cercana a un 1.3 la de aire y 10 veces respecto al helio [3]. Esto permite al argón, al ser más pesado, cubrir completamente el área de soldadura de soldadura. Por el contrario, el helio al ser más liviano, tendera a subir rápidamente generando turbulencia y causando que el arie entre dentro de la atmosfera del arco contaminándolo [10]. El costo del helio es unas 3 veces el costo del argón, y el caudal requerido de helio en una soldadura puede ser de dos a tres veces que la del argón, por esta razón el helio puede alcanzar a costar nueve veces más que el argón. [3]

El helio se encuentra en segundo lugar en poder encontrarlo en bastante abundancia. Sin embargo, el calor desarrollado en un arco de helio es alrededor de 1.7 veces mayor en un arco de argón a una cierta corriente. La soldadura realizada con helio produce una penetración más profunda que la obtenida por argón. El helio, como se mencionó anteriormente, es preferido para la soldadura de materiales gruesos y materiales de alta conductibilidad térmica tales como el cobre y el aluminio. [5]

El helio y las mezclas de argón-helio son preferidas para soldadura de secciones gruesas y para materiales que tienen alta conductibilidad térmica o altas temperaturas de fusión por el calor disponible a una cierta corriente de arco. Las mezclas de helio-argón están disponibles en proporciones de 25, 50 y 75% de helio; obteniendo soldaduras con una penetración más profunda y con una buena acción de limpieza [5]. Hay más proporciones disponibles para la mezcla con diferentes gases.

Aunque el helio y el argón puedan ser usados satisfactoriamente para la mayoría de las aplicaciones de soldadura GTAW, el argón es seleccionado más frecuentemente debido al mejor control del arco y un menor costo.

Se puede añadir hidrógeno (H₂) al argón para soldar níquel-cobre o aleaciones de base níquel. La adición de hidrógeno al argón permite aumentar la velocidad de soldadura, pero no se recomienda usar en otros metales porque producirían grietas en las soldaduras. [5]

1.4.3 Electroodos

Los electrodos utilizados en el proceso GTAW, son catalogados por sus varias de sus características en donde se consideran cinco factores, estos son los que proporcionaran información para su adecuada la aplicación en el proceso GTAW, estos factores son el tipo de material, tamaño, forma de la punta, porta electrodo y boquilla.

1.4.3.1 Material del electrodo

El tungsteno es el elemento el cual está presente en los electrodos en el proceso GTAW, este al mismo tiempo contiene varios elementos aleantes los cuales son usados para distintas condiciones de trabajo. De acuerdo con sus elementos aleantes se los cuales clasificar como: tungsteno puro (EWP), tungsteno con 1 o 2% de torio (EWTh-1 y EWTh-2), tungsteno con 0.15 a 0.4% de circonio (EWZr), tungsteno con 2% de cerio (EWCe-2), tungsteno con 1% de lantano (EWLa-2) y tungsteno que contiene un segmento lateral interno de tungsteno de torio (EWTh-3). A lo largo de la longitud del electrodo se encuentra un contenido de torio en un rango del 1 al 2%, por otro lado, al considera un contenido medio de torios esta proporción varía en un rango del 0,35 al 0.55% de torio [12]. En la fig. 1.10, se muestra a los electrodos con sus códigos de colores.

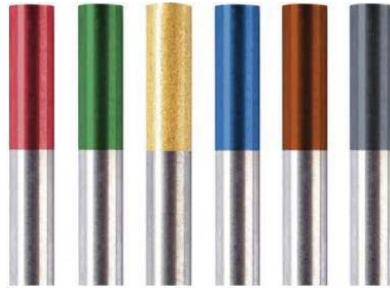


Figura 1.10. Electrodo de tungsteno con bandas de colores. [5]

En la tabla 1.2 se indica el código de colores según los elementos aleantes presentes en donde estos presentan dos designaciones a través las normas ISO 6848 y AWS A5.12.

Tabla 1.2. Identificación de electrodos por colores a, b.

Clasificación AWS	Color	
EWP	Verde c	
EWCe-2e	Naranja	
EWLa-1e	Negro c	
EWLa-1,5	Dorado	
EWLa-2	Azul	
EWTh-1e	Amarillo c	
EWTh2e	Rojo	
EWZr-1e	Café c	
EWG	Gris	

a. Los colores pueden ser aplicados en forma de bandas, puntos, etc., en cualquier punto de la superficie del electrodo, figura 1.2.

b. El método de codificación de colores usados no debería cambiar el diámetro del electrodo más allá de las tolerancias permitidas.

c. El código de colores se encuentra bajo las especificaciones de la norma ISO 6848.

Las normas que especifican a los electrodos en el proceso GTAW son la norma ISO 6848 y AWS A5.12, en donde detallan y enlistan los parámetros y requerimientos, datos y composición química que poseen estos electrodos de tungsteno [8]. Los electrodos se suministran limpios con acabados superficiales básicos, en donde limpio hace referencia a aplicación de una limpieza química para eliminar impurezas superficiales de las operaciones de estirado y conformado. Estos acabados superficiales básicos indican que las imperfecciones de la superficie son removidas mediante el esmeril.

Los electrodos de tungsteno puro (EWP) resultan ser menos costosos, los mismo que

son un 99.5% puros. Una desventaja que presentan este tipo de electrodos la menor capacidad para transportar corriente en AC, también presentan ventajas en donde su arco es más estable y tiene una baja resistencia a la contaminación. La punta que presente este electrodo es de forma de bola en el extremo limpio del electrodo, principalmente son utilizados para soldar aleaciones de aluminio y magnesio. [5]

Los electrodos de tungsteno que contienen 1 o 2% de torio (EWTh-1 y EWTh-2) tienen mayor emisividad de electrones, una mayor capacidad de transportar corriente y una vida más larga por acción del óxido de torio (ThO_2), en comparación con el tungsteno puro [5]. El arranque del arco es más fácil y estable lo cual ayuda a hacerlos más resistentes a la contaminación desde el metal base. Mantienen una configuración de punta afilada en soldadura de metales ferrosos.

Los electrodos de tungsteno que contienen circonio (EWZr) tienen propiedades similares al de tungsteno puro y de tungsteno con torio respecto al arranque del arco y capacidad de y transportación de corriente. Estos electrodos son recomendados para la soldadura en AC de aluminio sobre el tungsteno puro o electrodos de tungsteno toriados, manteniendo una punta redondeada durante la soldadura y poseen una alta resistencia a la contaminación [13]. Otra ventaja de los electrodos de tungsteno-circonio es que están libres del elemento radioactivo torio, el cual, aunque no es peligroso en los niveles usados en los electrodos, es de preocupación para algunos soldadores.

Los electrodos de tungsteno cerio (EWCe) son un producto relativamente nuevo y contienen de 1 a 5% de cerio. Estos no son radioactivos y se reporta que tienen una buena estabilidad de arco permitiéndoles trabajar tanto en AC como DC y duran más que el tungsteno con torio [13]. Se caracterizan por su elevada emisión de electrones, permitiendo una buena penetración y resistencia al desgaste.

Los electrodos de tungsteno que contienen 1% de lantano (EWLa-1), al igual que el de tungsteno con cerio, es relativamente nuevo. El electrodo es no radiactivo y tiene propiedades muy similares a los electrodos de tungsteno con cerio. [13]

1.4.3.2 Tamaño del electrodo y forma de punta

En la figura 1.11 se muestra el tamaño y la forma de la punta de los electrodos de tungsteno, estos factores dependen de: el material base, el espesor, el tipo de junta y la cantidad. Generalmente los electrodos usados en AC o en polaridad positiva (EP) son de mayor diámetro que los usados en polaridad negativa [5]. En la tabla 1.3 se describe las formas de la punta del electrodo a partir de la variación de los diámetros.

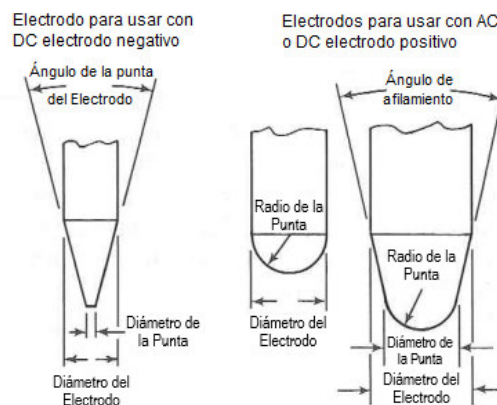


Figura 1.11. Tipos y formas de las puntas del electrodo.

Para la soldadura con DC electrodo positivo y AC, la forma de la punta deseable del electrodo es un hemisferio (bola) del mismo diámetro que del electrodo [5]. Esta forma de la punta en los electrodos más grandes provee una superficie estable dentro del rango de corriente de operación. Los electrodos de tipo zirconio son preferidos para operaciones con DC electrodo positivo y AC debido a que estas tienen una muy alta capacidad de transportar corriente además son capaces de formar con facilidad una bola fundida bajo condiciones de operación normales. Los electrodos con torio no forman una bola fácilmente y, por tanto, estos no son recomendados para la soldadura con DC electrodo positivo o AC.

Tabla 1.3. Formas de la punta del Electrodo.

Diámetro del Electrodo		Diámetro de la Punta		Angulo en Grados	Electrodo Negativo (DCEN)	
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros		Rango, A de Corriente Constante	Rango, A de Corriente Pulsante
0.040	1.02	0.005	0.125	12	2-15	2-15
0.040	1.02	0.010	0.25	20	5-30	5-60
0.062	1.59	0.020	0.5	25	8-50	8-100
0.062	1.59	0.030	0.8	30	10-70	10-140
0.093	2.38	0.030	0.8	35	12-90	12-180
0.093	2.38	0.045	1.1	45	15-150	15-300
0.125	3.18	0.045	1.1	60	20-200	20-300
0.125	3.18	0.060	1.5	90	25-200	25-300

Observar figura 1.11

El electrodo debe ser EWT_h2 para ser usado en electrodo negativo

El gas de protección debe ser 100% de argón

La composición del material de aporte debe coincidir con la del material base o ser una varilla recomendada para una aleación base específica

El grado de afilamiento de la punta del electrodo afecta en la penetración de la suelda con ángulos de afilamiento más pequeño tiende a reducir el ancho del cordón de la suelda y así incrementa su penetración. Cuando se prepara el ángulo de la punta en un electrodo, el esmerilado debe ser hecho paralelamente a la longitud del electrodo. En la figura 1.12, se indica una maquina especial para el esmerilado de las puntas electrodos de tungsteno (izquierda) y un esmeril de banco para esmerilar manualmente al electrodo (derecha) con la posición correcta para esmerilar.



Figura 1.12. Máquina para esmerilar la punta del electrodo de tungsteno (izq.) y esmeril simple (derecha). [14] y [5]

Todos los electrodos de tungsteno están disponibles normalmente en diámetros de 0.010" a 0.250" y longitudes de 3" a 24". En la tabla 1.4 se encuentran enlistados los típicos rangos de corriente para estos tipos de electrodos de tungsteno [12].

La longitud total de un electrodo será limitada por la longitud a la cual puede ser acomodada por la antorcha GTAW. Longitudes largas permiten más reacondicionamientos de la punta que longitudes pequeñas, siendo más económicas. La extensión del electrodo desde el collar o mango determina el calentamiento y caída de voltaje en el electrodo. Dado que este calor no es de valor para la soldadura, la extensión del electrodo debería ser tan corta como sea necesario para facilitar el acceso a la junta [5].

Tabla 1.4. Rangos de Corrientes en Electrodo de Tungsteno.

Diámetro del electrodo		Corriente Directa [A]		Corriente Alterna [A]			
		Polaridad Negativa [DC ⁻]	Polaridad Negativa [DC ⁺]	Onda no balanceada		Onda balanceada	
[pulg]	[mm]	EWCe-2 EWLa-1 EWLa-1.5 EWLa-2 EWP EWTh-1 EWTh-2	EWCe-2 EWLa-1 EWLa-1.5 EWLa-2 EWP EWTh-1 EWTh-2	EWP	EWCe-2 EWLa-1 EWLa-1.5 EWLa-2 EWTh-1 EWTh-2 EWZr	EWP	EWTh-1 EWTh-2 EWZr
0.010	0.30	Sobre 15	(2)	Sobre 15	Sobre 15	Sobre 15	Sobre 15
0.020	0.50	5-20	(2)	5-15	5-20	10-20	5-20
0.040	1.00	15-80	(2)	10-60	15-80	20-30	20-60
1/16	1.60	70-150	10-20	50-100	70-150	30-80	60-120
3/32	2.40	150-250	15-30	100-160	140-235	60-130	100-180
1/8	3.20	250-400	25-40	150-210	225-325	100-180	160-250
5/32	4.00	400-500	40-55	200-275	300-400	160-240	200-320
3/16	4.80	500-750	55-80	250-350	400-500	190-300	290-390
1/4	6.40	750-1000	80-125	325-450	500-630	250-400	340-525

(1) Todos los valores están basados en el uso del argón como gas protector. Otros valores pueden ser usados dependiendo del gas protector, tipo de equipamiento y aplicación.

(2) Estas combinaciones no son usadas.

EWCe-2 = Tungsteno + 2% Cerio

EWLa-1 = Tungsteno + 2% Cerio

EWLa-1.5 = Tungsteno + 2% Cerio

EWLa-2 = Tungsteno + 2% Cerio

EWP = Tungsteno Puro

EWTh1 = Tungsteno + 1% Torio

EWTh2 = Tungsteno + 2% Torio

EWZr = Tungsteno + Circonio

1.4.3.3 Porta mordazas y boquillas de gas

Los porta electrodos o mordazas usualmente consisten en dos piezas, un difusor de gas, hechas para acoger con ajuste a cada medida del electrodo de tungsteno, como se presenta en la figura 1.13. Los porta electrodos deben ser capaces de manejar la corriente de soldadura requerida sin sobrecalentamiento [1]. Son construidos de una aleación de cobre endurecible.



Figura 1.13. Porta electrodos y boquilla de gas. Fuente: [1].

La función de la boquilla de gas es dirigir el flujo de gas inerte alrededor del sujetador y el electrodo y luego al área de soldadura. Las boquillas están hechas de un material fuerte resistente al calor tal como la cerámica y están disponibles en varias medidas y formas como se puede apreciar en la figura 1.14. [1]. Boquillas grandes dan una más completa cobertura del gas al área de soldadura, pero puede ser muy grande para llegar dentro de áreas restringidas. En cambio, las boquillas pequeñas pueden proporcionar una adecuada cobertura del gas en las áreas restringidas donde las características del componente ayudan a guardar el gas en la junta. La mayoría de las boquillas tienen roscas internas las cuales se atornillan sobre la rosca del porta electrodos. Algunas son equipadas con un dispositivo tipo regadera que consiste en algunas capas de una malla de alambre fino o polvo metálico poroso [5]. Estas unidades proporcionan un flujo no turbulento o flujo de gas laminar desde la antorcha resultando en una cobertura de gas inerte a una mayor distancia desde la boquilla.



Figura 1.14. Boquillas de diferentes tamaños y formas. Fuente: [1].

1.4.3.4 Polaridad

En GTAW se puede operar en tres formas diferentes, electrodo negativo (polaridad directa), electrodo positivo (polaridad inversa) o AC como se indica en la figura 1.6. Cuando se usa electrodo negativo, la mayor cantidad de calor se desarrolla en el área de

trabajo, por lo cual, es la forma que se utiliza para soldar la mayoría de los metales. El electrodo negativo tiene como desventaja que no proporciona una acción de limpieza en la superficie de trabajo [6]. Esto tiene poca importancia para la mayoría de los metales, debido a que sus óxidos se descomponen o funden bajo el calor del arco, de modo que el metal depositado mojará las superficies de la junta. Sin embargo, los óxidos de aluminio y magnesio son muy estables y tienen puntos de fusión mayores al del metal. No se eliminan por el calor del arco y permanecen en la superficie del metal, restringiendo la humectación. [9]

Con electrodo positivo, la acción de limpieza tiene lugar en la superficie de trabajo por el impacto de los iones de gas, eliminando la fina capa de óxido mientras la superficie está bajo la cobertura de un gas inerte, permitiendo que el metal fundido moje la superficie antes de que pueda formarse más óxido. La desventaja es que la mayor parte del calor se desarrolla en el electrodo de tungsteno y la menor en la pieza. Esto significa que, para obtener la misma intensidad del calor en la pieza con electrodo positivo, la corriente debe aumentarse en un factor de 2.3 [5]. Este aumento de la corriente, más el hecho de que se desarrolla más calor en el electrodo positivo, significa que el electrodo que funciona con polaridad positiva debe disipar aproximadamente cinco veces más calor que un electrodo que funciona con polaridad negativa. Por lo general, un electrodo de polaridad positiva es aproximadamente cuatro veces el diámetro de un electrodo utilizado en polaridad negativa.

En AC, las características deseables de ambas formas se obtienen a un nivel reducido. A 60 Hz AC, la limpieza se obtiene en cada medio ciclo de polaridad positiva y se desarrolla algo de calor en la pieza. El área limpiada en el medio ciclo de polaridad positiva permanecerá limpia durante el medio ciclo de polaridad negativa mientras esté protegida con gas inerte. La mayor parte del calor de soldadura se entrega al trabajo durante el medio ciclo de polaridad negativa.

Al soldar aluminio, puede producirse una rectificación. Si esto ocurre, fluye más corriente cuando el electrodo es negativo como se puede notar en la figura 1.15 B. Esto hace que el arco se vea y suene inestable. Esta condición existe porque la superficie de aluminio limpia no emite electrones tan fácilmente como el electrodo de tungsteno caliente. Esto ocurrirá si se usa fuentes de alimentación de AC de onda sinusoidal antiguas. Soldadores con más experiencia incorporan circuitos que pueden equilibrar los semiciclos de polaridad negativa y positiva que se pueden apreciar en la figura 1.15 C. Por lo general, esta condición de equilibrio es deseable para soldar aluminio. [10]

Fuentes de alimentación más modernas incluyen controles que permiten ajustar la AC

para favorecer el medio ciclo de polaridad positiva o negativa, indicado en la figura 1.15 A [10]. También, pueden producir AC de onda cuadrada en lugar de una sinusoidal.

Por tanto, para obtener una máxima limpieza, se favorece usar modo positivo del electrodo; cuando se desea el máximo calor, se favorece usar modo negativo del electrodo. Las fuentes de alimentación de onda cuadrada son mucho menos susceptibles a la rectificación del arco que las fuentes de alimentación de onda sinusoidal, aunque a veces sigue ocurriendo.

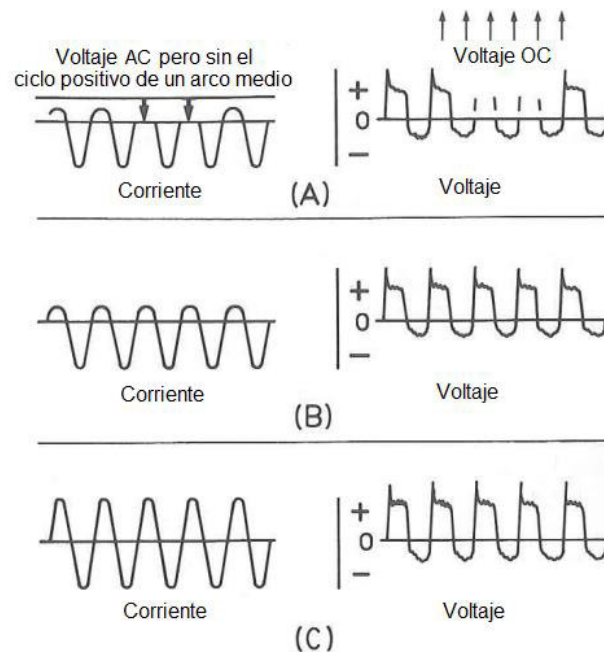


Figura 1.15. a) Onda sinusoidal rectificada sin ciclo positivo, b) onda sinusoidal rectificada para electrodo negativo y c) onda sinusoidal normal. [10]

1.4.4 Características de las fuentes de poder

La corriente característica que deben utilizar las fuentes de poder en el proceso GTAW es de constante- caída de voltaje como se muestra en la figura 1.16 A. Además, otras de las características que estas pueden presentar es la pendiente hacia arriba, pendiente hacia abajo, corriente pulsante igual que programación de corriente. Las fuentes de poder de voltaje constante no deben ser utilizada para el proceso GTAW ya que estas poseen longitud de arco corta en donde la corriente tomaría excesiva [1], como se muestra en la fig. 1.16 B.

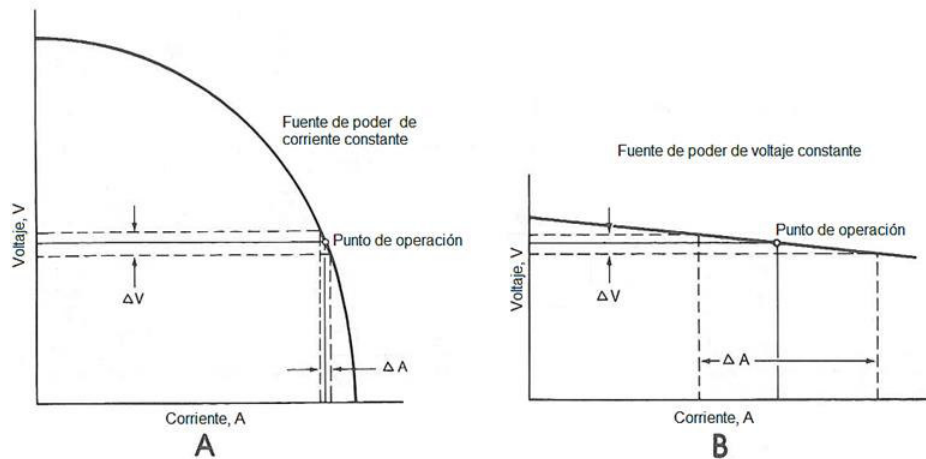


Figura 1.16. A) Característica de corriente constante-caída de voltaje; B) longitud de arco corta, corriente excesiva. [10]

Incluso el transformador rectificador de una fase puede comportarse como una fuente de poder ya que este también puede proporcionar AC para el soldeo en Aluminio. Las fuentes de poder tipo motor-generador generalmente son impulsadas mediante un motor a gasolina o diésel y generarán DC con la característica de corriente o voltaje constante. Para el proceso GTAW las fuentes de poder del motor alternador generará AC [4]. La fuente de poder tiene la capacidad de operar tanto en corriente constante como en voltaje constante, en donde debe ser ubicada para el modo de corriente constante para el proceso de soldadura GTAW.

La fuente de alta frecuencia para el arranque del arco, válvulas que controlarán el flujo de gas inerte y el enfriamiento con agua de la antorcha, son las características que deben ser tomadas en consideración al construir las fuentes de poder destinadas al uso del proceso GTAW. Los controladores de tiempo facilitan que las válvulas sean abiertas en un menor tiempo previo al inicio del arco de igual forma que estas sean cerradas en un menor tiempo luego de que el arco sea apagado. La alta frecuencia es necesaria para dar inicio al arranque del arco en lugar de arrancar topando en donde la contaminación del electrodo de tungsteno es probable [6]. Esto debería facilitar ubicar al equipo en alta frecuencia para dar inicio al arco solamente o para operación continuas en modo AC.

Las fuentes de poder deberían estar conformadas por un conductor secundario al igual con medios para controlar remotamente la corriente del arco. En el caso de la soldadura manual, el pedal de pie debería cumplir con estas funciones de operación del contactor y controlador de la corriente de soldadura. Al tener una fuente de poder que posea un rango de corriente simple es óptima ya que esta permitirá que el soldador cambie la corriente de arco entre el mínimo y el máximo sin modificar el rango del interruptor.

Las fuentes de poder más avanzadas que poseen características las cuales facilitan pulsar la corriente en el modo DC elementalmente con pulsos cuadrados. Tanto la corriente de pico pulsante como las anteriores pueden ser adaptadas, al igual que la duración del tiempo y la frecuencia de pulsación [6], las mismas que son indicadas en la figura 1.17.

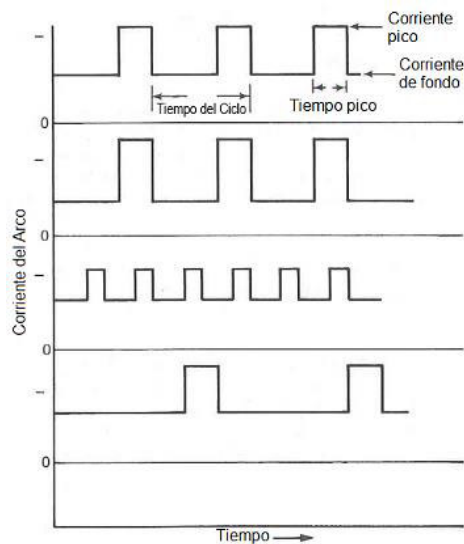


Figura 1.17. Corriente pulsante a cuadros y frecuencia. [10]

Al usar el modo AC la frecuencia básica oscila entre los 60 Hz en donde la onda senoidal puede ser modificada para crear una onda rectangular. En la figura 1.18 se muestra los otros controles que admiten que la onda AC sea equilibrada o variada en beneficio de los medios ciclos positivos o negativos. [6]

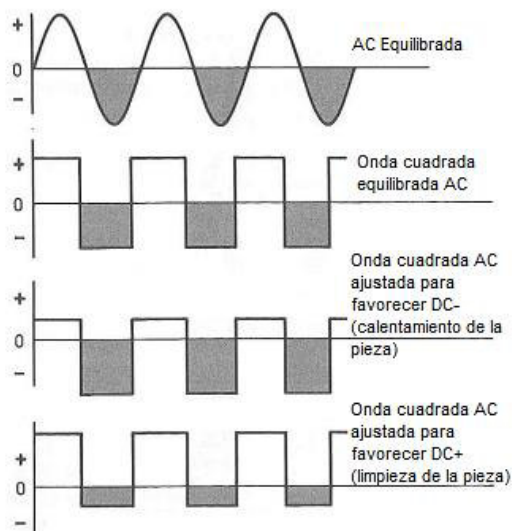


Figura 1.18. Onda balanceada a favor de los medios ciclos positivos o negativos. [7]

Esta cualidad es específicamente apta para soldar aluminio, magnesio en donde el control puede colocarse para favorecer al medio ciclo positivo para limpieza máxima.

La capacidad de pulsación en modo DC admite que la sueldas sean realizadas en material delgado, cordones de raíz y sobre cabeza con menor probabilidad de derramamiento o goteo.

1.4.5 Antorchas

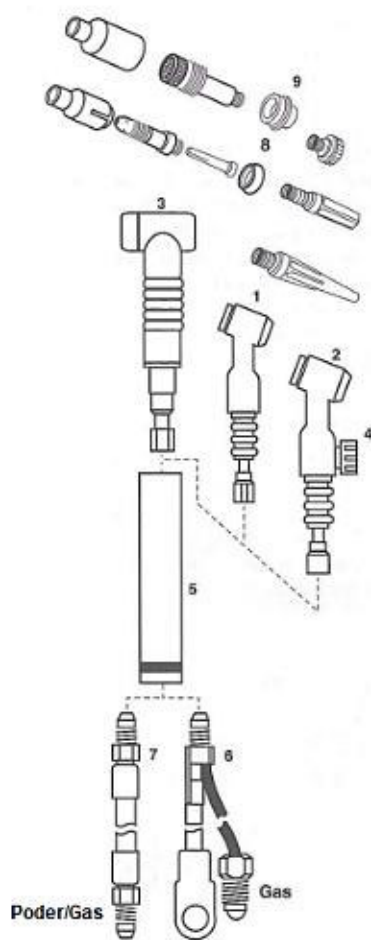
En el proceso de soldadura GTAW el tipo y tamaño de la antorcha debe ser seleccionada a partir del material base de trabajo. La antorcha debe ser adaptada para

manejar una corriente máxima anticipada evitando el sobrecalentamiento. El uso de una antorcha demasiado grande produce fatiga al operador (soldador) incluso esta puede obstruir el acceso para algunas juntas. Para aplicaciones en donde sea necesario el uso de baja corriente, la antorcha puede ser enfriada con gas, esta tiende a ser más liviana y consiguiendo eliminar la necesidad de la conexión de agua. En la boquilla de la antorcha es recomendable ubicar un "gas lens" para optimizar la eficiencia de la protección del gas inerte consiguiendo una disminución en uso del mismo. El diámetro de la boquilla debe ser suficientemente grande de tal forma que esta proporcione el acceso a la junta para brindar una cobertura con el gas inerte en un área más amplia [2]. La distancia que debe existir entre la boquilla (copa) y el electrodo extendido es definida mediante la configuración de la junta. El mismo debe extenderse lo suficiente para conseguir la junta y dejar que el soldador alcance a visualizar al arco, pero no tanto como para permitir que el gas pueda combinarse tanto con el gas inerte como con la suelda [8]. Usualmente, la longitud óptima de la antorcha en el proceso GTAW oscila entre los 3/8" a 1/2".

Las funciones que debe llevar a cabo la antorcha GTAW son las siguientes:

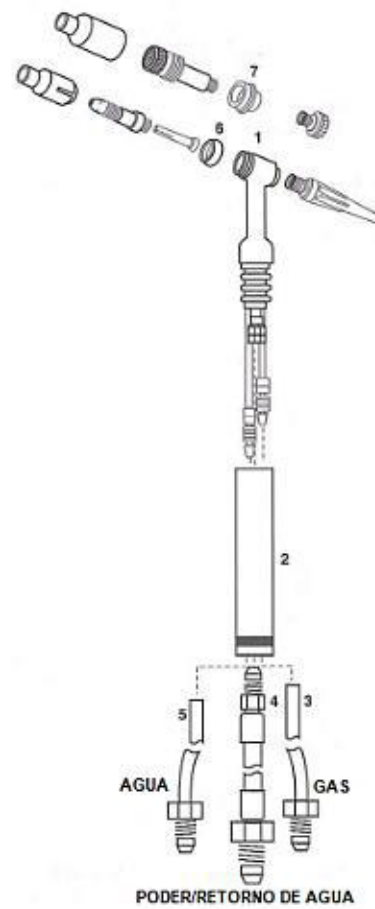
- a. Sostener al electrodo de tungsteno de tal forma que este pueda ser manejado a lo largo del proceso de soldeo.
- b. Suministrar de una conexión eléctrica al electrodo.
- c. Abastecer de una cantidad suficiente de gas inerte a la punta del electrodo, arco y zona de soldadura caliente.
- d. Alejar al electrodo de conexiones eléctricas del soldador.

En la figura 1.19 se muestra, la estructura de antorchas típicas usadas en el proceso GTAW.



Antorcha de Gas Refrigerante

Elemento	Descripción
1	Cuerpo de antorchas con juntas
2	Cuerpo de antorchas con juntas
3	Cuerpo de antorchas con juntas
4	Perilla de válvula con anillo "O"
5	Mango de antorcha
6	Cable de poder y gas
7	Cable de poder y gas
8	Junta de la cope
9	Aislante de lente de gas



Antorcha de Agua Refrigerante

Elemento	Descripción
1	Cuerpo de antorchas con juntas
2	Mango de antorcha
3	Manguera de gas
4	Cable de poder
5	Manguera de agua
6	Junta de la cope
7	Aislante de lente de gas

Figura 1.19. Antorchas típicas para soldadura GTAW. [10]

La estructura de la antorcha principalmente está conformada por un cuerpo metálico, un porta electrodo, mordaza, así como de una tapa ajustable la tiene la función de sostener al electrodo de tungsteno. El cable eléctrico tiene una conexión directa al cuerpo de la antorcha el mismo se encuentra dentro de una envoltura aislante plástica exterior. En el caso de las antorchas manuales, el mango mantiene una conexión directa a la envoltura. Para las conexiones de poder, gas y agua pasan a través del mango o del tope de las antorchas destinada a operaciones automáticas [10]. Para pequeñas antorchas que

trabajan con corriente baja tanto el electrodo, el collar como los componentes internos son enfriados mediante el flujo del gas inerte. Para el caso de antorchas más grandes requieren de una corriente alta en donde la fuente de enfriamiento utilizado es el agua en este proceso de enfriamiento se necesitan de conexiones directas a la llave de agua y un drenaje, o ya sea de un enfriador circulador de agua. Para este proceso es recomendable que el circulador posea un medio de enfriamiento con agua destilada o desionizada para evitar la formación de minerales provenientes desde la conexión de agua en el interior de la antorcha.

El flujo del gas inerte atraviesa el cuerpo de la antorcha y huecos en el porta electrodo al extremo del arco de la antorcha. En donde una copa o boquilla es adaptada sobre el extremo del arco de la antorcha para conducir el gas inerte sobre el electrodo y la pileta de soldadura. Las boquillas usualmente son atornilladas en el interior de la antorcha y son fabricadas de una cerámica dura la misma que es resistente al calor. Algunas boquillas son construidas de vidrio Vicor, material que debe soportar altas temperaturas y son prensadas con un plástico comprimible [9]. Determinadas boquillas pueden ser ajustadas mediante una regadera inserta compuesta de algunas capas de mallas de fino alambre, llamada "gas lens", esto crea un flujo laminar del gas inerte, provocando un incremento de la eficiencia de la protección.

La mayor parte de las antorchas manuales en el proceso GTAW, el mango es fijado con un ángulo aproximado de 70° al cuerpo de la antorcha. Determinadas antorchas son las que cuentan con un cuello flexible entre el mango y el cuerpo de la antorcha para ser acoplado en un rango que va de los 50° a 90°. [7]

Las antorchas que son empleadas en operaciones a máquina o automática pueden contar con conexiones de poder, gas y agua en un extremo con el botón de ajuste en la parte superior de la mordaza.

Usualmente otras cuentan con todas las conexiones en la parte superior. Una herramienta especial es necesaria para ajustar el collar desde el extremo del electrodo. Generalmente las antorchas mecánicas son montadas con abrazaderas alrededor del cuerpo de la antorcha, como se muestra en la figura 1.20.

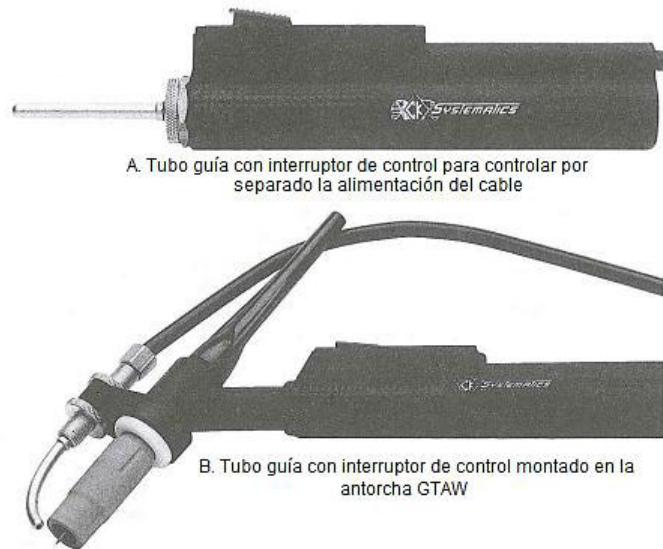


Figura 1.20. A) tubo guía con interruptor para control de alimentación separado; B) tubo guía con interruptor montado en la antorcha. [9]

1.4.6 Acción de Rectificación y Limpieza en AC

Anteriormente se describe que, al soldar aluminio o magnesio con AC, se tiende a formar una onda balanceada (como se indicó en la figura 1.15 C) y esto ocurrirá ya que el electrodo de tungsteno caliente produce de forma más fácil emisión de electrones a comparación de la superficie del metal. Al trabajar con electrodo negativo resulta un mayor flujo de corriente el cual suministrará más calor en la pileta de soldadura el área que sea necesario. Al referirse del electrodo positivo la cantidad de corriente es más pequeña lo cual resulta aceptable ya que esta proporciona el suficiente flujo de corriente, así como limpieza apropiada de la superficie. Al ser el flujo de corriente más bajo significa que el electrodo de tungsteno proveerá un menor calentamiento.

Durante el proceso GTAW en AC el flujo de corriente pasa por cero dos veces en cada ciclo en donde el arco debe ser reiniciado cada ciclo dos veces [7]. En el momento en el que el electrodo se vuelve negativo, el reinicio se da de forma más rápida, pero al volverse positivo, el reinicio puede retrasarse resultando en corriente baja. Al no reiniciar la corriente en el medio ciclo positivo, se produce la rectificación completa y no habrá la acción de limpieza. La superposición de una continua alta frecuencia sobre la AC asegurará el reinicio del arco al inicio de cada medio ciclo positivo para proporcionar la acción de limpieza de tal forma que minimice el desbalance. Determinadas fuentes de poder nuevas, más avanzadas suministran ondas cuadradas AC en donde el voltaje cambia de máximo negativo a máximo positivo de forma muy rápida conservando la

ionización del arco y el flujo de corriente continuará en cada inversión de voltaje. Considerando estas condiciones la continua alta frecuencia no es fundamental. La amplitud del medio ciclo negativo puede ser aumentada para incrementar la penetración de tal forma que la amplitud del medio ciclo positivo se reduce [7]. En la figura 1.18 se presentó que, para aumentar la acción de limpieza, la amplitud del medio ciclo positivo incrementa de tal forma que la amplitud del medio ciclo negativo disminuye.

1.4.7 Alimentadores de Alambre de Aporte

El alimentador del alambre de aporte para el proceso GTAW automático debe ser apto para alimentar al alambre manteniendo una velocidad controlada desde la bobina o carrete continuo mediante un sistema guía a la pileta de soldadura. El sistema de alimentación de alambre completo está conformado de un soporte para la bobina de alambre, un mecanismo de tracción, un control de velocidad y una guía para conducir desde el mecanismo de tracción hacia la pileta de soldadura. Los alimentadores de aporte son usados con instalaciones de soldadura GTAW con máquina o automáticas, pese a que los alimentadores de alambre son sujetados con la mano estos pueden ser utilizados en la soldadura manual.

El mecanismo de tracción de alambre está conformado por un motor eléctrico, una caja reductora de velocidad de engranaje y un juego de rodillos de tracción. La principal diferencia entre los mecanismos de tracción para el proceso GMAW y GTAW radica en el rango de la velocidad, en donde este rango en el proceso GTAW va desde 20 a 200 pulg/min, en cuanto al rango de tracción en el proceso GMAW va desde los 100 a 1000 pulg/min [7]. Generalmente en el proceso se utiliza solamente un par de rodillos de tracción. Estos rodillos pueden poseer tracción propia o el uno puede poseer tracción y el otro no. Cuando ambos poseen tracción propia se conseguirá una alimentación más positiva con menor deslizamiento. El rodillo de tracción al trabajar con materiales tales como aleaciones de base de níquel y titanio, este posee una ranura estriada en "V". El rodillo el cual no posee de tracción propia puede ser plano y liso o poseer una ranura en "V" lisa. La ranura en "V" deberá ser utilizada en los dos rodillos cuando se trata de materiales blandos como el cobre y aluminio [9]. En el caso de los rodillos estriados no deberían ser empleados con alambres suaves ya que existe una tendencia de corte de finas limallas provenientes desde el alambre, las mismas que son trasladadas al tubo de contacto en donde puede ocurrir el atascamiento del alambre. Algunos de los mecanismos de tracción emplean dos pares de rodillos de tracción uno tras de otro, en donde todos presentan tracción. Sin embargo, este arreglo es usado generalmente en procesos de soldadura como el SAW y GMAW en los que se alimentan alambres más

gruesos con altas velocidades a la utilizadas en el proceso GTAW.

La intención de la unidad de control es dejar que la tasa de alimentación del alambre requerida a cualquier velocidad se mantenga variando las condiciones de carga. La mayor parte de estos controles usan la intervención de un circuito electrónico el mismo que es el encargado de comparar el voltaje el cual es proporcional a la velocidad del motor manteniendo un voltaje de referencia. La obtención del voltaje de referencia es a través de la armadura del motor o bien sea del tacómetro montado en el eje del motor [9]. Un switch reversible debería tener el controlador de tal forma que el alambre pueda avanzar o retroceder a lo largo del proceso.

Una vez que el alambre deje los rodillos de tracción, este ingresa al tubo guía enseguida a la boquilla de salida el mismo que posiciona al alambre sobre la piletta de soldadura. El tubo guía generalmente es flexible y es conformado por un forro nylon [5]. Dependiendo de la posición del mecanismo de tracción, así como de la antorcha GTAW la longitud del tubo puede variar desde unas pequeñas pulgadas hasta algunos pies de longitud. Mediante un sujetado la boquilla de salida es montada cerca a la antorcha, este sujetado proporciona de un ajuste por medio de tornillos para la correcta posición del ángulo. En la soldadura GTAW manual como se muestra en la figura 1.20 A el alimentador de alambre debe ser utilizado, en donde el soldador sostiene el extremo de la boquilla del tubo guía en una mano y en la otra la antorcha GTAW.

A través del tubo guía o el pedal de pie ser los medios de control de la alimentación ya sea para su inicio o el pare propicio. Las antorchas manuales están disponibles con el alimentador de alambre sujetado al tubo guía. Esto requiere solamente el uso de una sola mano la cual se puede observar en la figura 1.20 B.

1.4.8 Soldadura de metales no ferrosos

En la soldadura por electrodo de tungsteno se indica que puede ser aplicable para soldar la mayoría de los metales. Cuando hablamos de metales no ferrosos este proceso nos permite tener una amplia gama de metales y aleaciones a las que se pueden soldar. Entre estos tenemos:

- Aluminio y sus aleaciones

La soldadura de aluminio o alguna de sus aleaciones puede presentar dificultades debido a que este metal presenta una capa de óxido (alúmina) en su superficie y tienen una alta conductividad térmica [9]. La capa de óxido otorga propiedades deseables en ciertas

aplicaciones, pero al momento de soldar la capa es un inconveniente porque el material de aporte fundido no tiene una buena humectación, resultado en una unión débil entre los metales. Por tanto, a estos materiales se realiza una ardua limpieza de las superficies antes de la soldadura para remover las capas de óxido.

- Aleaciones de base níquel

Generalmente el níquel tiene una alta soldabilidad, siendo fácilmente soldable en la mayoría de los procesos de soldadura. Las aleaciones de base níquel son las más usadas, y estas no son más que níquel aleado con otros elementos metálicos para mejorar sus propiedades como la resistencia a la corrosión y a la rotura por tensiones a altas temperaturas. También pueden ser endurecidos por soluciones sólidas, por dispersión de partículas finas de óxido o por precipitación. [10]

En las aleaciones endurecidas por soluciones sólidas se usan elementos como aluminio, molibdeno, cromo o el tungsteno. Estas aleaciones presentan una buena soldabilidad; entre las cuales tenemos al Monel, los Hastelloy, los Inconel y algunos otros.

Las aleaciones endurecidas por precipitación tienen una similar composición a las de solución sólida. Estos no deben contener un alto porcentaje de aluminio y titanio debido a que la aleación perdería soldabilidad. Es recomendable usar aleaciones con un porcentaje total de máximo un 5% entre estos elementos.

Si se usa un mayor porcentaje de estos elementos el ZAC presenta agrietamiento en caliente, debido a que las fases de baja fusión o de baja resistencia que resultan en grietas en los bordes por las tensiones de contracción que sufren al enfriarse el material, por lo cual no se recomienda soldar estas aleaciones y para las que superan el 8% son consideradas no soldables porque tendrían una alta tendencia a agrietarse en caliente. [9]

Las aleaciones endurecidas por dispersión son obtenidas a partir de distribuir uniformemente partículas finas de óxido como el dióxido de torio en las aleaciones. No se recomienda la soldadura de estas aleaciones por medio de fusión debido a que el metal perderá el efecto de endurecimiento, además de presentar grietas en el ZAC [9]. Aunque si pueden ser soldadas por otros métodos como la soldadura fuerte o por difusión.

En la figura 1.21 muestra una gráfica que representa la soldabilidad de varias de las aleaciones de base níquel endurecidas por precipitación, que son las que se pueden soldar en el proceso GTAW.

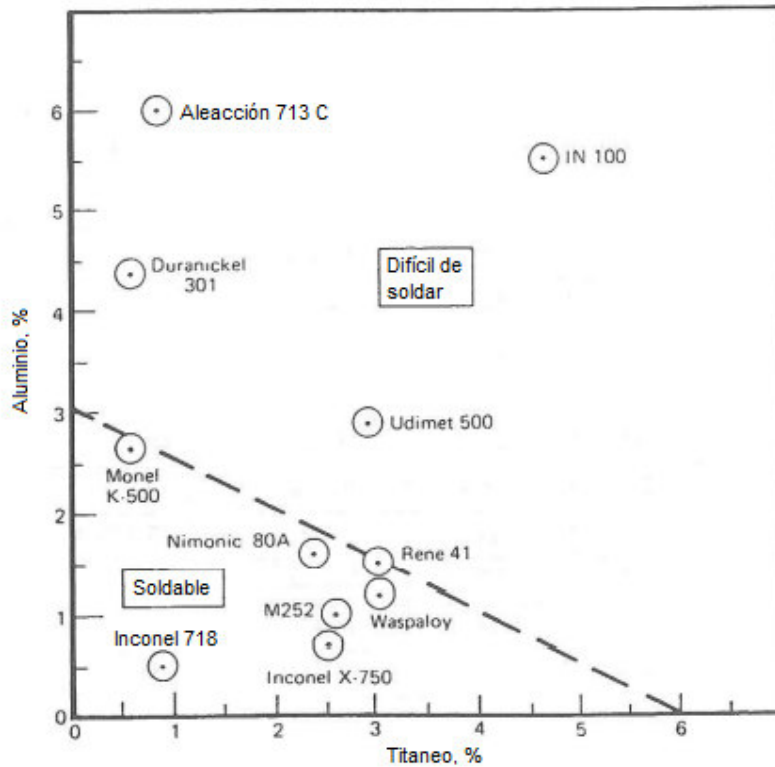


Figura 1.21. Soldabilidad para diferentes aleaciones de base níquel. [10]

- Titanio y aleaciones de titanio

El titanio, al igual que el aluminio, forma una capa tenaz de óxido en la superficie a temperatura ambiente que es resistente a varios medios corrosivos y la oxidación. Además de ser un metal reactivo con el oxígeno, el nitrógeno, el hidrógeno y el carbono formando componentes con estos elementos cuando está a altas temperaturas. [10]

El óxido de titanio se disuelve a temperaturas mayores que 650°C donde el nitrógeno, el hidrógeno y el carbono, se combinara con el oxígeno del ambiente incrementando la resistencia, pero disminuyendo su resistencia a la oxidación, ductilidad y tenacidad [15]. Por tanto, para soldar estos metales y sus aleaciones es indispensable tener una atmosfera que proteja adecuadamente del aire u otros que puedan contaminar al material. Es por esto por lo que el proceso GTAW es preferible para soldar las aleaciones de Titanio; otros procesos posibles pueden ser GMAW, PAW y EBW.

Las aleaciones de titanio que podemos encontrar están agrupadas den cuatro categorías, que son:

1. El titanio puro, es una aleación de bajas cantidades de componentes como el oxígeno, nitrógeno, carbono, y hierro, los cuales incrementan la resistencia, pero reduciendo la ductilidad en niveles bajos [9]. Tienen una excelente soldabilidad.

2. Las aleaciones Alfa contienen aluminio como elemento estabilizador presentando una muy buena soldabilidad. Pasan por la fase Beta solidificándose y luego transformándose a Alfa a temperatura menor a la de transformación. La aleación Ti-5Al-2.5Sn es la más común de estas aleaciones Alfa y presenta una mayor resistencia y tenacidad en comparación con el titanio puro. Es importante tener cuidado con las aleaciones evitando que se contaminen con hierro por encima de un 0.05% del metal, este metal presenta granos de fase Beta que pueden llegar a corroer la aleación. [15]
3. Las aleaciones Beta contienen suficientes elementos estabilizadores de fase Beta obteniendo estas estructuras al enfriar con un tratamiento térmico de solución. Una aleación típica es la Ti-13V-11Cr-3Al. [15]
4. Las aleaciones Alfa-Beta mantienen en un equilibrio a los elementos estabilizadores Alfa y Beta, con una microestructura normal para ambas fases. Pueden ser endurecidas usando tratamientos térmicos como los de solución, enfriamiento en agua o envejecimiento. Estos materiales pueden ser soldables o no soldables que dependerá de la composición de la aleación en específico. Aquí se utiliza ampliamente el Ti-6Al-4V [15], la cual tiene una alta soldabilidad.

- Cobre y aleaciones de cobre

Se puede encontrar cobre puro desde un 98% de contenido o aleaciones de cobre que contienen hasta un 40% de aleantes [10]. Estos materiales suelen ser resistentes y de una alta dureza dependiendo de los aleantes, el trabajo frío aplicado y el tratamiento térmico. Estos metales presentan una alta conductividad térmica lo cual se requerirá de una alta tasa de calor para alcanzar la fusión necesaria en la soldadura, y de una alta expansión térmica lo cual puede producir a niveles de distorsión elevados [8]. Esto se puede solucionar por medio de un precalentamiento.

En las aleaciones de cobre se tiene fase simple, en solución sólida, siendo utilizadas para ser fácilmente trabajadas en frío y soldadas. Varias aleaciones pueden tener dos o más fases microestructurales que pueden ser endurecidas por mediante un tratamiento térmico de solución y precipitación. Son soldables y con condiciones más estrictas.

- Magnesio y aleaciones de magnesio

El magnesio y sus aleaciones son altamente reactivas, al igual que el aluminio, formando una capa de óxido que debe ser removida para permitir una buena humectación en la soldadura por GTAW. El calor requerido para la fundición es menor a 650°C, siendo un

2/3 del calor requerido para el aluminio [8]. Tienen una alta expansión térmica que debe ser minimizada por el uso de un accesorio que fije a las aleaciones.

Pueden ser aleados con elementos metálicos como lo son el aluminio, zinc, torio, magnesio o metales raros, y obtenidas por medio de aleaciones fundidas o laminadas. Estos metales presentan una excelente soldabilidad, entre los cuales tenemos a la aleación Mg-Al-Zn, las aleaciones que contienen torio o metales raros [10]. En el caso de usar zinc en grandes cantidades, sus características buenas de soldabilidad disminuyen a una pobre.

Para soldar estos materiales se puede usar GTAW, GMAW o PAW. Se requiere proteger a la atmósfera del arco eléctrico para que no reaccione con las escorias que pueden quedar si se usara otros procesos. Se recomiendan usar tiras de respaldo no consumibles para controlar el contorno de la raíz en láminas del metal. Las tiras de respaldo pueden ser de aluminio, cobre, aceros suaves o acero inoxidable.

2 METODOLOGÍA

2.1 Análisis de los parámetros de operación más relevantes del proceso GTAW.

Varios son los parámetros de operación que se deben considerar al momento de soldar con el proceso GTAW, ya que estos ayudaran a que el proceso de soldeo obtenga características idóneas al ser aplicado, estos dependerán del espesor del material con el cual se vaya a trabajar, así como de su aplicación, al tomar en cuenta estos parámetros se conseguirá buena penetración, excelente acabado superficial, correcta continuidad en el cordón de soldadura, entre otros.

2.1.1 Establecimiento de los parámetros de soldadura

Los parámetros de una soldadura son determinados a partir de los requerimientos de material, espesor, diseño de la junta y servicio; obteniendo la corriente, el gas inerte, el voltaje y la velocidad de avance. Se puede encontrar esta información en un P.Q.S ("Especificación de la Calificación del Procedimiento" ["Procedure Qualification Specification"]) o en un manual del material y espesores. Los valores obtenidos deben considerarse como valores iniciales, debido a que los valores definitivos son establecidos al realizar varias pruebas de las partes. Parámetros como la velocidad de avance en soldadura manual dependerá de la habilidad y experiencia del soldador, así como de

otros factores.

2.1.2 Composición del Electrodo y Forma de la Punta

En la tabla 1.3 se detalla información de las diferentes características de los electrodos de tungsteno disponibles como la composición del electrodo, tamaño y configuración de la punta, en caso de que no se encuentren detallados en el PQS. En GTAW se recomienda usar los electrodos de tungsteno con 2% de torio para la mayoría de las soldaduras con DC electrodo negativo. En la tabla 1.4 se presentan los diferentes diámetros de los electrodos y la configuración de la punta en varios rangos de corriente. Si se desea soldar aluminio se recomienda usar electrodos de tungsteno con circonio con DC electrodo positivo o se puede soldar usando AC. Estos electrodos deben tener la punta esférica del mismo diámetro que el electrodo, como se observa en la figura 1.11. Para lograr tener esta punta esférica [5], se forma una bola en el extremo del electrodo de la siguiente manera:

1. Al electrodo de tungsteno se lo afila a lo largo del ahusamiento con una punta de aguja y se deja un acabado liso tras pulir con una banda de lija.
2. Se inserta el electrodo en la antorcha, la punta debe extenderse 1/2" fuera de la copa o boquilla de gas.
3. Sujetar la antorcha con el electrodo en vertical sobre una placa de cobre de 1/8" o más de espesor, y establecer un arco usando DC electrodo positivo con arranque de alta frecuencia.
4. Incrementar gradualmente la corriente del arco hasta que se forme una bola en la punta del electrodo, luego reducir la corriente a cero y medir el diámetro de la bola. Repetir este procedimiento hasta obtener el diámetro de la bola deseada.

2.1.3 Gas de Protección y Caudal de Flujo

Los gases inertes son utilizados dependiendo de las propiedades del metal base a soldar, la calidad de la soldadura requerida y cuan económico es usar estos gases en las diversas aplicaciones en GTAW. El argón es recomendado como el gas de protección para la mayoría de las aplicaciones debido a que provee un arco más suave, un voltaje de arco más bajo lo cual es más fácil de controlar que el arco con helio [16]. El caudal depende sobre todo del tamaño de la boquilla de la antorcha, la distancia entre la antorcha y la pieza y del movimiento de aire. Un caudal normal puede ser de 15-30 pies³/h [7].

El helio o las mezclas de helio-argón son recomendadas para la soldadura de secciones

gruesas, materiales con alta conductividad térmica y de alta temperatura de fusión, debido a que el arco de helio tiene una entrada de calor más alta. En condiciones similares, el caudal de helio será dos a tres veces la del argón para proveer la misma cobertura del gas.

2.2 Preparación para la Soldadura

La preparación de la soldadura es un parámetro para considerar antes de realizar cualquier soldadura, se deben preparar adecuadamente los componentes, como lo son: el diseño de la junta, preparación de la junta, limpieza y ensamblaje.

2.2.1 Diseño de la Junta

Las juntas normalizadas utilizadas en otros procesos de soldadura pueden ser usadas para GTAW. El diseño de una junta específica será realizado por un ingeniero o diseñador y dependería de los componentes, material y requerimientos del servicio. Las juntas más comunes son: a tope, traslape, en esquina, de borde y en T; en la figura 2.1 se presentan estas juntas.

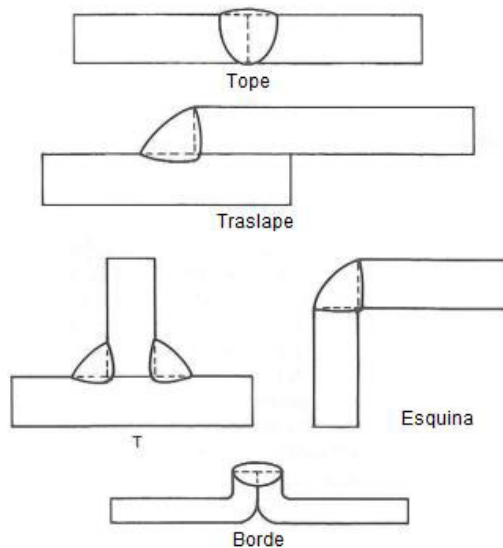


Figura 2.1. Juntas típicas de soldadura. [10]

2.2.1.1 Juntas a Tope

Se puede utilizar junta a tope con borde cuadrado para materiales delgados de hasta 1/8" de espesor. Para realizar una suelda con penetración total sin material de aporte, se debe preparar los bordes para que se alineen adecuadamente con el mínimo espaciamiento presentado en la figura 2.2. En el caso de juntas con borde cuadrado el montaje con

espaciamiento ayudará a alcanzar la penetración total, pero se debe añadir el material de aporte para rellenar el espaciamiento.

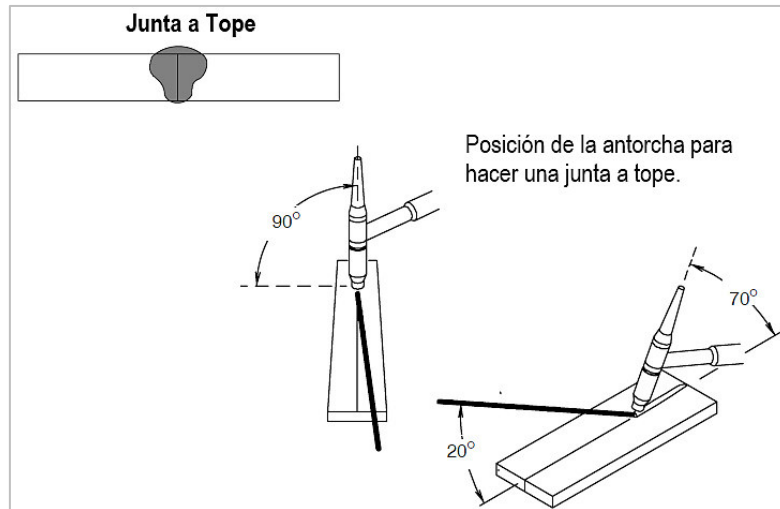


Figura 2.2. Posición para realizar juntas a tope. [7]

Las láminas finas pueden tener un reborde formado sobre los bordes que se están topando, proveído por el metal de aporte y que ayuda a alcanzar la penetración total con una corriente moderada. Las juntas en placas de espesor mayor a 1/8" requerirán una preparación del borde tal como una ranura en "V" o en "J". Se puede usar ranura doble "V" o doble "J" en placas mayores a 1" si la junta es accesible por ambos lados. En la figura 2.3, se enlistan algunas dimensiones recomendadas para juntas a tope y en T.

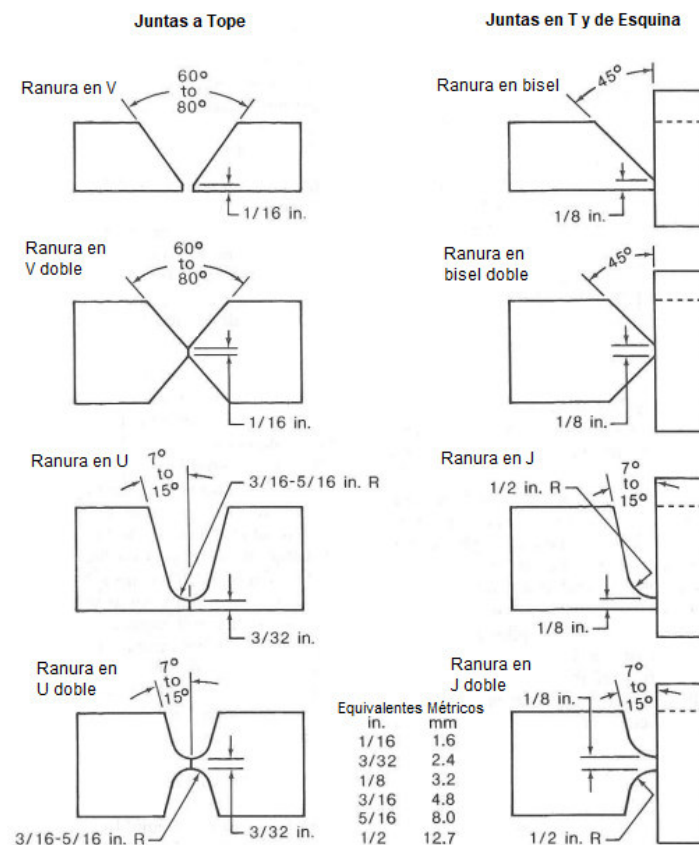


Figura 2.3. Dimensiones recomendadas para juntas a tope y en T. [17]

En materiales gruesos puede ser más económico hacer el cordón de raíz y uno o dos cordones de relleno por GTAW y llenar el resto de la junta con un proceso de deposición más rápido tal como SMAW o GMAW. El factor importante por considerar es el material base y la calidad de soldadura requerida. En el caso de metales ferrosos, los procesos SMAW y GMAW produce soldaduras de calidad y juntas apropiadas. Para soldar juntas en aleaciones y aleaciones de base de níquel donde se aplican estrictas limitaciones de porosidad y propiedades mecánicas, el proceso GTAW sería el mejor para alcanzar soldaduras aceptables.

2.2.1.2 Juntas Traslapadas

Las juntas traslapadas para laminas y placas delgadas requieren una mínima preparación de la junta. El factor importante es que las láminas traslapadas hagan un buen contacto a lo largo de toda la longitud de la junta, por tanto, no se desea que se tenga rebabas ni indentaciones que causen separación de las áreas. Las juntas traslapadas para láminas con espesores de 1/8" o menos pueden ser soldadas sin metal de aporte por fusión del borde de láminas superior con la lámina inferior. Este proceso debe realizarse con cuidado para asegurarse que la soldadura este adecuadamente fundida a la lámina inferior sin causar pandeo o una fusión continua.

En juntas con placas de espesores de 1/8" hasta 1/4" requerirán la adición del metal de aporte de una o más pasadas, la cual debe ser aplicada con mucho cuidado para asegurar que el depósito esté adecuadamente fundido a la placa inferior; en donde el correcto uso de la inclinación del ángulo efectuará una adecuada penetración como se muestra en la figura 2.4.

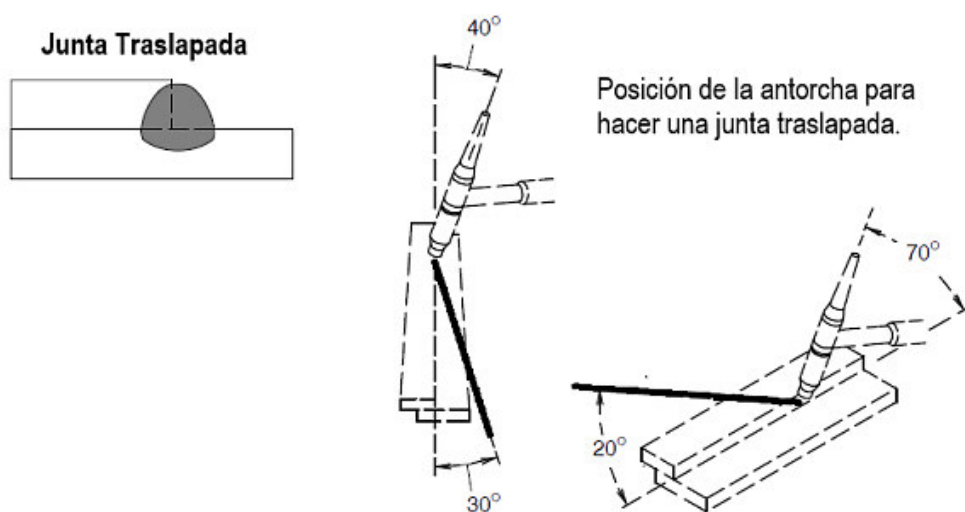


Figura 2.4. Posición de la antorcha para hacer la junta traslapada. [7]

2.2.1.3 Juntas en Esquina

La preparación de las juntas de esquina depende del espesor y el material. En materiales delgados los bordes pueden unirse topándose con una lámina ligeramente sobre traslapada al borde de la otra. Es requerido sujetar los bordes para prevenir su separación por comado durante la soldadura, por medio de alguna instalación. En donde la correcta inclinación de esta es de 70° , como se indica en la figura 2.5.

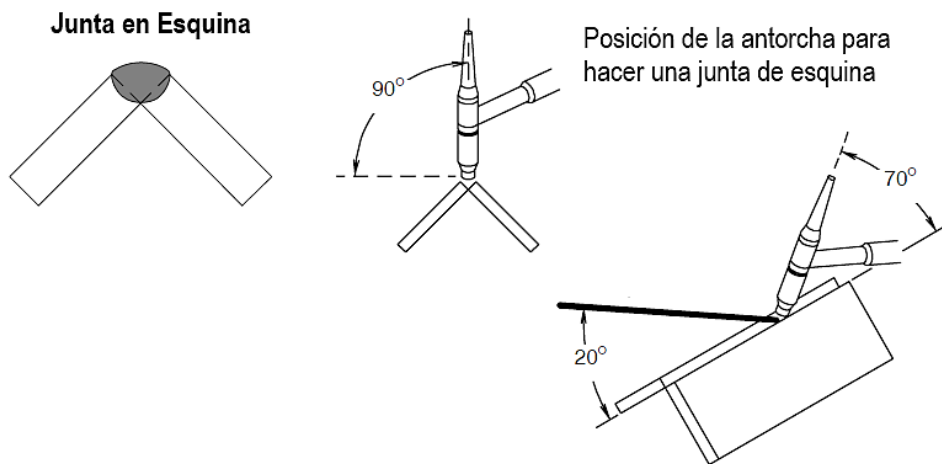


Figura 2.5. Posición de la antorcha para una junta en esquina. [7]

El área de la junta debería estar limpia, es decir, libre de aceite, grasa, pintura, sucio y óxido. Estas juntas pueden ser soldadas por fusión de los bordes de manera simultáneamente sin añadir el metal de aporte. No obstante, una barra de respaldo debería ser usada para prevenir la fusión continua. Un material más grueso requerirá una preparación de la ranura en bisel o en "J" de una de las placas para permitir la penetración total. Al preparar la junta es importante maquinarse los bordes rectos y uniformes lo cual ajustará adecuadamente la junta. Las juntas con preparación de bordes requerirán la adición del metal de aporte y de dos o más pasadas para finalizar la soldadura. La cara de la raíz y la preparación del borde debe ser tal que la penetración total de la raíz pueda ser obtenida en la primera pasada a lo largo del tope, con el fin de evitar la excesiva fusión continua.

2.2.1.4 Juntas en T

Las juntas en T usualmente requieren la adición del metal de aporte en cada lado de la junta con cordones de filete. Dependiendo de los requerimientos, los cordones pueden ser continuos en ambos lados, intermitentes en ambos lados o intermitente en un lado y continua en el otro. Cuando no se requiere una penetración total en la raíz, solo se necesita preparar en la junta un borde cuadrado en el miembro vertical. Si se requiere una penetración total en la raíz en el miembro vertical para espesores mayores de $1/4"$ o

más, es recomendable una preparación en ambos lados del miembro vertical y realizar la soldadura en ambos lados para minimizar la distorsión, como se indica en la figura 2.6.

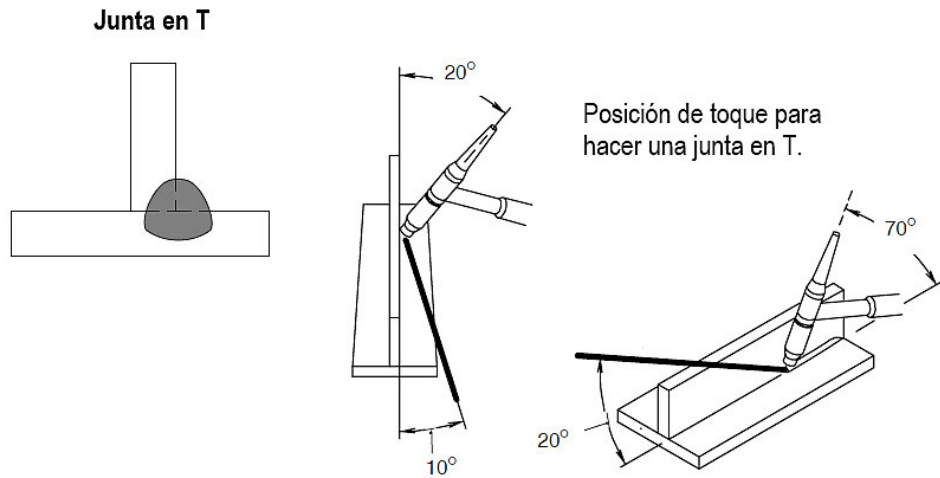


Figura 2.6. Posición para una junta tipo T. [7]

2.2.1.5 Junta de Reborde

Estas juntas son normalmente usadas para unir dos láminas delgadas a lo largo de un borde común. No se requiere metal de aporte debido a que los bordes de las láminas se funden para formar la junta. Esta junta comprende de hendiduras en la raíz por lo cual sería susceptible a fallar con esfuerzos bajos y corrosión bajo ciertas condiciones. Por lo tanto, las condiciones de servicio deben ser examinadas cuidadosamente.

2.3 Manejo de la Antorcha y Adición del Metal de Aporte

Para realizar una soldadura en posición plana, las superficies deben estar limpias y libres de óxido. Se conecta la fuente de poder en DCEN (Polaridad directa), se ajusta el flujo de gas y la corriente para el procedimiento de soldadura requerido.

Se sujeta la antorcha en una mano con un ángulo de 75° en la dirección de avance, como se observa en la figura 2.7 A, y el electrodo debe tener una separación al metal base de 1/4". Se presiona un poco el pedal del pie para cerrar el contactor e iniciar la alta frecuencia, la cual en el panel debe estar colocada en "arranque de alta frecuencia", acto seguido se mueve la antorcha lentamente hacia abajo, a la placa, hasta que se establezca un arco. Una vez encendido el arco se puede incrementar la corriente al valor requerido presionando todo el pedal y se debe mantener esta posición hasta que se establezca la pileta como se muestra en la figura 2.7 B. Con la otra mano se sujeta el metal de aporte con una extensión de al menos 10" y se alimenta a la pileta en el extremo delantero de esta con un ángulo aproximado de 15° con la placa, esto se puede apreciar

en la figura 2.7 C. Luego se retira el metal de aporte fuera de la pileta ligeramente y se funde el metal añadido dentro de la pileta moviendo la antorcha hacia delante, como se muestra en las figuras 2.7 D y E. [18]

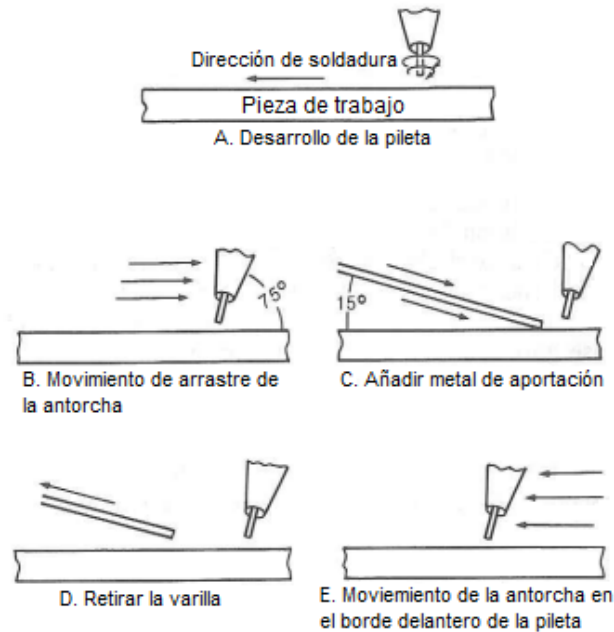


Figura 2.7. Manejo de la antorcha y adición del metal de aporte.

Es importante no retirar el metal de aporte fuera de la protección del gas inerte con el fin de prevenir la oxidación del extremo caliente. Finalmente se mueve la antorcha hacia atrás ligeramente y se alimenta de más metal de aporte dentro de la pileta; este proceso se repite hasta obtener el cordón completo. Al momento de añadir el metal de aporte, se debe evitar que este toque al electrodo de tungsteno porque esto contaminará al electrodo y causará un arco inestable [19]. Si esto pasa el electrodo debe ser removido y esmerilado o reemplazado. En caso de requerir más de un cordón, se repite el procedimiento añadiendo cordones hasta que la ranura es rellenada.

En este proceso el soldador debe usar guantes para soldar en ambas manos, para proteger sus manos y antebrazos de la radiación del arco, evitando así quemaduras y graves problemas en la piel. Además, el soldador se mantiene protegido de choques eléctricos en caso de que el metal de aporte entrara en contacto con el electrodo.

Para hacer una soldadura a tope en posición vertical, se sostiene a la antorcha con un ángulo de 90° a la superficie a ser soldada, y se realiza la soldadura desde arriba de la junta. La pileta se desarrolla de la misma manera que en posición plana y se mueve hacia abajo con cuidado para no desarrollar piletas grandes que podrían deslizarse hacia abajo. Si se necesita añadir material de aporte, se debe agregar el material en el borde

delantero de la piletta sosteniéndolo con un ángulo cercano a 15° hacia abajo desde la junta. Se añade el material cuando la antorcha es movida atrás y para fundir el material añadido se mueve la antorcha hacia abajo, repitiendo este paso hasta que la soldadura este completada. El metal fundido en las posiciones vertical, sobre cabeza y plana se diferencian por cómo se sostienen por la acción capilar. Si se tiene una piletta muy grande, la fuerza gravitacional será más grande que la fuerza capilar y el metal líquido correrá hacia abajo [19]. Por eso el tamaño de la piletta fundida debe ser limitado en la soldadura vertical y sobre cabeza.

2.4 Comparación y selección del gas de protección

Al soldar metales y aleaciones las cuales son susceptibles ante la contaminación atmosférica es importante proporcionar una protección la cual evite esta contaminación, el uso de un determinado gas de protección ayudara a la obtención de zananas de soldadura más limpias y sin ningún tipo de agentes contaminantes, en la tabla 2.1 se realiza una comparación de todos los gases que son utilizados en el proceso GTAW. [7]

Tabla 2.1. Comparación de los gases de protección empleado en el proceso de soldadura GTAW.

Características	Argón	Helio	Mezcla Argón-Helio
Velocidad de avance	Velocidad de avance reducidas	Velocidad de avance más rápidas	Velocidad de avance mejoradas por encima del 100% de Argón.
Penetración	Penetración reducida	Mayor penetración	Penetración mejorada por encima del 100% de Argón.
Limpieza	Excelente acción de limpieza	Menor acción de limpieza	Propiedades de limpieza semejantes a la del Argón.
Arranque de arco	Arranque de arco más fácil	Arranque de arco más difícil	Arco mejorado a partir de 100% de helio
Estabilidad de arco	Buena estabilidad de arco	Menos estabilidad de bajo amperaje	Estabilidad de arco mejorada sobre 1005 de helio.
Longitud de arco	Longitud de arco enfocado	Longitud de arco acampanado	Longitud de arco más enfocado que con helio.
Voltaje de arco	Voltaje arco más bajo	Voltaje de arco más alto	Voltaje de arco entre 100% Argón y Helio.
Tasa de flujo	Tasas de flujo más bajas	Caudales más altos	Caudales más alto que el Argón
Costo	Menor costo y mayor disponibilidad	Costo más alto que el Argón	Costo mayor al del Argón.

Si se desea seleccionar un gas de protección adecuado dependiendo del requerimiento de trabajo, se debe tomar en cuenta las caracterizas del gas de protección para cada material, pues estas pueden ser beneficiosas o perjudiciales dependiendo de cual se

utilice.

En GTAW se obtienen las soldaduras de mayor calidad porque la zona del arco está protegida por el gas inerte, siendo el argón es el gas más utilizado en AC y DC.

En la tabla 2.2. muestra los gases de protección y las polaridades recomendadas para la soldadura de algunos metales no ferrosos. En soldadura GTAW manual, el argón es el gas inerte de protección más usado, pero también se tienen mezclas de argón y helio. En soldadura GTAW automática se pueden utilizar argón, helio, mezclas de argón-helio y argón-hidrógeno. Estas mezclas de gases se pueden obtener ya preparados en cilindros de gas de soldadura. [5]

Tabla 2.2. Gas de protección y tipos de corriente sugeridos para diferentes metales.

Metal	Espesores	TIG Manual	TIG automático
Aluminio y aleaciones de aluminio	Menores a 1/8" (3,2mm) Mayores a 1/8" (3,2mm)	Argón (AC-HF) Argón (AC-HF)	Argón (AC-HF) o Helio (DCEN) Argón-Helio (AC-HF) o Helio (DCEN)
Cobre	Menores a 1/8" (3,2mm) Mayores a 1/8" (3,2mm)	Argón-Helio (DCEN) Helio (DCEN)	Argón-Helio (DCEN) Helio (DCEN)
Aleaciones de Níquel	Menores a 1/8" (3,2mm) Mayores a 1/8" (3,2mm)	Argón (DCEN) Argón-Helio (DCEN)	Argón (DCEN) o Helio (DCEN) Helio (DCEN)
Titanio y aleaciones de titanio	Menores a 1/8" (3,2mm) Mayores a 1/8" (3,2mm)	Argón (DCEN) Argón-Helio (DCEN)	Argón (DCEN) o Argón-Helio (DCEN) Helio (DCEN)

AC-HF: Corriente alterna a alta frecuencia

DCEN: Corriente continua electrodo negativo

2.5 Descripción de la soldadura manual

En GTAW para realizar una soldadura manual se debe considerar ciertos aspectos de acuerdo con el tipo máquina que se usara para realizar el proceso.

2.5.1 Técnicas en la soldadura manual

Para convertirse en experto en la soldadura manual en GTAW, el soldador debe desarrollar habilidades en el manejo de la antorcha con una mano mientras que este contrala la corriente de suelda con el pedal de pie o con el control para dedo (usando el pulgar) y a su vez mantener alimentando el metal de aporte con la otra mano. Antes de empezar a soldar cualquier elemento, es necesario tener una clara idea de las variables de operación que se requerirá para el desarrollo del proceso como tales como material de

aporte, corriente, gas de protección, etc.

2.5.2 Métodos para Arrancar el Arco

En GTAW se puede arrancar el arco topando la superficie de la pieza de trabajo con el electrodo, por la superposición de alta frecuencia o por un pulso de voltaje. Sin embargo, en trabajos críticos no se recomienda aplicar esta técnica debido a que hay una mayor probabilidad de presentarse contaminación por tungsteno.

La mayoría de las fuentes de poder en este proceso comprenden de un generador de alta frecuencia (regularmente un oscilador de chispa) el mismo que impone alta frecuencia sobre el circuito principal de poder. Cuando se esté soldando con DC ya sea electrodo negativo o positivo, el switch de alta frecuencia (HF) debe hallarse en posición de arranque (start). El soldador debe mantener presionado el pedal de pie, activando un temporizador (timer) por la alta frecuencia iniciando así el arco [8]. Una vez iniciado, el arco se mantendrá después de que pare la alta frecuencia, el suficiente tiempo como para que la energía y la longitud del arco sean adecuadas.

Al realizar el proceso de soldadura con AC, el switch HF debe situarse en posición continua para asegurar la reanudación del arco después de la inversión del voltaje en cada medio ciclo. Los generadores de alta frecuencia en las soldadoras generan frecuencia en el rango de las radiocomunicaciones. En virtud de ello, los fabricantes de las fuentes de poder deben certificar que la radiación de radio frecuencia desde la fuente de poder no supere los límites establecidos por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) [7]. La radiación permitida en ocasiones puede causar daños en determinados sistemas de computación, microprocesadores y comunicación. Este tipo de interferencias deben ser indagadas antes de que el arrancador de alta frecuencia sea empleado. Las instrucciones de instalación obtenidas con la fuente de poder deben ser revisadas y continuar con un riguroso análisis a la alta frecuencia.

El arranque del arco puede ser ejecutado con el pulso de un alto voltaje en un rango de 2 a 3 KV para una duración de pocos milisegundos. El voltaje debe ser alto lo suficiente para saltar el espacio existente entre el electrodo y la pieza, así como su duración debe ser suficientemente larga para permitir que la corriente principal de la soldadura empiece a fluir. El arco piloto entre el electrodo y un electrodo auxiliar en la antorcha, el cual puede ser en forma de anillo [4], ocasiona que el arco se mantenga estable entre el electrodo principal y la pieza.

Para los dos métodos de arranque se necesita de una fuente de poder especial la cual es

directamente suministrada con la fuente de poder principal. El sistema de arranque de alto voltaje solicita de una fuente de alto voltaje, el mismo que se encarga de la carga de condensadores y de la descarga de estos por medio del espaciamiento del electrodo. El método de arco piloto necesita de un voltaje bajo auxiliar, fuente de baja corriente, así como de una antorcha especial que contenga al electrodo auxiliar. Las fuentes de poder de estos sistemas son muy pocos conocidos dentro de la industria de la soldadura, siendo usados en aplicaciones automáticas. [4]

2.5.3 Gas de Respaldo, Remolque Protector y Cámaras de Atmósfera

Los metales y aleaciones al soldar son propensos a la contaminación proveniente de la atmosfera, por lo cual es necesario proporcionar una adecuada protección a toda la zona de soldadura con el gas de protección. Siendo aplicado en aleaciones de metales reactivos como: el titanio, aluminio, circonio y determinadas aleaciones de níquel; y materiales refractarios, como: el columbio, el tantalio entre otros [20]. El gas inerte proporcionado no suministra una protección adecuada para la soldadura, por lo cual, se debe proteger la superficie y la raíz de los contaminantes del área de trabajo hasta que se haya logrado un adecuado enfriamiento en dichas zonas.

Se puede proteger la raíz de una mejor manera usando una barra ranurada de respaldo. En la figura 2.8 se puede visualizar como el gas de protección es introducido a lo largo de toda la ranura a través de una serie de pequeños orificios. Debido al espacio pequeño el caudal a usar en la barra de respaldo debe ser parcialmente bajo, llegando a un valor aproximado de 5 pies³/h. [20]

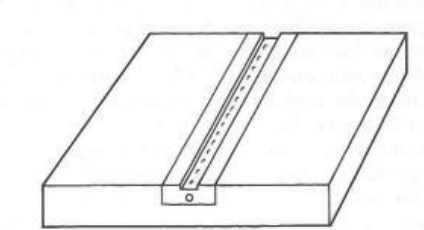


Figura 2.8. Ranura de respaldo con orificios. [20]

Para una mayor cobertura del gas se utiliza un remolque protector, el cual suministra el gas a lo largo de toda la superficie de soldadura mientras este es enfriado. En la figura 2.9 se indica la estructura del remolque el cual consta de una sección tipo canal, abierta en el fondo, cerrada en ambos extremos, con un extremo unido y anclado a la antorcha.

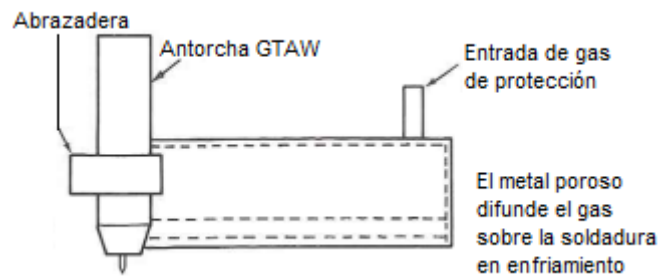


Figura 2.9. Metal poroso dentro de un remolque protector. [20]

Se puede introducir el gas por la parte superior o ya sea por el extremo opuesto de la antorcha. En el interior del remolque se puede ajustar un bloque de material poroso o un bloque de algunas capas de mallas de un alambre fino por encima del canal. El bloque tiene como finalidad formar un flujo uniforme de gas para cubrir toda la zona caliente de la soldadura hasta llegar a punto de enfriamiento donde la superficie no presente óxido o contaminación del aire circundante una vez que haya pasado el remolque.

El tamaño de la soldadura como el calor de entrada y la velocidad de avance son factores de los que dependerán la longitud y el ancho del remolque protector. Con respecto a la soldadura manual en donde se usa una velocidad de avance y energía parcialmente bajas, se puede adaptar un remolque corto y lo suficientemente ancho para mantener la cobertura, en caso de que la antorcha sea girada por el soldador hacia otro lado. En aplicaciones de soldadura automática, por lo contrario, es necesario un remolque protector más largo dado que las velocidades y la energía de entrada son relativamente más altas. El caudal en el remolque protector puede ser similar o mayor al caudal en antorcha, llegando a un rango que oscila entre los 20-50 pies³/h [19]. Los remolques protectores se pueden ajustar a juntas cilíndricas o circulares curvándolos.

Al efectuar el proceso de soldadura dentro de una cámara o gaveta se puede obtener una mejor pureza de la atmósfera con gas inerte. Todo el equipo para usar en el proceso como las piezas a soldar, instrumentos, antorcha y el material de aporte son colocados dentro de la cámara, a la cual se le realiza un vaciado para después ser rellena con el gas. Se depura la cámara usando argón, aunque se puede utilizar otro gas inerte, hasta conseguir una reducción aceptable de oxígeno y nitrógeno; se consumen un total de gas de hasta ocho veces el volumen de la cámara.

La pureza requerida y la capacidad del sistema de bombeo son factores de los que dependerá el nivel de evacuación de la cámara. Aquí se puede usar una bomba mecánica que es capaz de evacuar de 10 a 12 micrones (1×10^{-2} torr) o una bomba de

difusión siendo capaz de evacuar a 0.1 micrón (1×10^{-4} torr). [10]

Las puertas de la gaveta son cubiertas con placas a lo largo de la evacuación de esta forma se busca evitar que la gaveta sea empujada en el interior de la cámara y rota a causa de tal impacto. El espacio existente entre la gaveta y las placas de protección de la puerta deben tener una conexión directa a la cámara principal a través de un tubo, de tal forma que se llegue a un equilibrio de presión. Una válvula es requerida para cerrar el tubo para luego de que el sistema es llenado con el gas inerte y antes de que las placas de protección de la puerta sean removidas. La presión al interior de la cámara debe ser correctamente ajustada. Esta presión en el interior de la cámara debería ser acoplada de tal forma que gaveta ejerza una fuerza hacia afuera, pero suspendido flexiblemente. La pureza del gas en el interior de una cámara puede ser comprobada a través de la aplicación del proceso de soldadura en una pieza de titanio para después analizar la superficie obtenida. Este debe presentar un color metálico brillante sin coloración. Al apreciar un leve color bronce indica que este posee un pequeño porcentaje de aire, por otro lado, el cambio de color azul claro a oscuro refleja el creciente nivel de contaminación. Al presenciar un óxido blanquizco refleja un elevado nivel de contaminación del aire. [10]

Las gavetas y sus puertas son esenciales en la cámara de soldadura aun si la soldadura a realizar es de forma automática. Después de que todos los componentes sean instalados en la cámara y esta sea llenada con el gas inerte, será importante cargar y descargar instalaciones, alinear la junta, cambiar los electrodos adicionalmente el operador realizará diferente ajustes en el caso que sea necesario, este debe estar completamente capacitado para manipular con sus manos en el interior de la cámara.

Las gavetas y sus puertas son esenciales en la cámara de soldadura aun si la soldadura a realizar es de forma automática. Después de que todos los componentes sean instalados en la cámara y esta sea llenada con el gas inerte, será importante cargar y descargar instalaciones, alinear la junta, cambiar los electrodos adicionalmente el operador realizará diferente ajustes en el caso que sea necesario, este debe estar completamente capacitado para manipular con sus manos en el interior de la cámara.

2.6 Descripción de la soldadura automática

Al igual que la soldadura manual, para realizar soldaduras con máquinas automáticas se debe considerar otros tipos de aspectos por la forma de operar de la máquina, los diferentes sistemas automatizados y los parámetros que influyen en estos, deben ser considerados para realizar soldaduras con este proceso.

2.6.1 Técnicas en la soldadura automática

En soldaduras automáticas o a máquina en GTAW, se monta a la antorcha en un sujetador y por medio de un mecanismo se provee el movimiento de esta con respecto a la pieza de trabajo.

2.6.1.1 Soldadura a Máquina Básica

Esta técnica se presenta en su modo más simple, en donde la antorcha es montada en un carro móvil mientras que sus componentes son montados en un dispositivo en posición fija. Donde la junta es correctamente alineada con la antorcha y esta es acoplada para la obtener una adecuada longitud de arco.

Una vez de haber dado por iniciado al arco, así como el proceso de soldadura, puede ser requerido un ajuste adicional en los parámetros de longitud del arco, así como del alineamiento con la junta siendo factores esenciales. En el caso de juntas cilíndricas, se fija a la antorcha y se rota al metal y componentes en la parte inferior del arco.

Al añadir al alambre de aporte se lo realiza a través del empleo del sistema de alimentación de alambre en frío. La guía del alambre debe ser acoplada para que esta alimente al alambre en la parte frontal de la piletta de soldadura, otro factor a considerar es la tasa de alimentación ajustándolo de tal forma que el alambre sea fundido en la piletta de soldadura sin provocar en este el congelamiento. [22]

2.6.1.2 Establecimiento de Parámetros en la Soldadura Automática.

Al trabajar con el electrodo de tungsteno se debe considerar los siguientes parámetros en el proceso, como la configuración de la punta, rango de corriente, gas inerte, caudal y velocidad de avance lo cuales deben ser determinados y ajustados de acuerdo con las especificaciones del procedimiento y propiedades del metal base a ser soldado. En el caso en el que las especificaciones del procedimiento para la pieza trabajo no existan, los parámetros pueden ser realizados de forma experimental, iniciando con datos a través de fuentes bibliográficas de manuales y otras fuentes publicadas referentes al material estudiado.

Por lo común, los factores que deben ser tomados en consideración para el proceso automático en la soldadura GTAW son la corriente, voltaje, gas de protección, diseño de

la junta, preparación de la junta y alambre de aporte. las diferentes existente en la soldadura GTAW manual y maquina/automática radica en la velocidad de avance, corriente, así como en la tasa de alimentación que en determinadas ocasiones poder ser superiores en la soldadura máquina/automática. El uso del remolque protector para el proceso de soldadura con máquina o automática es indispensable la trabajar con corrientes y velocidades altas ya que el depósito de soldadura se mantendrá lo suficiente caliente para oxidarse una vez que pase la antorcha, el remolque protector es recomendado para todos los materiales. Al trabajar con metales reactivos y refractarios tal como el titanio y columbio es necesario el uso del remolque protector, por otro lado, al referirse a aleaciones a base de níquel y cobalto el empleo del remolque protector viene a ser indispensable debido a que estos metales necesitan de una protección extra por su fragilidad al ser sometidos a altas temperaturas. [19]

2.6.1.3 Control de Velocidad de Avance

El control de velocidad de avance en la soldadura a máquina es aplicado, a través del mecanismo de avance el cual debe añadir un control de velocidad el mismo que al ser ubicado, es capaz de proporcionar una velocidad uniforme en el rango de arreglo ajustable. Los controles de velocidad con realimentación electrónica usan un motor electrónico DC, así como una caja de velocidades para suministrar el rango de velocidad precisa. Los controles pueden utilizar el voltaje de armadura a partir del motor o un voltaje adicional. Este voltaje es equilibrado con el voltaje referencial ajustado en el controlador el cual se adapta a la corriente del motor para conservar la velocidad requerida. [19]

El movimiento relativo puede ser obtenido teniendo los componentes montados en posición fija y la antorcha montada sobre un tractor móvil o carro al lado de una viga el cual mueve la antorcha a lo largo de la junta. Este es el arreglo preferido para juntas largas. Para juntas cortas los componentes pueden ser montados sobre un carro móvil y la antorcha montada a un soporte fijo pero ajustable. El montaje fijo de la antorcha puede también ser usado para soldadura de juntas cilíndricas donde la parte es rotada bajo la antorcha. El mismo tipo de transmisión con motor DC y control de velocidad electrónico debe ser usado para el movimiento rotacional.

2.6.1.4 Control de Velocidad de Alimentación de Alambre

Para el proceso GTAW el rango de la tasa de alimentación de alambre frío tiene una proximidad de una décima la cual representa una parte de la empleada para la alimentación de alambre en el proceso GMAW. Los rodillos de tracción son uno de los

principales componentes del sistema de alimentación de alambre, estos son impulsados a través de un motor con una caja de velocidad, tubo de salida de alambre, boquilla guía del alambre y sujetador de la bobina de alambre. Estos componentes son semejantes aquellos que son utilizados en el proceso GMAW, excluyendo a la tasa de alimentación ya que esta viene a ser más baja, tampoco es necesario el contacto eléctrico al alambre. Para compensar esto es necesario el uso de una boquilla de salida del alambre ajustable, de esta forma permite que el alambre sea posicionado en una correcta posición en la pileta de soldadura.

Los alimentadores de alambre en su mayor parte lo hacen con una tasa de alimentación constante; no obstante, unos pocos son disponibles con alimentación con un menor incremento, esto ayuda a avanzar y parar o ya sea para parar, avanzar o disminuir para aparentar la acción de una soldadura manual, generando la alimentación del alambre con pequeños golpecitos. Para este tipo de alimentadores de alambre es necesario un control diseñado especialmente para permitir el establecimiento de la velocidad de avance y tiempo, velocidad de disminución y tiempo. [7]

A través de la unidad de control de microprocesador se puede llegar a la obtención de esta acción, la misma que da inicio al impulso del motor en dirección inversa dos veces en cada aumento de alambre. Otras de las técnicas utilizadas es el uso de dos motores los cuales son conectados mediante un engranaje diferencial fijo.

En el caso del primer motor da inicio al movimiento con una velocidad constante en la dirección de avance, al contrario, el otro se pone en movimiento intermitente en la dirección opuesta para producir una reducción neta del alambre. La acción de borde es netamente útil en la construcción de reborde hacia arriba de componentes delgados en los cuales la alimentación continua del alambre crea un excesivo desbordamiento.

2.6.1.5 Control de Voltaje de Arco (Longitud de Arco)

El voltaje de soldadura o arco son directamente proporcionales al gas de protección, así como la distancia existente entre la punta de electrodo y la pieza de trabajo. En donde al ser un proceso de soldadura manual la distancia entre estos dos, la longitud de arco será manejada por el operador. Por otro al ser el proceso automático la longitud de arco es predeterminada por la distancia existente entre la punta del electrodo hasta la pieza de trabajo. Una de las ventajas que presenta el proceso de soldadura automático es que mediante la aplicación de controladores de voltaje de arco los mismo que permitirán el

correcto movimiento de la punta del electrodo hacia arriba y abajo de forma que se logra mantener estable la longitud de arco. [23]

El gas de protección a utilizar incide directamente sobre el voltaje del arco. En donde el helio proporcionará voltajes de arco mayores en relación con el voltaje de arco establecido por el argón, lo que demuestra que el helio posee mayor capacidad de penetración.

La longitud de arco presenta una relación directa sobre el voltaje de soldadura, es decir que al incrementar la longitud de arco se incrementara el voltaje, al tener un voltaje de soldadura muy excesivo el arco también tenderá a serlo, esta condición provocara un cordón de soldadura irregular, así como una baja penetración. Al trabajar con la longitud de arco excesivamente alta, el gas de protección puede no proporcionar una suficiente protección lo que tiende a ocasionar la creación de poros y un cordón de soldadura descolorado. En la figura 2.10 se indica los diferentes efectos de la longitud de arco excesiva.

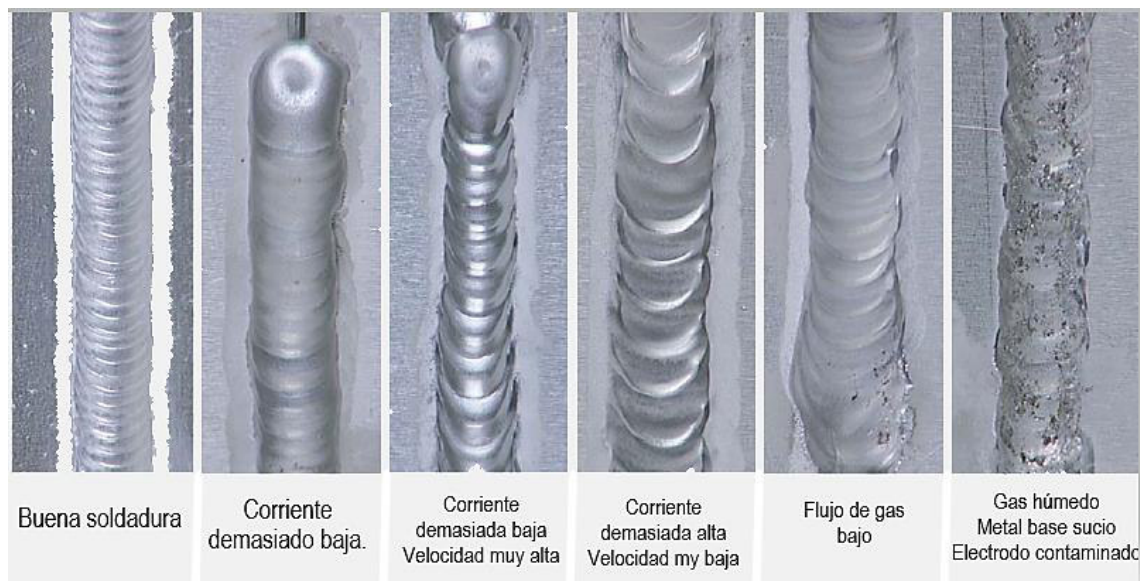


Figura 2.10. Efectos de la longitud de arco excesiva. [19]

Una longitud de arco demasiado corta también puede causar problemas. Aumenta el peligro de contaminación del electrodo porque es más probable que el soldador sumerja el extremo del electrodo en la piletta de soldadura. Otro problema es que se acumula más calor en el electrodo de tungsteno y en la copa del soplete porque están más cerca de la piletta de soldadura. Esto reduce la vida útil del electrodo.

Las unidades de control más avanzadas son capaces de controlar al voltaje de arco en un rango de 0.1 voltios y emplean circuitos que reaccionan de forma rápida ante cambio en la longitud de arco, pero soporta la sobrecarga.

Los motores de imán se mantienen en DC y motores de paso son utilizados en este tipo de controladores.

Motores de imán permanente DC y motores de paso son usados en estos controles.

2.6.1.6 Programadores de Soldadura

Los programadores de soldadura pueden alcanzar a controlar todas las funciones paramétricas en el trabajo de la soldadura GTAW: corriente de arco, voltaje, velocidad de avance, tasa de alimentación del alambre y flujo de gas. El microprocesador puede variar a estos parámetros a lo largo de las juntas en el que el espesor, así como otros de los factores requieren de un cambio. En el proceso GTAW la mayoría de las fuentes de poder modernas usadas, son capaces de mantener a la corriente de forma controlada mediante un controlador externo o microprocesador. Los voltajes que son impuestos como referencia para el control del voltaje del arco, velocidad de avance y tasa de alimentación de alambre son proporcionados a través del microprocesador y alimentado en el interior de la unidad de control respectivamente para cada una de las funciones destinadas [23]. Al operar una variedad de aplicaciones en el proceso de soldadura GTAW automático, existen varias máquinas de soldar las mismas que pueden ser diseñadas y construidas según el requerimiento del trabajo.

La máquina GTAW puede ser diseñada para admitir partes a partir de un sistema de transportador, armado de ellas, revisar el ensamble, efectuar las soldaduras necesarias, por lo tanto, evacuar en el interior de un depósito o cualquier otro sistema transportador. Varias soldaduras pueden ser efectuadas sobre cualquiera de las partes de forma simultánea o en efecto utilizando una fuente de poder y controles de soldadura múltiple o simple. Varias de las máquinas de soldadura son diseñadas por cuantiosas compañías para un propósito en especial.

Usualmente todos los accesorios son considerados al momento de construir estas máquinas con el fin de ejecutar la soldadura requerida (fuentes de poder, unidad de control, alimentador de alambre, antorcha y mecanismos de avances del trabajado, etc.) o pueden añadir algún otro quipo existente.

Previo al diseño y construcción de una máquina de soldar, el proceso y aplicación debe existir un estudio completo, así como desarrollo de pruebas de las sueldas de esta forma se está asegurando que el proceso de soldadura y la técnica operan satisfactoriamente.

En ocasiones, una pequeña modificación en la configuración de la junta puede reducir el trabajo o aumentar el potencial para la obtención de buenas soldaduras, esto debe ser tomado en cuenta siempre que se diseña un sistema de soldadura automática. [10]

2.6.1.7 Corriente Pulsante, Alimentación de Alambre Pulsante

La corriente pulsante en el proceso de soldadura GTAW suministra una profunda penetración y una más de gran tamaño razón penetración- ancho que la soldadura GTAW continúa con el mismo valor de calor de entrada.

La pulsación resulta más efectiva a cantidades de pulso bajas tales como un pulso por segundo y amplitudes de pulso altas. Una de las principales ventajas es la más grande pulsación está en laminas delgadas, cordones de raíz y construcciones de reborde delegado. La pulsación también disminuye el necesario nivel de formación del operador para trabajos críticos. En láminas delgadas y cordones de raíz, una alta corriente y una duración corta del pulso de corriente puede conseguir de forma satisfactoria una penetración completa, pero la fusión exclusiva y goteo es impedido debido a la corriente descende rápidamente hasta lograr un valor determinado al final del pulso. [21]

En el modo corriente pulsante, el calor de soldadura es empleado de forma rápida a la junta lo que ocasiona una pequeña área local a fundirse. En el caso en el que una corriente fuera aplicada de forma continua, una desmedida fusión puede producirse a no ser que la velocidad de avance sea aumentada significativamente. Con altas velocidades de avance, el material fundido en la junta posee una tendencia a hacerse bolas a lo largo de ambos filos en lugar de seguirse uniendo. La técnica de la corriente pulsante disminuye el corriente previo que la piqueta de soldadura

El modo de la corriente pulsante, al ser combinada con un alimentador de alambre pulsante, optimiza la construcción con soldaduras de borde como por ejemplo los sellos rotatorios en las tuberías de gas. Esta técnica imita la técnica manual en el cual el operador mueve la antorcha de adelante hacia atrás agregando al material de aporte con pequeños incrementos o golpecitos.

El proceso automático, con alimentación de alambre y corriente pulsante, dota de un mejor control, así como de un depósito más uniforme en comparación al proceso desarrollado por los soldadores manuales más capacitados. En el momento en que se usa una corriente y tasa de alimentación de alambre continuo, tiende a crearse un rollo en el depósito volviéndose más grueso en donde se debe construir un borde fino. Cuando la corriente y la alimentación de alambre son pulsantes, existe la necesidad de que ambos sean sincronizados mutuamente. Tanto el pulso de una alta corriente como el pulso de alimentación, ambos deben coincidir para fundir el aporte que fue agregado al borde. Cuando cae la corriente esta permite que el depósito se solidifique antes que el ciclo se repita.

2.6.1.8 Instalación, Protección de Respaldo

La instalación para GTAW automática debe ser diseñada y construida para trabajos específicos.

Algunos principios generales por considerar son:

1. La instalación debe ser lo suficiente rígida para sujetar los componentes en su lugar sin movimiento o distorsión cuando la suelta es realizada pero no debe ser muy pesada.
2. La instalación debe ser hecha de un material no magnético, como latón, aluminio o cobre. Las instalaciones pueden ser hechas de algunos materiales diferentes para utilizar las propiedades de cada uno de ellos. Si se utiliza cobre para enfriar, este debe ser niquelado donde se contacta con el trabajo para prevenir la entrega del cobre. Esto es importante cuando se está soldando aleaciones de base de cobalto donde la penetración intergranular del cobre puede ocurrir.
3. Las partes que se sujetan de las instalaciones deben ser diseñadas para una rápida operación tal que se pueda obtener con la acción de una palanca acodillada. Los sujetadores de acción directa hidráulicos de aire pueden ser usados en soldadura a máquina o totalmente automáticas.
4. La instalación debe proveer la protección de respaldo con gas inerte para todas las sueltas. Las barras de respaldo para cada suelta deben tener una ranura de salida centrada bajo la junta y esta debe ser conectada a la fuente

abastecedora del gas inerte. La parte superior de las soldas será protegida con gas inerte de la antorcha y del remolque protector, pero la instalación puede incluir deflectores a lo largo de la junta para ayudar a mantener el gas inerte sobre la suelda que está enfriándose y reducir las corrientes de aire.

2.6.1.9 Protección Auxiliar

Para soldadura a máquina y automática donde las velocidades son altas, es importante que la protección del gas inerte sea proveída sobre la superficie superior de la suelda mientras está enfriándose. Este puede ser proveído por un remolque protector o cámara de atmósfera controlada. El remolque protector en combinación con una protección de respaldo proveerá una protección adecuada para la mayoría de los materiales y aplicaciones y es mucho menos costosa que la cámara de atmósfera controlada. Las aleaciones de titanio pueden ser soldadas con un remolque protector con ajuste estrecho adecuadamente diseñado.

Los sellos flexibles a lo largo del filo del fondo del remolque protector ayudan a prevenir que el aire entre al área de la soldadura cuando ésta se encuentra todavía caliente. Las aleaciones de circonio, columbio y tantalio son más sensibles a pequeños montos de contaminación de la atmósfera, y estos deben ser soldados en una cámara al vacío llena de argón o helio grado soldadura. [10]

Antes de soldar con remolque y gas de protección o en una cámara, una prueba de soldadura debe ser realizada para examinar cualquier signo de contaminación como evidencia por coloración de la superficie.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Aluminio y sus aleaciones

En el proceso GTAW se utiliza AC para la soldadura de aluminio, debido a que esta corriente genera pulsos positivos que realizan la acción de limpieza y pulsos negativos que suministrarán el calor necesario para soldar la pieza. A pesar de ello, la corriente no proporciona la misma cantidad de calor que al trabajar con DCEN, por lo que se debe aumentar la corriente y utilizar un electrodo de mayor diámetro [6]. También se puede usar a la antorcha en DCEP para bombardear a las superficies con iones de gas, limpiándola y permitiendo una buena humectación en la junta.

Fuentes de poder modernas contienen la opción de proporcionar una onda cuadrada AC, permitiendo ajustar los hemiciclos, por tanto, el pulso positivo se puede ajustar menor valor y aumentar el pulso negativo entregando una mayor cantidad de calor. [7]

Podemos tener dos tipos de onda en AC las que son sinusoidales y las cuadradas. Las ondas sinusoidales llegan a tener una corriente del arco de 0 amperios dos veces en cada ciclo, por lo cual se necesita de la alta frecuencia para reiniciar el arco en cada uno de los hemiciclos. En la onda cuadrada la corriente pasa a través de punto cero tan rápidamente que el arco se reiniciará sin la ayuda de la alta frecuencia. La rectificación de una corriente AC se puede dar con una baja emisión de electrones desde la superficie fundida del aluminio en caso de usar fuentes que no pueden producir una onda balanceada [6]. En este caso, se trabaja con corriente alta con electrodo negativo y baja corriente cuando es positivo, dando una mayor cantidad de calor y reduciendo la acción de limpieza. Para que una fuente de energía proporcione una onda balanceada esta debe disponer de una Tensión de Circuito Abierto (OCV) alta o entregar una alta frecuencia continua.

En soldadura manual con GTAW se recomienda el arranque del arco por alta frecuencia. Una vez iniciado se debe mantener el arco hasta que se establezca la pileta y soldar a lo largo de la junta con una velocidad adecuada. Para alcanzar una adecuada penetración y evitar las socavaciones se debe utilizar una longitud de arco corta, similar al diámetro del electrodo, esto se debe a que un arco largo es más complicado de controlar resultando en cordones anchos y una baja penetración. En ACHF se utiliza electrodos de tungsteno puro (EWP), aleado con zirconio (EWZr) pero no se recomienda el aleado con torio (EWTh) en AC es preferible usarlo con DCEN; todos los electrodos deben tener la punta redondeada.

Al añadir material de aporte es importante evitar que este entre en contacto con el electrodo

porque esto contaminará al electrodo, por lo cual deberá ser sustituido para continuar con la soldadura.

Tomando las consideraciones para soldar aluminio anteriormente mencionadas en la tabla 3.1 se indica un conjunto de parámetros aproximados para realizar esta soldadura en varias posiciones. Los valores indicados son óptimos emplearlos en corriente AC de onda balanceada, con electrodos de EWZr y Argón como gas protector.

Tabla 3.1. Parámetros aproximados para soldar aleaciones de aluminio en juntas a tope en posición plana, juntas solapadas y filetes horizontales

Espesor del Material, plg (mm)	1/16 (1.6)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)
Diámetro del Electrodo, plg (mm)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	1/8 (3.2)	5/32 (4.0)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)
Angulo del Electrodo ⁽¹⁾	Semi.	Semi.	Semi.	Semi.	Semi.	Semi.
Diámetro de la Punta ⁽¹⁾ del Electrodo plg (mm)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	1/8 (3.2)	5/32 (4.0)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)
Corriente del Arco, Amperios	60-80	125-160	190-220	200-300	330-380	400-450
Voltaje del Arco, Voltios	15	15	15	15	15	25
Diámetro del Alambre, plg (mm)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	1/8 (3.2)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)
Velocidad de Avance, ipm (mm/seg.)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	8 (3.4)	8 (3.4)
Diámetro de la Copa en (mm)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)	7/16 (11.1)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	5/8 (15.9)
Caudal de Gas,cfh (l/min)	20(9.4)	20(9.4)	20(9.4)	25 (11.8)	25 (11.8)	25 (11.8)

⁽¹⁾ Observar figura 1.11.

Los electrodos EWZr o EWP deben ser usados en corriente AC

El material de protección puede ser argón excepto para placas de 1/2" (12.7 mm) donde una mezcla de helio-argón puede ser usada para incrementar la penetración. La composición del material de aporte debe coincidir con la composición del material base o ser una varilla recomendada para una aleación base específica

En caso de requerir usar materiales de aporte para soldar las diferentes aleaciones de aluminio (designados bajo la norma AISI [24]) en la tabla 3.2 se recomienda diferentes tipos de materiales de aporte con su designación de acuerdo con la AWS especificada [8]. Estos materiales se presentan presentados de acuerdo con los requerimientos para el trabajo, es decir en caso de requerir una mayor resistencia o ductilidad en el proceso se presentan diferentes materiales.

Tabla 3.2. Metales de aporte para soldar aleaciones de aluminio GTAW

Aleación Base	Material de Aporte		Especificación AWS
	Resistencia	Ductilidad	
1100	ER4043	ER1100	A5.10
2219	ER2319	ER2319	A5.10
3003	ER4043	ER1100	A5.10
5052	ER5356	ER5654	A5.10
5083	ER5183	ER5356	A5.10
5086	ER5356	ER5356	A5.10
5454	ER5356	ER5554	A5.10
5456	ER5556	ER5356	A5.10
6061	ER5356	ER5356	A5.10
6063	ER5356	ER5356	A5.10
7005	ER5556	ER5356	A5.10
7039	ER5556	ER5356	A5.10

Siguiendo las recomendaciones de limpieza, protección y parámetros presentados la soldadura del aluminio y sus aleaciones, el cordón de soldadura obtenido es uno de alta calidad que se puede distinguir por las zonas brillantes tanto en el cordón como en bordes del ZAC. Sin embargo, si el cordón presenta una apariencia gris oscura esta puede ser causada por una baja protección gaseosa, una baja corriente, una excesiva longitud de arco y por un arco inestable.

3.1.2 Aleaciones de Base Níquel

El proceso GTAW es el más aplicado al momento de soldar aleaciones de base níquel, debido a que es capaz soldar la mayoría de las aleaciones. La corriente recomendada para las soldaduras manuales y automáticas es la DCEN. Es muy importante que el gas de protección cubra a la soldadura tanto en la parte superior como en la parte inferior.

Como medio de protección es posible a usar argón, helio o una mezcla de estos gases; pero serán seleccionas por el tipo de soldadura. En soldadura manual el gas argón es preferido, al cual se le puede agregar un 5% de hidrógeno para mejorar la acción de limpieza en pases simples, pero no se debe usar pases múltiples debido a que puede causar porosidades [5]. En soldadura automática se prefiere usar el gas helio porque permite trabajar con velocidades más altas a la misma corriente. Una buena protección del arco evitara que se presente porosidades y se reduzca la ductilidad en las aleaciones.

Una buena cobertura de gas estará determinada por el uso de una boquilla de gas lo bastante grande como para proporcionar una protección completa. En soldaduras automáticas se utiliza el remolque de gas protector y el gas de respaldo para obtener la

superficie superior e inferior libres de óxidos.

La antorcha mantenida en posición vertical con una longitud del arco que puede estar entre un rango de 0.02" a 0.05", proporcionara una buena protección. Si se inclina la antorcha esta no debe ser mayor a los 35° con respecto a la vertical para evitar la contaminación por aire.

Con las recomendaciones antes mencionadas y las consideraciones respecto al proceso GTAW en la tabla 3.3 se lista los parámetros aproximados para realizar la soldadura.

Tabla 3.3. Parámetros aproximados para soldar aleaciones de base níquel en juntas a tope en posición plana, juntas solapadas y filetes horizontales.

Espesor del Material, plg (mm)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	1/2 (12.7)
Diámetro del Electrodo, plg (mm)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	3/32 (2.4)	1/8 (3.2)	1/8 (3.2)
Angulo del Electrodo ⁽¹⁾	30°	30°	45°	45°	60°	60°
Diámetro de la Punta ⁽¹⁾ del Electrodo plg (mm)	0.03 (0.76)	0.03 (0.76)	0.045 (1.1)	0.045 (1.1)	0.045 (1.1)	0.045 (1.1)
Corriente del Arco, Amperios	80-100	100-130	120-150	150-200	200-250	225-275
Voltaje del Arco, Voltios	12	12	12	12	12	12
Diámetro del Alambre, plg (mm)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	3/32 (2.4)
Velocidad de Avance, ipm (mm/seg.)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	8 (3.4)	8 (3.4)	8 (3.4)
Diámetro de la Copa en (mm)	1/2 (12.7)	1/2 (12.7)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	5/8 (15.9)	3.4 (19.1)
Caudal de Gas,cfh (l/min)	20(9.4)	20(9.4)	20(9.4)	25 (11.8)	25 (11.8)	30 (14.2)

⁽¹⁾ Observar figura 1.11

El electrodo debe ser EWTh2 para ser usado en electrodo negativo

El gas de protección debe ser argón 100% para soldadura manual; para soldadura con maquina se puede usar helio o una mezcla de helio-argón. La composición del material de aporte debe coincidir con la composición de la aleación base o no coincidir con el contenido de Al y Ti en aleaciones endurecidas por envejecimiento

Adicionar metal de aporte requiere aumentar la longitud de arco para tener una buena manipulación de la varilla y la piletta; pero no se debe aumentar demasiado porque la atmósfera se contaminaría y el material de aporte presentara óxido requiriendo un cambio de varilla.

El níquel puro y las aleaciones níquel-cobre son susceptibles de presentar poros, por lo cual el material de aporte debe contener elementos desoxidantes y constituir con al menos el 50% de la pileta.

Se debe tener mayor cuidado en la protección al soldar aleaciones endurecidas por precipitación para evitar la pérdida de elementos endurecedores, como lo son el titanio y el aluminio, porque se pueden oxidar fácilmente. La humectación también debe ser analizada cuidadosamente al remover óxidos de cromo, titanio y aluminio de la superficie. Usar material de aporte con baja cantidad de titanio y aluminio en comparación al metal base, reduce la tendencia del ZAC a micro agrietarse.

En general todas las aleaciones de base níquel y sus materiales de aporte deberán ser limpiados exhaustivamente para asegurarse que estén libres de aceite, grasa o pintura porque podrían contener azufre y fósforo, los cuales ocasionan agrietamiento en caliente y fragilidad a temperaturas bajas en el níquel debido a que estos elementos se insertan en los bordes de grano [10]. También se puede agregar manganeso y magnesio a algunas las aleaciones para combinarse con los residuos de azufre y fósforo, evitando estos problemas.

Por tanto, en la tabla 3.3 se presenta varios materiales de aporte recomendados para el tipo de aleación de base níquel especificada. [10]

Tabla 3.4. Metales de aporte para soldadura GTAW en aleaciones a base de níquel.

Aleación Base	Material de Aporte	Especificación AWS
Níquel 200	ERNi-1	A5.14
Monel 400	ERNi Cu-7	A5.14
Monel 404	ERNi Cu-7	A5.14
Inconel 600	ERNiCrFe-5	A5.14
Inconel 625	ERNiCrMo-3	A5.14
Inconel 718	ERNiFeCr-2	A5.14
Inconel X750	ERNiCrFe-5	A5.14
Incoloy 800	ER330	A5.9
Hastelloy X	ERNiCrMo-2	A5.14
Hastelloy C	ERNiCrMo-4	A5.14
Waspaloy	ERNiCrCoMo-1	A5.14
Rene 41	ERNiCrCoMo-1	A5.14

Esta soldadura no requiere de precalentamiento, pero en caso de realizarlo la entrada de calor no debe exceder de los 90°C en la mayoría de las aleaciones. En las aleaciones endurecidas por precipitación de base níquel se trata de mantener bajas temperaturas entre

pasadas para reducir el tiempo de enfriamiento y minimizar las tensiones térmicas en el área de la soldadura.

Hay aleaciones que son consideradas no soldables debido a que tienen una limitada característica de soldabilidad, entre las cuales tenemos a las formadas por aluminio y titanio mayor al 8%.

3.1.3 Aleaciones de Titanio

Las aleaciones de titanio generalmente tienen una baja resistencia, pero una buena soldabilidad por lo que no necesita de tratamientos como el precalentamiento; estos tratamientos térmicos pueden reducir la ductilidad en la soldadura.

Estas aleaciones pueden ser protegidas por argón o helio, sin realizar mezclas con otros gases como oxígeno, hidrogeno, etc., [15] y evitando que la suelda se vea afectada por la humedad debido a que pueden fragilizar la soldadura.

El Titanio y sus aleaciones no pueden ser soldados con metales como el hierro, el níquel, el cobre, el cobalto y el aluminio, debido a que formarían compuestos intermetálicos resultando en juntas muy frágiles. Los materiales como el zirconio, el columbio y el hafnio se pueden soldar al titanio. [9]

El titanio al igual que el aluminio presenta una película de óxido en la superficie, pero esta capa delgada no presenta problemas con la humectación de la soldadura, permitiendo que la soldadura fluya. Esto se debe a que el óxido se disuelve en el metal base cerca de la temperatura de fusión obteniendo una superficie limpia. Por el contrario, si nos encontramos con una capa de óxido lo bastante gruesa, de coloración blanca, es recomendable limpiar la superficie previamente y no exponerla a temperaturas mayores a 120°C para no perder ductilidad en la soldadura [9]. En caso de no poder limpiar la capa gruesa de óxido y realizar la soldadura esta presentará problemas de ductilidad porque la capa se disolverá en el metal base.

Es importante considerar que, al usar una buena protección de gas la soldadura esta será brillante y limpia de óxido porque la capa se disolvió sobre la superficie, sin embargo, esto no indica que sea una soldadura de buena calidad porque cuando el óxido se disuelve baja la ductilidad de la soldadura. En caso de requerir realizar varios pases se debe examinar la superficie en busca de óxido que pueden tener diferentes grados de contaminación de acuerdo con la coloración del metal, se puede observar colores azules, gris, bronce y blanco; donde las capas de óxido de bronce y azules pueden ser removidas fácilmente.

La limpieza se puede realizar por decapado con una solución de ácido nítrico-fluorhídrico,

utilizando una herramienta rotativa de carburo o por maquinado y una limpieza posterior con acetona o metiletilcetona [15]. Otros residuos como aceites, grasas, pinturas, o huellas de los dedos pueden causar grietas por tensiones de corrosión y deben ser removidos con solventes.

En caso de que una soldadura presente una capa de óxido blanca o gris esta debe ser analizada debido a que pueden presentar endurecimiento y fragilización, siendo necesario retirar la soldadura y volver a soldar. Se recomendando revisar que el gas de protección suministrado y los equipos estén dando la protección requerida.

Para soldar titanio y sus aleaciones en GTAW se emplea corriente DCEN utilizando un electrodo de tungsteno al 2% de torio (EWTh-2). El arranque del arco se realiza por alta frecuencia, no por contacto debido a que el tungsteno puede desprenderse y contaminar la soldadura.

Al realizar la soldadura es importante mantener una buena protección de la atmósfera mientras se suelda por encima de los 200°C [9]. Por tanto, la boquilla de gas debe ser grande para proporcionar un buen cubrimiento a la piqueta, al ZAC y al metal base alcanzando hasta los 300°C [9]. Se puede adaptar un remolque protector para proveer una cubierta de gas a la soldadura, la longitud del remolque será mayor si la velocidad de avance incrementa. Esta instalación debe refrigerar a la soldadura y proteger a la raíz.

La tabla 3.5 se presenta los parámetros aproximados para soldar titanio y sus aleaciones considerando los criterios mencionados anteriormente.

Es preferible que el material de aporte sea de la misma composición que el metal base, pero en caso de que no sea posible se puede emplear titanio puro para soldadura, aunque su resistencia disminuirá. En la siguiente tabla 3.6 se indica los materiales de aporte posibles de acuerdo con el metal base a soldar. [10]

Como medidas para evitar la contaminación se debe manipular al titanio y al metal de aporte con guantes limpios y las herramientas de taller que entren en contacto con el metal base también deben ser limpiados rigurosamente.

Tabla 3.5. Parámetros aproximados para soldar aleaciones de titanio en juntas a tope en posición plana, juntas solapadas y filetes horizontales

Espesor del Material, plg (mm)	1/32 (0.8)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	1/8 (3.2)
Diámetro del Electrodo, plg (mm)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)
Angulo del Electrodo ⁽¹⁾	30°	30°	30°	45°
Diámetro de la Punta ⁽¹⁾ del Electrodo plg (mm)	0.03 (0.76)	0.03 (0.76)	0.03 (0.76)	0.045 (1.1)
Corriente del Arco, Amperios	25-30	120-130	200-210	220-230
Voltaje del Arco, Voltios	12	12	12	12
Diámetro del Alambre, plg (mm)	--	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)
Velocidad de Avance, ipm (mm/seg.)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)
Diámetro de la Copa en (mm)	1/2 (12.7)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	3/4 (19.1)
Caudal de Gas,cfh (l/min)	20(9.4)	20(9.4)	25 (11.8)	30 (14.2)

(1) Observar figura 1.11.

Los electrodos EWTh2 deben ser usados con electrodo negativo.

El gas de protección debe ser argón 100% para soldadura manual; para soldadura con maquina se puede usar helio o una mezcla de helio-argón. La composición del material de aporte debe coincidir con la composición del metal base para composiciones soldables.

Generalmente el titanio y aleaciones de titanio no requieren un precalentamiento, sin embargo, se puede realizar un precalentamiento a 38°C (100°F) para remover la humedad.

A pesar de que no se requiere de un calentamiento previo, se puede realizar este tratamiento para remover la humedad en la superficie calentándolo hasta 120°C, pero manteniendo cuidado de no exceder esta temperatura para que no se formen las películas de oxido en las superficies.

Tabla 3.6. Metales de aportación para soldadura GTAW de aleaciones de titanio.

Aleación Base	Material de Aporte	Especificación AWS
ASTM G0	ERTi-1	A5.16
ASTM Gr2	ERTi-2	A5.16
ASTM Gr3	ERTi-3	A5.16
ASTM Gr4	ERTi-4	A5.16
Ti-5Al-2.5 Sn	ERTi-6	
Ti-8Al-1Mo-1V	(ERTi-8Al-1Mo-1V)*	A5.16
Ti-6Al-2Cb-1Ta-0.8 Mo	ERTi-15 (ERTi-6Al-2Cb-1Ta-1Mo)	A5.16
Ti-3Al-2.5V	ERTi-9 (ERTi-3Al-2.5V)	A5.16
Ti-6Al-4V	ERTi-5 (ErTi-6Al-4V)	A5.16
Ti-13V-11Cr-3Al	(ERTi-13V-11Cr-3Al)*	A5.16
Ti-0.2Pd	ERTi-7 (ERTi-0.2Pd)	A5.16
Ti-0.8Ni-0.3 Mo	ERTi-12 (ERTi-0.8Ni-0.3 Mo)	A5.16

*Designaciones descontinuadas

3.1.4 Cobre y Aleaciones de Cobre

En GTAW el cobre y las aleaciones de cobre son usados comúnmente para soldar materiales de espesor delgados usando argón y para materiales más gruesos el helio es óptimo especialmente para el cobre y aleaciones de cobre de alta conductividad térmica que aprovechan mejor esta mayor entrada de calor. También se puede usar unas mezclas entre argón y helio empleado en metales de espesores medianos o aleaciones de una baja conductividad; en la cual se prefiere usar una corriente DCEN y un electrodo de tungsteno con 2% de torio (EWTh-2) con punta redondeada.

Al momento de soldar las juntas deben estar libre de aceite, pintura y la grasa que pueden ser removidas usando solventes. Para limpiar las capas de óxido (tenaces) de las aleaciones de cobre se pueden usar ácidos o medios abrasivos. [6]

De acuerdo con los requerimientos se pueden realizar soldaduras de pase simple o múltiples donde los cordones deben ser estrechos o hacer cordones de oscilación estrecha, con el fin de evitar exponer la pileta ancha al aire y a la oxidación. Se recomienda penetrar completamente la raíz en el primer paso y los cordones deben ser lo suficiente gruesos para

prevenir el agrietamiento.

El soldar el cobre y sus aleaciones pueden requerir de diferentes procedimientos y estos son discutidos de forma individual para alcanzar una buena soldadura.

El cobre puro o aleaciones de un 98% de cobre, tienen una muy alta conductividad permitiendo una mayor entrada de calor. Por tanto, el argón es empleado para materiales con espesores hasta 1/16"; y para espesores por encima de este, se recomienda utilizar helio o mezclas argón-helio para alcanzar las altas tasas de calor.

Las aleaciones de cobre con 2.5% de cadmio o cromo pueden ser soldados con las mismas técnicas básicas empleadas en la suelda de cobre puro. Los cobres con 2.5% al berilio forman capas de óxido más tenaces las cuales deben ser removidas, manteniendo una superficie limpia que proporcione buena humectación a la soldadura [10]. Esta aleación tiene una soldabilidad alta debido a que tiene una buena fluidez y bajo punto de fusión y conductividad baja.

En soldadura manual se prefiere usar corriente AC por su acción de limpieza removiendo la película de óxido de berilio o si se limpia bien la superficie es posible usar DCEN con una protección adecuada de gas.

Se puede realizar precalentamiento a metales con espesores mayores a 1/8", para compensar la alta conductividad térmica, esta puede incrementar si el espesor es mayor a 1/2" aumentando hasta una temperatura de 350°C. [9]

El zinc en las aleaciones de cobre-zinc (latón) tiene la tendencia de evaporizarse generando una alta presión, por lo cual, es adecuado usar un material de aporte de bronce al silicio para minimizar esta evaporación en el metal base. Se dirige el arco al material de aporte y a la piletta calentando adecuadamente al metal base. El precalentamiento será necesario al tener bajas cantidades de zinc porque este tiene una baja conductividad, en un rango de 90 a 320°C que dependerá del espesor y la conductividad. [9]

Aleaciones cobre-estaño (bronces fosforosos) contienen casi 0.1% de fósforo, presentando una fácil tendencia a agrietarse por su facilidad de perder calor [10]. Para prevenir las tensiones y evitar el agrietamiento se realiza un martillado en caliente de cordón de soldadura. Estas pueden ser soldadas en AC o en DCEN con una velocidad de avance alta y permite el uso de gas argón o helio.

En las aleaciones de bronce al aluminio se puede soldar en cualquier espesor usando corriente DCEN o AC con onda balanceada. La corriente AC proporciona la acción de limpieza removiendo los óxidos de la superficie y como medio de protección se debe usar argón. También se puede usar helio en caso de querer aumentar la penetración y la

velocidad de avance. Para espesores gruesos es útil realizar un precalentamiento hasta unos 205°C.

Las aleaciones de bronce al aluminio que contienen menos de un 7% de aluminio, son sensibles al agrietamiento en caliente y son difíciles de soldar porque tienden a agrietarse en la ZAC [9]. Las aleaciones que contienen más de 7% de aluminio son más fácilmente soldables sin problemas de agrietamiento.

Los bronce al silicio contienen una baja conductividad térmica y facilidad de agrietarse en caliente. El silicio proporciona una desoxidación formando una escoria que protege la superficie y promueve la humectación. Se puede soldar usando el modo AC o DCEN con protección gaseosa de argón o helio. Usar argón con AC permite obtener una mejor limpieza de la superficie. Estas aleaciones no requieren de un precalentamiento, y es importante evitar sobrepasar los 90°C de temperatura al realizar los cordones.

Las aleaciones de cobre-níquel usan DCEN con una protección de argón; siendo óptimas soldar aleaciones hasta con 1/4" de espesor, pero se prefiere usar otros procesos de soldadura para secciones más gruesas por ser más rápidas y económicas. Estos metales tienen buena conductividad térmica y alta soldabilidad. No requieren de precalentamiento previo, sin embargo, la temperatura entre los cordones no debe pasar los 65°C.

Para soldaduras automáticas se prefiere usar AC con protección de helio, considerando que es más complicado controlar el arco. En este proceso se recomienda usar material de aporte que contenga un 70% de cobre y 30% de níquel para las aleaciones cobre-níquel.

Considerando al cobre y las aleaciones mencionadas, sus características y recomendaciones para ser soldadas, en la tabla 3.7 se presentan los parámetros aproximados para varios de estos metales. Sin embargo, debido a la amplia cantidad de aleaciones que se encuentran en el mercado es importante obtener información para soldar aleaciones específicas por medio de los fabricantes o de otros manuales de soldadura.

Tabla 3.7. Parámetros aproximados para soldar cobre y aleaciones de cobre en juntas a tope en posición plana, juntas solapadas y filetes horizontales

Espesor del Material, plg (mm)	1/32 (0.8)	1/16 (1.6)	1/8 (3.2)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)
Diámetro del Electrodo, plg (mm)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	1/8 (3.2)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)
Angulo del Electrodo ⁽¹⁾	30°	30°	45°	60°	60°	60°
Diámetro de la Punta ⁽¹⁾ del Electrodo plg (mm)	0.03 (0.76)	0.03 (0.76)	0.045 (1.1)	0.045 (1.1)	0.045 (1.1)	0.045 (1.1)
Corriente del Arco, Amperios	15-60	90-170	100-300	150-375	230-375	250-420
Voltaje del Arco, Voltios	12	12	12	12	12	12
Diámetro del Alambre, plg (mm)	1/32 (0.8)	1/16 (1.6)	1/16 (1.6)	1/8 (3.2)	1/8 (3.2)	1/8 (3.2)
Velocidad de Avance, ipm (mm/seg.)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	8 (3.4)	8 (3.4)	8 (3.4)
Diámetro de la Copa en (mm)	1/2 (12.7)	1/2 (12.7)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	5/8 (15.9)	3.4 (19.1)
Caudal de Gas,cfh (l/min)	20(9.4)	20(9.4)	20(9.4)	25 (11.8)	25 (11.8)	30 (14.2)

(1) Observar figura 1.11.

El electrodo debe ser EWTh2 para ser usado en electrodo negativo excepto los electrodos EWZr que pueden ser usados en AC para cobre de berilio y bronce aluminio. Cuando se usa AC el diámetro del electrodo debe incrementar y la punta debe ser hemisférica.

El gas de protección debe ser argón para materiales de calibres delgados y para trabajar con AC; el helio es usado cuando se tiene calibres gruesos. El material de aporte debe coincidir con el material base cuando sea asequible.

También en la tabla 3.8 se presentan los materiales de aporte recomendados para las aleaciones mencionadas. [10]

Tabla 3.8. Metales de aporte para aleaciones de cobre en la soldadura GTAW.

Aleación Base	Material de Aporte	Especificación AWS
Cobre puro	ERCu	A5.7
Bronce al silicio, Latón	ERCuSi-A	A5.7
Bronce fosforado, Latón	ERCuSn-A	A5.7
Aleación cobre-níquel	ERCuNi	A5.7
Bronce al aluminio, Latón Bronces al silicio Bronces al manganeso	ERCuAl-A1 ERCuAl-A2 ERCuAl-A3	A5.7
Bronces níquel-aluminio	ERCuNiAl	A5.7
Níquel-manganeso-bronce al aluminio	ERCuMnNiAl	A5.7
Cobre, Latones	RBCuZn-A	A5.27
Bronces al manganeso, Latones	RBCuZn-B RBCuZn-C	A5.27 A5.27

3.1.5 Magnesio y Aleaciones de Magnesio.

La superficie de las juntas de cualquier aleación de Magnesio debe ser rigurosamente limpiadas antes que la soldadura sea intentada. Las aleaciones de Magnesio son usualmente suministradas decapadas con ácido y una capa de aceite o una cubierta de conversión cromada para protegerlas durante su almacenamiento. Estas cubiertas deben ser removidas con un solvente orgánico apropiado o un limpiador alcalino. Después que todo el aceite, el sucio, y otras cubiertas han sido removidas, las superficies deben ser enjuagadas con agua y luego limpiadas químicamente para remover la película de óxido de la superficie. El productor de las aleaciones de Magnesio debe ser consultado sobre el procedimiento detallado para la limpieza de cada una de las aleaciones. Es recomendable que se haga una limpieza final mediante un cepillado con un cepillo de cerdas de alambre de acero inoxidable limpio, justo antes de la soldadura.

El proceso GTAW proporciona un mejor control de la piqueta en el magnesio y aleaciones de magnesio, en comparación con otros procesos. Los procedimientos usados para soldar aluminio son aplicables con el magnesio. Puede emplearse AC o DC, aunque se prefiere la AC porque se obtienen tanto la acción de limpieza como la de buena penetración. Con una fuente de energía de AC convencional, se requiere una alta frecuencia continua para la estabilización del arco, y es deseable un accesorio para balancear la onda.

Estos materiales pueden requerir de precalentamiento para secciones gruesas o delgadas que tengan restricción en la junta, llegando hasta temperaturas de 370°C dependiendo de la aleación [9]. Estos serán realizados preferentemente en hornos con calentamiento uniforme, donde la soldadura deberá ser realizada inmediatamente después de remover a la aleación

del horno. Se puede realizar un tratamiento térmico post soldadura para relevar las tensiones, recocer, o endurecer por precipitación.

Al usar el modo AC se prefiere una onda cuadrada que nos da un mejor control de los pulsos, siendo capaces de manipularlos si requerimos una mejor acción de limpieza o una buena penetración. En estas condiciones no se requiere una alta frecuencia continua.

Para una buena acción de limpieza en láminas delgadas se usa DCEP porque la corriente es limitada por el excesivo calentamiento del electrodo. Es poco común usar DCEN porque no hay acción de limpieza que es requerida para soldar magnesio y sus aleaciones. Se puede utilizar para juntas de ranura cuadrada con espesores hasta 0.25" en soldadura automática, limpiando exhaustivamente las superficies previamente.

Se puede prevenir la oxidación y fomentar una buena humectación al utilizar fases de respaldo. En soldaduras automáticas, es preferible usar un remolque protector con el fin de proteger las superficies de la soldadura mientras se enfría.

Los gases de protección posibles a usar son argón, helio o mezclas argón-helio. Los electrodos recomendados son los de tungsteno puro (EWP) o tungsteno aleado con zirconio (EWZr) para corrientes AC o DCEP; mientras que para corriente DCEN se emplea electrodos aleados con torio (EWTh).

Con la información recopilada de acuerdo con lo mencionado, en la tabla 3.9 se presenta parámetros aproximados para realizar esta soldadura en magnesio y sus aleaciones. Estos valores son recomendados para realizar soldaduras con corriente AC balanceada. Usar GTAW permite soldar las aleaciones, pero suele ser mayormente aplicado para reparar soldaduras con defectos en aleaciones nuevas o rotas. Cuando una soldadura presenta porosidades, aceite, fundentes o inclusiones de óxido no puede ser reparadas o soldadas por este proceso.

Tabla 3.9. Parámetros aproximados para soldar magnesio y aleaciones de magnesio en juntas a tope en posición plana, juntas solapadas y filetes horizontales

Espesor del Material, plg (mm)	0.04 (1.0)	1/16 (1.6)	1/8 (3.2)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)
Diámetro del Electrodo, plg (mm)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	3/32 (2.4)	5/32 (4.0)	3/16 (4.8)	3/16 (4.8)
Angulo del Electrodo ⁽¹⁾	Hemi.	Hemi.	Hemi.	Hemi.	Hemi.	Hemi.
Diámetro de la Punta ⁽¹⁾ del Electrodo plg (mm)	1/16 (1.6)	3/32 (2.4)	3/32 (2.4)	5/32 (4.0)	3/16 (4.8)	3/16 (4.8)
Corriente del Arco, Amperios	35	50	125	175	200	250
Voltaje del Arco, Voltios	15	15	18	20	20	20
Diámetro del Alambre, plg (mm)	0.094 (2.4)	0.094 (2.4)	0.125 (3.2)	0.125 (3.2)	0.125 (3.2)	0.125 (3.2)
Velocidad de Avance, ipm (mm/seg.)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)	10 (4.2)
Diámetro de la Copa en (mm)	3.8 (9.5)	3.8 (9.5)	3.8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	5/8 (15.9)
Caudal de Gas,cfh (l/min)	20(9.4)	20(9.4)	25 (11.8)	25 (11.8)	25 (11.8)	25 (11.8)

(1) Observar figura 1.11.

Los electrodos deben ser EWP o EWZr para AC o DCEP.

El gas de protección debe ser argón o una mezcla de argón-helio para soldadura manual; para soldadura en maquina debe ser helio o una mezcla de helio-argón donde es importante la penetración.

La composición del material de aporte debe coincidir con la composición del material base o conforme a las recomendaciones del fabricante.

Finalmente, para las diferentes aleaciones de magnesio se presenta en la tabla 3.10 varios materiales de aporte que trabajaran mejor de acuerdo con su composición. [10]

Tabla 3.10. Metales de aporte para soldadura GTAW de aleaciones de magnesio.

Aleación Base	Material de Aporte	Especificación AWS
AZ10A	ERAZ61A ERAZ92A	A5.19
AZ31B	ERAZ61A ERAZ92A	A5.19
AZ61A	ERAZ61A ERAZ92A	A5.19
AZ80A	ERAZ61A ERAZ92A	A5.19
ZK21A	ERAZ61A ERAZ92A	A5.19
HK31A	EREZ33A	A5.19
HM21A	EREZ33A	A5.19
HM31A	EREZ33A	A5.19
M1A	Metal Base	
AM100A, AZ63A, AZ81A, AZ91C, AZ92A	ERAZ92A, ERAZ101A	A5.19
EK41A, EZ33A HK31A, HZ32A, K1A, ZE41A, ZH62A, ZK51A, ZK61A	EREZ33A Metal Base	A5.19
QH21A	Metal Base	

3.2 Conclusiones

Se logro cumplir con los objetivos específicos propuestos en el presente trabajo para soldadura de materiales como el aluminio y otros materiales no ferrosos utilizando el proceso GTAW.

Se recopilo satisfactoriamente información del proceso GTAW abarcando tanto la historia del proceso como los componentes, elementos, los metales no ferrosos soldables y las técnicas necesarias para realizar una soldadura por medio de este proceso de arco

eléctrico. La información obtenida esta estructura de una manera resumida para hacer más simple la comprensión de este proceso y su aplicabilidad. Las técnicas de soldadura tanto manual como automática contienen aspectos puntuales sobre la realización de la soldadura, incluyendo la correcta manipulación de la maquina soldadora.

Se pudo determinar los factores importantes dentro del proceso, entre los cuales tenemos: los diferentes gases de protección debido a su relevancia de proteger la atmosfera del arco eléctrico con el fin de obtener buenos cordones de soldadura sin contaminantes, el caudal y tipos de mezclas posibles de los gases inertes; los varios electrodos de tungsteno disponibles en el mercado, su composición, aplicaciones, dimensiones, antorchas y componentes para realizar la soldadura y las fuentes de poder y los tipos de corriente disponibles (AC y DC) para los trabajos especificados, las características de limpieza de superficie de la corriente AC y sus aplicaciones en soldaduras manuales y automáticas.

Una vez determinados los factores relevantes para GTAW estos fueron añadidos de tal manera que sigan una secuencia organizada para comprender cada parámetro a considerar al realizar una soldadura con los diferentes metales no ferrosos disponibles.

Se analizo la capacidad de soldar por medio de GTAW los metales no ferrosos como: el aluminio y sus aleaciones, las aleaciones de base níquel, el titanio y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones, y el magnesio y sus aleaciones. A partir de la información recolectada sobre estas aleaciones y los requerimientos necesarios de cada material para realizar la soldadura, se obtuvo los parámetros de cada material para realizar buena soldadura.

Con los parámetros obtenidos a partir del análisis realizado para cada material no ferroso, se realizó tablas a cada material con parámetros aproximados que engloban en una sola tabla los valores necesarios para realizar la soldadura en juntas a tope para las posiciones plana, horizontal y vertical; sin embargo, no se pudo agregar la posición sobre cabeza porque los parámetros en esta posición cambian drásticamente por la acción de la gravedad en la pileta requiriendo modificar parámetros como la velocidad de avance o la corriente del arco. No se pudo adjunto otros tipos de juntas en la tabla, pero no deberían presentar mayor problema usar estos valores para otras juntas porque los valores se encuentran en rangos cercanos. Así mismo, se agregó una tabla con los materiales de aporte necesarios para soldar las diferentes aleaciones comerciales de cada metal no ferroso mencionado considerando la norma AWS de cada material de aporte.

3.3 Recomendaciones

Realizar una tabla individual con los parámetros necesarios para soldar sobre cabeza para cada material no ferroso, indicando los valores y rangos adecuados para realizar esta soldadura.

Los parámetros presentados en las tablas pueden ser empleados para realizar las soldaduras de estos diferentes metales no ferrosos mencionados, a los cuales posteriormente (en trabajos futuros) se pueda analizar la calidad de la soldadura por medio ensayos destructivos y no destructivos de cada material, con el objetivo de determinar la calidad de la soldadura y que mantenga propiedades mecánicas óptimas para diferentes aplicaciones.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Catalogo No. 3, Proceso TIG, Lary Industrial, Mérida, YUC.
- [2] R-Tech Welding Equipment, Guide to Tig Welding, Tewkesbury, 2009.
- [3] K. Gupta y J. P. Davim, "Comprehensive analysis of gas tungsten arc welding technique for Ni-base weld overlay", en Advance Welding and Deforming, D. Rathod, Elsevier, 2021, pp105-126
- [4] Maquinaria Madrid, El arte de la soldadura, Fuenlabrada, 2016.
- [5] A. Althouse, C. Turnquist y W. Bowditch, Modern Welding, GW-Publisher, 2018
- [6] I. Escudero, Procedimiento TIG, Asturias: CIFP Avilés
- [7] Miller, Guidelines for Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), 215994 F, Illinois, USA, 2018
- [8] CK Worldwide, Technical specifications for Tig welding, 2015
- [9] T. Jefferson, Metals and How to Weld Them, James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1972
- [10] Flagg, J. "Gas Tungsten Arc Welding GTAW". USA: Lincoln Arc Welding Foundation. 2004
- [11] K. Thulukkana, Heat Exchanger Design Handbook, CRC Press, 2013.
- [12] C. Bazán, Determinación de electrodos y cálculo de costos de soldadura al arco asistidos por computadora, Pirhua, 2002.
- [13] D. Gamarra, "Determinación de los parámetros óptimos de la soldadura tig, para tuberías de diámetro estándar de 1" y 4" con especificación técnica astm a270-tipo 304 y evaluación por ensayos no destructivos", tesis pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2020
- [14] BMI Surplus, Jetline Engineering TEG-1A Tungsten Electrode Grinder, 2019
- [15] M. J. Donachie, "Arc Welding", en Titanium: A Technical Guide, ASM International, 2000
- [16] Westarco. Proceso de Soldadura TIG - GTAW. (n.d.). [Online]. Disponible: <https://www.westarco.com/westarco/sp/education/blog/proceso-de-soldadura-tig.cfm>
- [17] CARBUROS METALICOS GROUP AIR PRODUCTS. Manual del soldador Soldadura con gas de protección, oxicorte y corte por plasma, vol. 3, pp 42041, 2018.
- [18] Plc, A. P., Welder's Handbook for Gas Shielded Arc Welding, Oxy Fuel Cutting & Plasmas Cutting, vol. 3, pp 800389, 2018.

- [19] Hobart Welding Training, Gas Tungsten Arc Welding EW369 GTAW. USA: Copyright, 2002
- [20] O'Brien, A. (2004). Welding Handbook, Volume2-Welding Processes, Part1. USA: Ed. American Welding Society
- [21] B.J. Bastian, Annette O'Brien, Kathy (2015). AWSWHB-5.9 Welding Handbook Vol5 Materials & Applications Part2.5. USA: American Welding Society
- [22] Andrew. Modern Welding. USA: The Goodheart-Willcox Company, 2013.
- [23] O'Brien, A. (2011). Welding Handbook, Volume4-MaterialsandApplications, Part1. USA: American Welding Society.
- [24] Hobart Brothers, Guide for Aluminum Welding, HOB-ALU 102513, 2019